



1

2

CONCEPTADVIES SDE++ 2021 CO₂-AFVANG EN -OPSLAG (CCS)

3

4

5

6

7

8

Sam Lamboo (TNO EnergieTransitie), Sander Lensink (PBL)

9

10

5 mei 2020

TNO

PBL

11 **Colofon**

12 **Conceptadvies SDE++ 2021 CO₂-afvang en -opslag (CCS)**

13

14 © PBL Planbureau voor de Leefomgeving

15 Den Haag, 2020

16 PBL-publicatienummer: 4111

17 **Contact**

18 sde@pbl.nl

19 **Auteurs**

20 Sam Lamboo (TNO EnergieTransitie) en Sander Lensink (PBL)

21 **Eindredactie en productie**

22 Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:
23 Lamboo S. en Lensink S. (2020), Conceptadvies SDE++ 2021 CO₂-afvang en -opslag (CCS),
24 Den Haag: PBL.

25

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

Inhoud

33	1	Introductie	4
34	2	Beschrijving technologie	5
35	3	Aannames kosten	7
36	3.1	Investeringskosten	7
37	3.2	Regeling Milieu-investeringsaftrek (MIA)	8
38	3.3	Operationele kosten	8
39	3.4	Verwerkingstoelage	9
40	3.5	Aanname restwaarde	9
41	3.6	Correctiebedrag	10
42	3.7	Aangeboden en vermeden CO ₂	10
43	4	Basisbedragen	11
44	4.1	CO ₂ -opslag bij bestaande CO ₂ -afvanginstallaties	13
45	4.2	Nieuwe CO ₂ -afvang bij bestaande installaties	15
46	4.3	Nieuwe CO ₂ -afvang bij nieuwe installaties	16
47	5	Overzicht basisbedragen	17
48	6	Uitvraag	18
49			

1 Introductie

51 Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft het PBL gevraagd advies uit
52 te brengen over de openstelling van de SDE++ (Subsidieregeling voor Duurzame Energie) in
53 2021. Het PBL heeft hierbij ondersteuning gevraagd van TNO EnergieTransitie en DNV GL.

54

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

60

61 In 2020 is de bestaande SDE+-regeling verbreed naar de SDE++. Nieuw hierbij is dat naast
62 categorieën voor de productie van hernieuwbare energie ook CO₂-reducerende opties anders
63 dan hernieuwbare energie in aanmerking komen voor subsidie. Dit zorgt ervoor dat de regel-
64 geving en de methodiek en dus ook de uitgangspunten voor de SDE+ zodanig worden uitge-
65 breid dat deze ook toepasbaar zijn voor een breder palet aan CO₂-reducerende categorieën.

66

67 Deze notitie bevat het conceptadvies met betrekking tot afvang en opslag van CO₂ (CCS).

68

69 **Marktconsultatie**

70 Belanghebbenden kunnen schriftelijk een reactie geven op dit conceptadvies en de onderlig-
71 gende kostenbevindingen. Deze schriftelijke reactie dient uiterlijk 22 mei bij het PBL binnen
72 te zijn. Mocht een aanvullend gesprek door het PBL gewenst worden, dan zal dit tussen 8
73 juni en 3 juli worden gehouden.

74

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

79

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

81

2 Beschrijving

82

technologie

83 CO₂-afvang en -opslag (CCS) kent verschillende mogelijke toepassingen in zowel de industrie
84 als de elektriciteitsproductie. Op verschillende locaties kan CO₂ worden afgevangen, gecomp-
85 primeerd, getransporteerd en daarna onder de grond worden opgeslagen. Binnen de SDE++
86 wordt momenteel alleen CCS onderzocht voor industriële toepassingen. Toepassingen voor
87 de energiesector worden niet in de regeling opgenomen¹. Het afvangen van CO₂ voor nuttig
88 gebruik in bijvoorbeeld kassen, ureum, melamine en frisdrankproductie wordt in deze notitie
89 niet meegenomen.

90

91 Bij industriële processen kan CO₂ zowel met pre-combustion- als post-combustion-tech-
92 niken worden afgevangen.² Bij pre-combustion-technieken wordt de CO₂ verwijderd in het
93 productieproces, post-combustion-technieken verwijderen CO₂ uit rook- of restgassen.

94

95 De kosten voor het afvangen van CO₂ worden mede bepaald door de concentratie CO₂ in de
96 gasstroom, de afvangtechnologie³ en of de CO₂-afvanginstallatie op een nieuwe of bestaande
97 fabriek wordt geïnstalleerd. De kosten kunnen mede daardoor zeer case-specifiek zijn.

98

99 Voor het transport en de opslag van CO₂ moeten er in Nederland CO₂-transportnetwerken
100 gerealiseerd worden waaraan de industrie de afgevangen CO₂ kan leveren. Op dit moment
101 zijn er gevorderde plannen voor CO₂-netwerken in Rotterdam (Porthos) en Amsterdam
102 (Athos). Deze transportnetwerken zullen een verwerkingstoelage vragen voor het transporte-
103 ren en opslaan van de CO₂. Om CO₂ te kunnen leveren aan deze netwerken, zullen geïnte-
104 resseerde bedrijven naast een CO₂-afvanginstallatie een aansluiting op het CO₂-
105 transportnetwerk moeten realiseren en de afgevangen CO₂ op de juiste druk en zuiverheid
106 moeten aanleveren.

107

108 De aangeleverde CO₂ zal via een pijpleiding naar een opslagveld worden getransporteerd. De
109 beoogde opslaglocatie voor het CO₂-transportnetwerk dat Porthos wil ontwikkelen bevindt
110 zich op zee, in het P18-veld, zie ook figuur 2-1. Voor Athos is nog geen opslaglocatie be-
111 kendgemaakt, maar ook dit zal zich op zee bevinden. Voor bedrijven die niet aan deze trans-
112 portnetwerken liggen zullen alternatieve CO₂-transportopties moeten worden ontwikkeld.

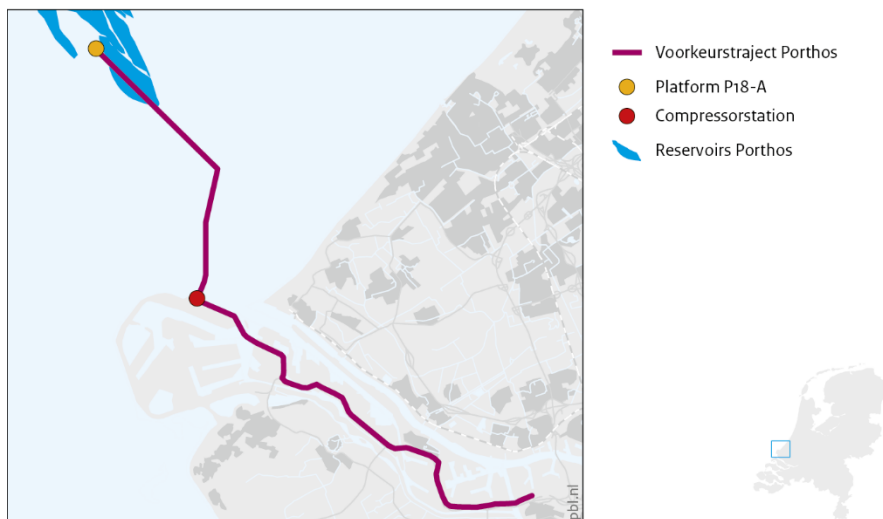
113

¹ Er is één uitzondering: CO₂-emissies als gevolg van staalproductie bij Tata Steel worden deels toegerekend aan elektriciteitsproductie. In het Klimaatakkoord is opgenomen dat toepassen van CC(U)S bij de restgassen van staalproductie in aanmerking kan komen voor subsidie via de SDE++, tot een maximum van 3 Mt CO₂.

² Hoewel bij deze processen niet per definitie sprake is van verbranding, worden pre-combustion, post-combustion en oxyfuel-combustion ook in deze context vaak gebruikt. Industriële alternatieven zijn: pre-process removal (pre-combustion), removal from diluted streams (post-combustion) en removal from oxy-fired streams (oxyfuel-combustion) (IEA & UNIDO, 2011).

³ De meest gangbare technieken voor CO₂-afvang zijn bekend als pre-combustion, post-combustion en oxyfuel-combustion. Echter, in industriële toepassingen is niet altijd sprake van verbranding. Daarom zijn er industriële alternatieve namen ontwikkeld die qua proces op hetzelfde neerkomen: pre-process removal (pre-combustion), removal from diluted streams (post-combustion) en removal from oxy-fired streams (oxyfuel-combustion) (IEA & UNIDO, 2011). Omdat deze terminologie niet door iedereen wordt gebruikt is ervoor gekozen in dit eindadvies pre-combustion, post-combustion en oxyfuel-combustion te gebruiken.

114 **Figuur 2-1 Voorkeursvariant beoogd CO₂-leidingtracé Porthos**



Bron: Royal Haskoning DHV, 2019; bewerking PBL

115

116

117

118 De aanwezigheid van een transportnetwerk is een belangrijke voorwaarde voor de realisatie
119 van CCS. Het is daarom de verwachting dat de eerste SDE++-aanvragen voor CCS vooral
120 komen van bedrijven die betrokken zijn bij Porthos en Athos. Dit is echter geen voorwaarde,
121 noch kan dit advies gelezen worden als pleidooi om SDE++-subsidie te beperken tot pro-
122 jecten die op Porthos of Athos aangesloten zullen gaan worden.

122

123

124

In het volgende hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de verschillende kostenposten.
In hoofdstuk 4 worden voor de referentie-installaties de basisbedragen gegeven.

3 Aannames kosten

125

126 Voor de toepassing zijn investeringskosten en operationele kosten in kaart gebracht op basis
127 van literatuur, industriedata en casestudies. In deze paragraaf worden de verschillende kos-
128 tenposten beschreven en eventuele aannames toegelicht.

129 3.1 Investeringskosten

130 Voor CO₂-afvang zijn investeringen vereist in een afvanginstallatie, compressie en een aan-
131 sluiting op het CO₂-transportnetwerk. De investeringskosten zijn grotendeels afhankelijk van
132 het volume van de gasstroom waaruit CO₂ wordt afgevangen, de concentratie van CO₂ in de
133 gasstroom, het proces waarvan wordt afgevangen, de gekozen technologie en of het een
134 nieuwe of bestaande fabriek betreft. Deze worden per subcategorie vastgesteld in een refe-
135 rentie-installatie. Voor kostenfactoren die voor alle CCS-cases gelden zijn aannames ge-
136 maakt:

- 137 • Zuivering: er zijn nog geen specificaties afgegeven over de zuiverheid van CO₂ bij in-
138 voeding in het CO₂-transportnetwerk. Daarom worden literatuurwaarden gebruikt als
139 benadering van de zuiveringskosten;
- 140 • Compressie: de afgevangen CO₂ moet aan het CO₂-transportnetwerk worden aange-
141 leverd op 35 bar (Porthos, 2019). In het CO₂-transportnetwerk wordt de druk verder
142 verhoogd tot 100 bar of hoger (Porthos, 2019);
- 143 • Aansluitkosten: dit betreft de kosten voor het aansluiten van de CO₂-afvang en com-
144 pressoren aan het CO₂-transportnetwerk. Deze investering komt voor rekening van
145 de aanvragende partij. Er is, net als voor de SDE++ 2020, aangenomen dat de aan-
146 vragers zich zullen beperken tot het gebied waar het CO₂-transportnetwerk wordt ge-
147 realiseerd. Hierdoor zal de afstand voor de aansluiting relatief kort zijn: ongeveer 3
148 km. De kosten voor de pijpleiding van de afvanginstallatie naar het CO₂-
149 transportnetwerk wordt geschat op 1,5 €/km/t CO₂ per jaar. De totale aansluitkosten
150 worden hiermee geschat op 4,5 €/t CO₂ afgevangen per jaar.

151

152 Voor het opslaan van CO₂ is een CO₂-transportnetwerk nodig. Dit vereist investering in een
153 CO₂-(pijpleidingen)netwerk, additionele compressie en CO₂-opslagfaciliteiten. Als referentie
154 voor het CO₂-transportnetwerk is Porthos gekozen. Dit project bevindt zich in een gevorderd
155 stadium waardoor er informatie beschikbaar is omtrent technische specificaties (zoals druk)
156 en kosten voor transport en opslag. De realisatie van het CO₂-transportnetwerk wordt niet
157 als onderdeel beschouwd van de SDE++, maar er wordt wel rekening gehouden met een
158 verwerkingstoeslag die moet worden betaald voor het opslaan van de CO₂. Deze verwer-
159 kingstoeslag is een operationele kostenpost en wordt verder toegelicht in paragraaf 3.3.

160

161 Voor afvanglocaties die niet direct aan het Porthos-netwerk liggen of hier geen gebruik van
162 willen maken is het mogelijk om CO₂ te transporteren per schip of per as (over de weg). De
163 kosten voor deze opties liggen, afhankelijk van het volume en de afstand, mogelijk hoger
164 dan transport per pijpleiding. Er zijn locaties waar al CO₂ wordt afgevangen en geleverd
165 wordt aan tuinders, frisdrankenindustrie of wordt gebruikt voor productie van ureum en me-
166 lamine (CCU). Indien de vraag seizoensgebonden is (zoals bij levering aan tuinders), wordt
167 een deel van het jaar de afgevangen CO₂ afgeblazen. Deze CO₂ kan ook worden opgeslagen.
168 Hiervoor zijn aanvullende investeringen vereist in bijvoorbeeld compressie en aansluiting op
169 het CO₂-transportnetwerk dat gebruikt wordt voor ondergrondse opslag.

170 3.2 Regeling Milieu-investeringsaftrek (MIA)

171 Volgens (RVO, 2020) komt apparatuur voor CO₂-afvang in aanmerking voor Milieu-Investe-
172 ringsaftrek, onder code F 1409 (Apparatuur voor de chemische verwerking van afvalstoffen).
173 Deze aftrek geldt daarmee alleen voor de subcategorieën waarbij een investering in CO₂-
174 afvang nodig is:

- 175 • Nieuwe CO₂-afvang, bestaande installatie: investering in CO₂-afvanginstallatie met
176 een capaciteit van 360 kt CO₂ per jaar is €64 miljoen;
- 177 • Nieuwe CO₂-afvang, nieuwe installatie: investering in CO₂-afvanginstallatie met een
178 capaciteit van 360 kt CO₂ per jaar is €44 miljoen.

179
180 Het maximumbedrag dat per bedrijfsmiddel in aanmerking komt is echter €25 miljoen. Daar-
181 van mag 36%, oftewel €9 miljoen worden afgetrokken van de fiscale winst. De vennoot-
182 schapsbelasting (met een tarief van 21,7%) wordt daardoor met €1.953.000 verlaagd.
183 In formule: MIA-voordeel = €25.000.000 * 36% * 21,7% = €1.953.000.

184 3.3 Operationele kosten

185 Er worden drie typen operationele kosten onderscheiden: vaste O&M-kosten, variabele O&M-
186 kosten en de energiekosten. Ook voor operationele kosten geldt dat deze worden beïnvloed
187 door het proces waarvan CO₂ wordt afgevangen, de gekozen technologie en of het een
188 nieuwe of bestaande installatie betreft.

189
190 De vaste O&M-kosten bestaan uit salariskosten, administratieve en overheadkosten, jaar-
191 lijke O&M, verzekeringen en lokale belastingen (IEAGHG, 2017). Op basis van literatuur en
192 industriedata is aangenomen dat deze kosten voor CO₂-afvang, zuivering en compressie 3%
193 van de investeringskosten bedragen voor afvang bij bestaande installaties en 2% van de in-
194 vesteringskosten voor afvang bij nieuwe installaties. Voor de aansluiting zijn de O&M-kosten
195 op 2% van de investeringskosten gesteld. De variabele O&M-kosten worden bepaald door
196 het gebruik van bijvoorbeeld chemicaliën die nodig zijn bij het afvangen van CO₂. Deze kos-
197 ten kunnen verschillen per toepassing en kunnen ook verwaarloosbaar zijn.

198
199 Energiekosten bestaan uit warmte of stoom voor CO₂-afvang en elektriciteit voor compressie.
200 De benodigde hoeveelheid energie nodig voor CO₂-afvang en compressie worden veelal ge-
201 geven in de beschikbare literatuur en rapporten. Alleen indien deze niet beschikbaar zijn
202 worden energiekosten geschat op basis van vuistregels uit de literatuur:

- 203 • Warmte bij CO₂-afvang, pre-combustion: 312,5 kWh (th)/t CO₂ afgevangen;
- 204 • Warmte bij CO₂-afvang, post-combustion: 1028 kWh (th)/t CO₂ afgevangen;
- 205 • Elektriciteit bij CO₂-afvang, pre-combustion en post-combustion: 50 kWh (e)/t CO₂
206 afgevangen;
- 207 • Elektriciteit bij compressie: 125 kWh (e)/t CO₂ afgevangen.

208
209 De warmtevraag kan dus groter zijn dan de elektriciteitsvraag. Wel is het zo dat een deel
210 van de warmtevraag door onbenutte restwarmte zou kunnen worden ingevuld. Voor de elek-
211 triciteitsprijs wordt de groothandelsprijs gebruikt van 0,053 €/kWh. Deze is berekend op ba-
212 sis van de ongewogen gemiddelde elektriciteitsprijzen van 2020 tot en met 2034 op basis
213 van de KEV (Klimaat en Energieverkenning) 2019 (PBL, 2019)⁴. Voor de kosten van warmte
214 wordt op basis van de KEV een prijs van 0,027 €/kWh (th) aangenomen. Naast energie zijn

⁴ De KEV2019-raming loopt van 2020 tot en met 2030. Na 2030 is aangenomen dat de prijzen reëel constant zijn op het niveau van 2030 en nominaal enkel met de inflatie van 1,5%/jaar meestijgen.

215 er beperkte kosten voor het gebruik van chemicaliën en water voor het afvangproces. Deze
216 kosten verschillen per proces en worden daarom per referentie-installatie vastgesteld.

217 3.4 Verwerkingstoelage

218 De afgevangen CO₂ wordt via het CO₂-transportnetwerk getransporteerd naar opslaglocaties
219 onder de Noordzee. De bedrijven die CO₂-afvangen betalen hiervoor een verwerkingstoelage.
220 Deze toelage dekt de kosten voor de realisatie van het CO₂-transportnetwerk (pijpleidingen,
221 compressoren, etc.), de operationele kosten (energie, onderhoud, monitoring, etc.) en de
222 aansprakelijkheidsrisico's in het geval van bijvoorbeeld lekkages.

223
224 Voor het vaststellen van de verwerkingstoelage wordt uitgegaan van het Porthos-netwerk.
225 Momenteel heeft Porthos nog geen definitieve tarieven vastgesteld. Een belangrijke factor
226 hierin is het totale volume dat door het CO₂-transportbedrijf getransporteerd en opgeslagen
227 moet worden.

228
229 De verwerkingstoelage wordt vastgesteld aan de hand van het jaarlijkse volume en de piek-
230 capaciteit. Net als voor het eindadvies voor de SDE++ 2020 wordt in eerste instantie uitge-
231 gaan van een 70% bezettingsgraad en 8000 uur levering per jaar. Van invloed zijn:

- 232 • Het jaarlijkse volume dat wordt getransporteerd en opgeslagen (in Mt CO₂), aange-
233 duid als TO;
- 234 • De piekcapaciteit (in Mt CO₂): TO_piek;
- 235 • De "load factor": TO_piek/TO;
- 236 • Het opslagtariaf van 15 €/t CO₂ getransporteerd. Deze is onafhankelijk van de piek-
237 capaciteit;
- 238 • Het transporttarief: deze is 45 €/t CO₂ getransporteerd op basis van 8000 uur leve-
239 ring en 41 €/t CO₂ op basis van 8760 uur levering;

240
241 De verwerkingstoelage (in €/t CO₂) wordt berekend door: opslagtariaf + transporttarief *
242 load factor.

243
244 In het eindadvies voor de SDE++ 2020 is al geconcludeerd dat het verwerkingstariaf van 60
245 €/t CO₂ mogelijk te hoog is. Belangrijkste oorzaak is het gebruiken van een bezettingsgraad
246 van 70%. Het verwerkingstariaf zou gebaseerd moeten worden op een 100% bezettings-
247 graad, maar dat vraagt om een accurate inschatting van het CO₂-volume wat nu nog niet ge-
248 geven kan worden. Pas na de eerste SDE+-rondes kan er daarover meer inzicht verkregen
249 worden.

250
251 Gezien de onzekerheid tussen het verwerkingstariaf in dit conceptadvies en het werkelijke
252 verwerkingstariaf, is voor het vaststellen van het verwerkingstariaf in dit conceptadvies als
253 uitgangspunt genomen dat het verwerkingstariaf toereikend moet zijn om bij toekenning van
254 SDE++ aan het project ook daadwerkelijk te realiseren. Dat betekent dat voorkomen moet
255 worden dat het werkelijke verwerkingstariaf hoger is dan in het basisbedrag vastgesteld.

256 3.5 Aannee restwaarde

257 Voor CCS wordt een subsidietermijn van 15 jaar aangenomen, gelijk aan de meeste andere
258 technologieën binnen de SDE++. Er wordt aangenomen dat er geen restwaarde over is na de
259 15 jaar subsidieperiode.

260 3.6 Correctiebedrag

261 De onrendabele top wordt bepaald door het basisbedrag te verminderen met de inkomsten
262 die worden gegenereerd door de technologie. CCS betreft een *end-of-pipe*-oplossing waar-
263 voor geen inkomsten worden genereerd. Wel worden er EU ETS-rechten uitgespaard.

264
265 Het afvangen en opslaan van CO₂ kan een effect hebben op de handel in emissierechten (of-
266 ficieel *European Emission Allowances* [EUA]). Jaarlijks wordt voor de waarde van de emissie-
267 rechten gecorrigeerd. De hoogte van dit correctiebedrag dient per aanvraag beoordeeld te
268 worden, vanwege de verschillende mogelijke interacties met gratis gealloceerde emissierech-
269 ten. Het maximale bedrag waarvoor gecorrigeerd dient te worden per eenheid opgeslagen
270 CO₂ is de ongewogen gemiddelde marktprijs van EEX-EUA voor CO₂ emissierechten.

271 3.7 Aangeboden en vermeden CO₂

272 Toepassing van CCS vraagt energie voor afvangen, zuiveren en op druk brengen van de CO₂.
273 Dit interne energiegebruik (ook wel *energy penalty* genoemd) kan leiden tot additionele CO₂-
274 uitstoot. Voor elektriciteit wordt gerekend met de verwachte CO₂-emissiefactor voor elektrici-
275 teit uit het net in 2030 (0,187 kg CO₂/kWh)⁵. Voor warmte wordt uitgegaan van verbranding
276 van aardgas: 56,4 kg CO₂/GJ aardgas (LHV). Bij een conversie-efficiëntie van 90% (LHV)
277 van een gasgestookte ketel, is de CO₂-emissie 62,7 kg CO₂/GJ_{th} (0,23 kg CO₂/kWh_{th}).

278
279 In sommige gevallen wordt een deel van de afgevangen CO₂ gebruikt voor CCU. Deze CO₂
280 moet buiten beschouwing worden gelaten bij de bepaling van het interne energiegebruik.
281 Daarom wordt gerekend met het volume CO₂ dat wordt afgevangen voor CO₂-opslag:

$$\begin{aligned} 282 & \\ 283 & \text{Intern energiegebruik} = \\ 284 & \quad (\text{elektriciteit per ton CO}_2 \text{ afgevangen} * \text{emissiefactor} + \\ 285 & \quad \quad \text{warmte per ton CO}_2 \text{ afgevangen} * \text{emissiefactor}) \\ 286 & \quad * \text{totaal tonnen CO}_2 \text{ afgevangen voor opslag} \end{aligned}$$

287
288 Door het volume CO₂ afgevangen voor opslag te corrigeren voor het interne energiegebruik
289 wordt het volume CO₂ vermeden verkregen. Dit is de netto CO₂-reductie. Om het effect en
290 de kosteneffectiviteit van de SDE++ te beoordelen wordt de vermeden emissie van CO₂ ge-
291 bruikt in het bepalen van het basisbedrag.

292
293 Voor het afrekenen van de subsidie zal het volume CO₂ afgevangen voor opslag worden ge-
294 bruikt, omdat dit door een onafhankelijke partij bij invoeding in het CO₂-transportnetwerk
295 kan worden vastgesteld. Dat is niet het geval voor vermeden CO₂. Dat betekent dat in de uit-
296 voering van de regeling ook een bedrag wordt vastgesteld in €/t CO₂ afgevangen voor op-
297 slag.

298
299 De CO₂-emissies als gevolg van het opereren van het CO₂-transportnetwerk en het opslaan
300 van de CO₂ zijn niet meegenomen in de berekening van het interne energiegebruik.

⁵ Het betreft de emissiefactor van de gemiddelde marginale optie in 2030. Dat is een andere grootte dan de emissiefactor van de gemiddelde mix in 2030.

4 Basisbedragen

301

4.1 Indeling

302

303 Voor verschillende processen is op basis van literatuur en marktdata inzicht verkregen in de
304 kosten van toepassing van CCS. Op basis van karakteristieken van de afvangprocessen, de
305 puurheid van de bronnen en de aanwezigheid van afvanginstallaties wordt advies uitgebracht
306 over drie SDE++-subcategorieën. Deze subcategorieën zijn ongewijzigd ten opzichte van het
307 eindadvies SDE++ 2020:

- 308 • Extra CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties;
- 309 • Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande installaties;
- 310 • Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installaties.

311

312 Naast de nieuwe indeling is ook een indeling naar CO₂-concentratie overwogen. Een toelich-
313 ting op die afweging is ook opgenomen in hoofdstuk 6.

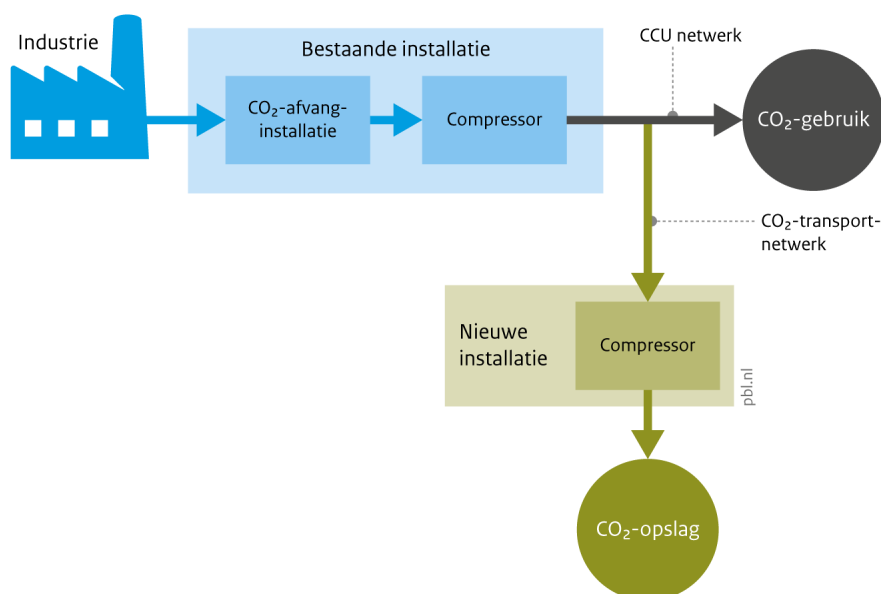
4.2 CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties

314

315 Onder deze subcategorie vallen installaties waar al CO₂ wordt afgevangen en getranspor-
316 teerd voor gebruik bij tuinders, in de frisdrankindustrie en in de productie van ureum. Aan-
317 sluiting op het CO₂-transportnetwerk kan met behulp van een aftakking op de bestaande
318 verbinding tussen afvang/compressie en CCU-netwerk. Omdat het CO₂-transportnetwerk op
319 een hogere druk opereert dan het CCU-netwerk, is extra compressie nodig om de CO₂ op de
320 juiste druk aan te leveren. Voor de aansluiting en de compressor worden zowel investerings-
321 kosten als O&M-kosten in het basisbedrag opgenomen. Voor het transport naar de opslaglo-
322 catie en het opslaan wordt een verwerkingstoeslag opgenomen. CO₂-levering aan het CCU-
323 netwerk kan gecontinueerd worden (Variant A – Figuur 4-1)

324

325 **Figuur 4-1 CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties variant A**



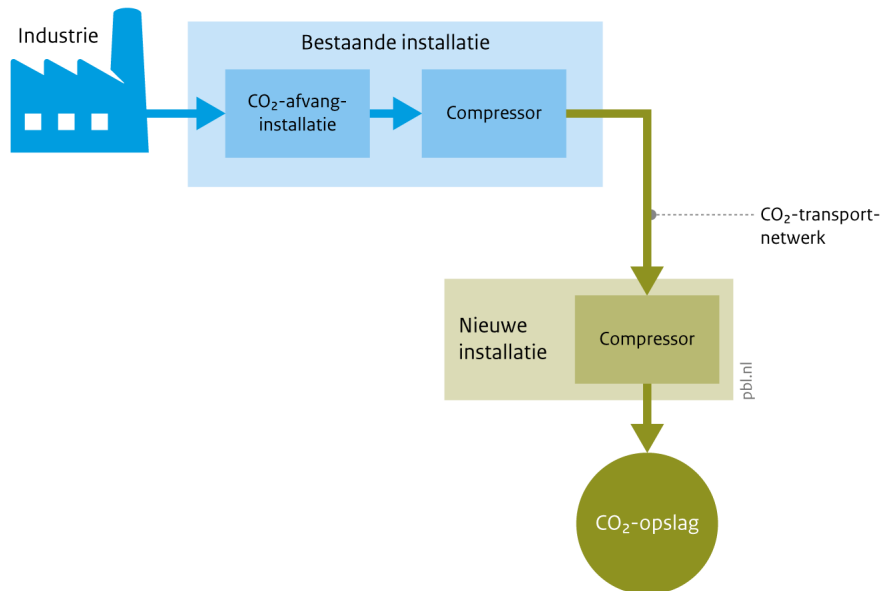
326

Bron: PBL

327 Indien de CO₂-levering aan het CCU-netwerk niet wordt gecontinueerd kan de afgevangen
328 CO₂ direct aan het CO₂-transportnetwerk geleverd worden (Variant B - Figuur 4-2). In dat
329 geval zal de additionele compressor achter de bestaande compressor worden geplaatst, zo-
330 dat de afgevangen CO₂ direct op de juiste druk wordt gebracht voor invoeding in het CO₂-
331 transportnetwerk. Aangenomen wordt dat deze configuratie niet zal leiden tot additionele
332 kosten.

333
334

Figuur 4-2 CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties variant B

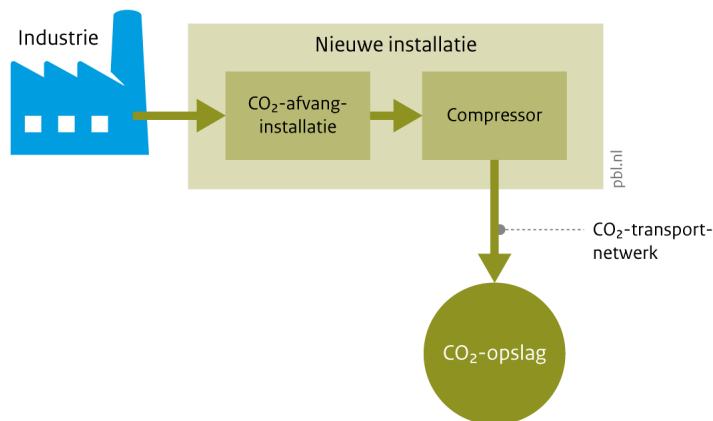


335 Bron: PBL

336 4.3 Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande industri- 337 ele installaties

338 Voor deze subcategorie zijn investeringen vereist in een CO₂-afvanginstallatie, compressor
339 en de aansluiting op het CO₂-transportnetwerk (zie figuur 4-3). In de berekening van het ba-
340 sisbedrag zijn hiervoor zowel investeringskosten (inclusief inpassings- en aanpassingskosten)
341 als operationele kosten opgenomen. Voor het transport naar de opslaglocatie en het opslaan
342 wordt een verwerkingstoeslag opgenomen.
343

344 **Figuur 4-3 Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande of nieuwe industriële in-**
345 **stallaties**



346 Bron: PBL

347 4.4 Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe industriële 348 installaties

349 Er is ook nieuwe CO₂-afvang mogelijk bij nog te bouwen installaties. Hier is het voordeel dat
350 de CO₂-afvang gelijk in het ontwerp kan worden meegenomen, wat leidt tot lagere inpas-
351 sings- en aanpassingskosten. De kostencomponenten voor deze opties zijn gelijk veronder-
352 steld aan de subcategorie Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande industriële installaties
353 (zie figuur 4-3).

354

355 Voor iedere subcategorie is een referentie-installatie bepaald waarvoor de kosten zijn uitge-
356 rekend. Op basis hiervan wordt het basisbedrag geadviseerd.

357 4.5 CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties

358 Deze subcategorie is bedoeld voor industriële installaties waar al CO₂-afvang plaatsvindt en
359 waar deze deels nuttig wordt gebruikt (tuinders, frisdrank, ureum) en deels afgeblazen
360 wordt. Het afvangen en nuttig gebruik van CO₂ wordt in deze notitie aangeduid als CCU. Het
361 gedeelte dat wordt afgeblazen kan worden opgeslagen. Bij levering aan tuinders is dit vo-
362 lume afhankelijk van seizoensinvloeden.

363

364 Bij deze categorie kan er concurrentie ontstaan tussen CCS en CCU, omdat opslaan van CO₂
365 door de SDE++ mogelijk een betere business case oplevert dan CCU. Omdat de keuze voor
366 het al dan niet in stand houden van de CO₂-levering voor CCU een beleidskeuze is, is er in
367 deze subcategorie voor twee varianten een referentie-installatie vastgesteld, waartussen het
368 PBL geen keuze maakt.

369

370 *Variant A: gedeeltelijke levering van CO₂ aan het CO₂-transportnetwerk voor CO₂-opslag*

371 Als referentie-situatie is gekozen voor continue CO₂-afvang met seizoenslevering aan tuin-
372 ders. Uitgangspunt is dat de huidige levering aan tuinders gecontinueerd wordt en dat de
373 CO₂-opslag additioneel is. Daarom wordt er voor de referentie-installatie aangenomen dat
374 deze halftijds (4000 draaiuren) zal opereren. De CO₂-afvangkosten worden gedekt door de
375 huidige activiteiten, waardoor de investeringen beperkt zijn tot een additionele compressor
376 en aansluiting naar het CO₂-transportnetwerk. Additionele compressie is vereist, omdat de

377 CCU-pijpleiding op een lagere druk (22 bar) opereert dan het CO₂-transportnetwerk (35 bar).
 378 De capaciteit van de aansluiting is gedimensioneerd op de maximale CO₂-afvangcapaciteit,
 379 zodat afvangen CO₂ kan worden ingevoerd in het 35-bar CO₂-transportnetwerk wanneer er
 380 geen levering plaatsvindt aan de kassen of frisdrankindustrie.

381
 382 De operationele kosten bestaan uit de verwerkingstoelage, energiekosten voor compressie,
 383 en vaste en variabele O&M-kosten voor compressie en de aansluiting naar het CO₂-
 384 transportnetwerk. Voor de CO₂ die wordt opgeslagen kan de afvangende partij kosten voor
 385 EU ETS vermijden. Hiervoor wordt in de subsidie gecorrigeerd.

386
 387 *Variant B: volledige levering van CO₂ aan het CO₂-transportnetwerk voor CO₂-opslag*
 388 Als referentie-situatie is gekozen voor continue CO₂-afvang, waarbij alle afgevangen CO₂
 389 wordt geleverd aan het CO₂-transportnetwerk en vervolgens wordt opgeslagen. Aangenomen
 390 is dat de bestaande CO₂-afvanginstallatie in 2005 in gebruik is genomen en bij de start van
 391 levering aan het CO₂-transportnetwerk (verwacht rond 2025) volledig is afgeschreven. De
 392 investeringskosten voor deze variant beperken zich daardoor tot de uitbreiding van compres-
 393 sie en de aansluiting op het CO₂-transportnetwerk. De investeringskosten zijn daarmee gelijk
 394 aan de kosten voor variant A.

395
 396 De operationele kosten bestaan uit de verwerkingstoelage, energiekosten voor compressie,
 397 en vaste en variabele O&M-kosten voor compressie en de aansluiting naar het CO₂-
 398 transportnetwerk. Voor de afvangende partijen levert deze variant als voordeel op dat zij
 399 meer CO₂ opslaan, waardoor ze ook meer kosten voor EU ETS kunnen vermijden.

400
 401 Opgemerkt wordt dat bij deze variant tuinders afhankelijk zijn van alternatieve bronnen voor
 402 CO₂, waaronder verbranding van aardgas. Dit zou een ongewenst effect zijn vanuit het oog-
 403 punt van nationale emissies. Hiermee is geen rekening gehouden bij het bepalen van de
 404 rangschikking van deze technologie in termen van kosten per vermeden CO₂-emissie. Voor
 405 de referentie-installatie zijn de volgende kostenparameters gebruikt (zie tabel 4-1)

406
 407 **Tabel 4-1 Referentie-installatie voor extra CO₂-afvang bij bestaande installatie**

Parameter	Eenheid	Variant A: SDE++ 2021	Variant B: SDE++ 2021
Aantal draaiuren	[uren/jaar]	4000	8000
Capaciteit CO ₂ -aansluiting	[Mt CO ₂ afvang/jaar]	1,0	1,0
Afgevangen CO ₂ voor opslag	[Mt CO ₂ afvang/jaar]	0,55	1,0
Vermeden CO ₂	[Mt CO ₂ vermeden/jaar]	0,54	0,98
Investeringskosten: afvang, zuivering en compressie	[miljoen €]	29	29
Investeringskosten: aansluiting transportnetwerk	[miljoen €]	4,5	4,5
MIA-correctie voor omzetbelasting	[miljoen €]	-	-
Vaste O&M-kosten	[miljoen €/jaar]	1,0	1,0
Variabele O&M-kosten en energiekosten	[€/t CO ₂ afvang]	6,6	6,6
Verwerkingstoelage	[€/t CO ₂ afvang]	90	60
Basisbedrag	[€/t CO ₂ afvang]	113	76

408
 409 De benodigde energie voor CO₂-compressie wordt geschat op:

- 410 • Elektriciteit: 125 kWh_e/t CO₂ afgevangen
- 411 • Warmte: 0 kWh_{th}/t CO₂ afgevangen

412

Toelichting op berekening verwerkingstoelage

Variant A

De verwerkingstoelage wordt vastgesteld aan de hand van het jaarlijkse volume en de piekcapaciteit. Dit laatste is van invloed op de kosten voor het transport:

- Het jaarlijkse volume dat wordt getransporteerd en opgeslagen is 0,55 Mt CO₂;
- Door de seizoenslevering is de piekcapaciteit gelijk aan een jaarlijkse levering van 1,0 Mt CO₂. De zogenaamde "load factor" is dan $1,0 / 0,55 = 1,8$;
- Het opslagtariaf is 15 €/t CO₂ getransporteerd. Deze is onafhankelijk van de piekcapaciteit.
- Transporttarief is 45 €/t CO₂ getransporteerd op basis van 8000 uur levering. Correctie voor de load factor gebeurt op basis van het basistarief van 8760 uur: 41 €/t CO_2 . Het transporttarief voor deze case wordt dan $41 * 1,8 = 75 \text{ €/t CO}_2$

De verwerkingstoelage voor variant A is dan: $15 + 75 = 90 \text{ €/t CO}_2$ getransporteerd.

Variant B

In deze case is er sprake van constante levering, waardoor er geen aanpassingen zijn in de basistarieven voor transport en opslag:

- Het opslagtariaf is 15 €/t CO₂ getransporteerd
- Transporttarief is 45 €/t CO₂ getransporteerd

De verwerkingstoelage voor variant B is dan: $15 + 45 = 60 \text{ €/t CO}_2$ getransporteerd.

413 4.6 Nieuwe CO₂-afvang bij bestaande installaties

414 Deze subcategorie is opengesteld voor alle bestaande installaties waarvoor CCS wordt over-
415 wogen. Als referentie is gekozen voor blauwe waterstof: toepassen van CO₂-afvang bij be-
416 staande waterstofproductie door middel van *steam methane reforming* (SMR). Dit is in
417 Nederland de meest toegepaste productiemethode voor waterstof. Toepassen van CO₂-
418 afvang op deze installaties is mogelijk met behulp van pre-combustion-technieken, waarna
419 de CO₂ wordt gecompriëerd en getransporteerd. Waterstof wordt in Nederland op verschil-
420 lende locaties geproduceerd en in verschillende configuraties: standalone en geïntegreerd.
421 Op basis van de beschikbare literatuurdata kan worden aangenomen dat er slechts een ver-
422 schil is in CO₂-afvangkosten, maar dit kon niet met de beschikbare industriedata worden on-
423 derbouwd. Daarom is er (nog) geen aanleiding is om verschillende basisbedragen te
424 berekenen.

425
426 Investerings voor de referentie-installatie bestaan uit een CO₂-afvanginstallatie, reinigings-
427 installatie, compressie en een aansluiting naar het CO₂-transportnetwerk. Voor de referentie-
428 installatie zijn de kostenparameters van tabel 4-2 gebruikt.
429

430 **Tabel 4-2 Referentie-installatie voor nieuwe CO₂-afvang bij bestaande installaties**
 431 **(op basis van CO₂-afvang bij een bestaande SMR-waterstoffabriek)**

Parameter	Eenheid	Conceptadvies SDE++ 2021
Aantal draaiuren	[uren/jaar]	8000
Capaciteit waterstofproductie	[kt H ₂ /jaar]	80
Afgevangen CO ₂ voor opslag	[Mt CO ₂ afvang/jaar]	0,36
Vermeden CO ₂	[Mt CO ₂ vermeden/jaar]	0,32
Investeringskosten: afvang, zuivering en compressie	[miljoen €]	68
Investeringskosten: aansluiting transportnetwerk	[miljoen €]	1,6
MIA-correctie voor omzetbelasting	[miljoen €]	1,95
Vaste O&M-kosten	[miljoen €/jaar]	2,1
Variabele O&M-kosten en energiekosten	[€/t CO ₂ afvang]	20,6
Verwerkingstoelage	[€/t CO ₂ afvang]	60
Basisbedrag	[€/t CO ₂ afvang]	114

432

433 De benodigde energie voor CO₂-afvang en -compressie wordt geschat op:

- 434 • Elektriciteit: 175 kWh_e/t CO₂ afgevangen
 435 • Warmte: 313 kWh_{th}/ t CO₂ afgevangen

436 4.7 Nieuwe CO₂-afvang bij nieuwe installaties

437 Deze subcategorie is opengesteld voor alle nieuwe installaties waarvoor CCS wordt overwo-
 438 gen. Als referentie-installatie is gekozen voor nieuwe, blauwe waterstof: een nieuwe SMR-
 439 waterstoffabriek met een productiecapaciteit van 80 kt per jaar. Met behulp van pre-combus-
 440 tion-technieken wordt CO₂ uit het syngas verwijderd, gecomprimeerd en getransporteerd.

441

442 Investeringskosten voor de referentie-installatie bestaan uit een CO₂-afvanginstallatie, reinigings-
 443 installatie, compressie en een aansluiting naar het CO₂-transportnetwerk. Voor de referentie-
 444 installatie zijn de kostenparameters van tabel 4-3 gebruikt.

445

446 **Tabel 4-3 Referentie-installatie voor nieuwe CO₂-afvang bij nieuwe installaties (op**
 447 **basis van CO₂-afvang bij een nieuwe SMR-waterstoffabriek)**

Parameter	Eenheid	Conceptadvies SDE++ 2021
Aantal draaiuren	[uren/jaar]	8000
Capaciteit waterstofproductie	[kt H ₂ /jaar]	80
Afgevangen CO ₂ voor opslag	[Mt CO ₂ afvang/jaar]	0,36
Vermeden CO ₂	[Mt CO ₂ vermeden/jaar]	0,33
Investeringskosten: afvang, zuivering en compressie	[miljoen €]	61
Investeringskosten: aansluiting transportnetwerk	[miljoen €]	1,6
MIA-correctie voor omzetbelasting	[miljoen €]	1,95
Vaste O&M-kosten	[miljoen €/jaar]	1,3
Variabele O&M-kosten en energiekosten	[€/t CO ₂ afvang]	17,4
Verwerkingstoelage	[€/t CO ₂ afvang]	60
Basisbedrag	[€/t CO ₂ afvang]	106

448

449 De benodigde energie voor CO₂-afvang en -compressie wordt geschat op:

- 450 • Elektriciteit: 175 kWh_e/t CO₂ afgevangen
 451 • Warmte: 286 kWh_{th}/ t CO₂ afgevangen

5 Overzicht basisbedragen

452

453

454 In tabel 5-1 worden de basisbedragen voor de voorgestelde subcategorieën weergegeven,
455 met daarbij een omrekening naar €/t CO₂ vermeden op basis van de kaders van de rang-
456 schikking (direct energiegebruik bij afvang meegenomen).

457

458 **Tabel 5-1 Overzicht SDE++-basisbedragen subcategorieën CO₂-afvang en -opslag**
459 **(CCS)**

Subcategorie	Uren	Basisbedrag SDE++ 2021 [€/t CO ₂ afgevangen]
Aanvullende CO ₂ -opslag bij bestaande CO ₂ -afvanginstallaties (A)	4000	112,599
Extra CO ₂ -opslag bij bestaande CO ₂ -afvanginstallaties (B)	8000	76,372
Nieuwe CO ₂ -afvang bij bestaande industriële installaties	8000	113,864
Nieuwe CO ₂ -afvang bij nieuwe industriële installaties	8000	105,799

460

6 Uitvraag

461

462 Tijdens het opstellen van dit conceptadvies is een aantal overwegingen gemaakt. Deze wor-
463 den hieronder toegelicht. Gevraagd wordt of marktpartijen op enkele van deze overwegingen
464 kunnen reflecteren.

465 6.1 Indeling naar CO₂-concentratie van de gasstroom 466 waaruit CO₂ wordt afgevangen

- 467 • Voor het conceptadvies is overwogen de subcategorieën in te delen naar CO₂-
468 concentratie van de gasstroom waaruit CO₂ wordt afgevangen. In het eindadvies
469 SDE++ 2020 heeft het PBL vastgesteld dat een indeling naar CO₂-concentraties niet
470 noodzakelijkerwijs leidt tot een meer transparante, overzichtelijke of generiekere in-
471 deling. Wel is vastgesteld dat er voordelen kunnen zijn.
- 472 • Het PBL heeft onvoldoende informatie tot zijn beschikking om voor dit conceptadvies
473 over te gaan op een categorisatie naar CO₂-concentratie. Er wordt marktpartijen die
474 de voorkeur hebben voor een indeling naar CO₂-concentratie gevraagd relevante in-
475 formatie te delen tijdens de marktconsultatie.

476 6.2 Operationele kosten

- 477 • Er is voor dit conceptadvies aangenomen dat vaste O&M-kosten voor afvang bij
478 nieuwe installaties lager zijn (2% van investeringskosten afvanginstallatie) dan voor
479 afvang bij bestaande installaties (3% van investeringskosten afvanginstallatie) om-
480 dat er aangenomen wordt dat O&M efficiënter is bij nieuwe installaties.
- 481 • Marktpartijen worden gevraagd hun mening over deze aanname te delen tijdens de
482 marktconsultatie.

483 6.3 CO₂-transport en -opslagnetwerk

- 484 • In dit conceptadvies wordt aangenomen dat de eerste CCS-projecten aangesloten
485 zullen worden aan de netwerken van Porthos of Athos. Hoewel andere opties niet bij
486 voorbaat uitgesloten worden kan deze aanname in de praktijk betekenen dat de ba-
487 sisbedragen niet toereikend zijn voor projecten die niet aangesloten worden op
488 Porthos of Athos.
- 489 • Marktpartijen wordt gevraagd tijdens de marktconsultatie relevante informatie te de-
490 len over alternatieve plannen voor het transporteren en opslaan van CO₂.

Literatuur

- 492 Belastingdienst. (2019, april 29). *Tabellen tarieven milieubelastingen*. Opgehaald van
493 Belastingdienst:
494 [https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakel](https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/overige_belastingen/belastingen_op_milieugrondslag/tarieven_milieubelastingen/tabellen_tarieven_milieubelastingen?projectid=6750bae7-383b-4c97-bc7a-802790bd1110)
495 [ijk/overige_belastingen/belastingen_op_milieugrondslag/tarieven_milieubelastingen/t](https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/overige_belastingen/belastingen_op_milieugrondslag/tarieven_milieubelastingen/tabellen_tarieven_milieubelastingen?projectid=6750bae7-383b-4c97-bc7a-802790bd1110)
496 [abellen_tarieven_milieubelastingen?projectid=6750bae7-383b-4c97-bc7a-](https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/overige_belastingen/belastingen_op_milieugrondslag/tarieven_milieubelastingen/tabellen_tarieven_milieubelastingen?projectid=6750bae7-383b-4c97-bc7a-802790bd1110)
497 [802790bd1110](https://www.belastingdienst.nl/wps/wcm/connect/bldcontentnl/belastingdienst/zakelijk/overige_belastingen/belastingen_op_milieugrondslag/tarieven_milieubelastingen/tabellen_tarieven_milieubelastingen?projectid=6750bae7-383b-4c97-bc7a-802790bd1110)
- 498 Blue Terra. (2018). *Hoogtemperatuurwarmtepompen rentabiliteit warmtepompen*.
- 499 Blue Terra. (2019, juni 6). *Communicatie via mail met Jan Grift*.
- 500 ECN. (2019). *Persoonlijk communicatie met Anton Wemmers*.
- 501 EEX. (2019). *Emission Spot Primary Market Auction Report 2018*.
- 502 GeoCapacity. (2010). *EU GeoCapacity*. Opgehaald van Assessing European Capacity for
503 Geological Storage of Carbon Dioxide: <http://www.geology.cz/geocapacity>
- 504 IEA & UNIDO. (2011). *Technology Roadmap: Carbon capture and storage in industrial*
505 *applications*. Parijs: International Energy Agency (IEA).
- 506 IEAGHG. (2017). *Techno-economic evaluation of HYCO Plant Integrated to Ammonia/Urea or*
507 *Methanol production with CCS*. Cheltenham: IEA Greenhouse Gas R&D Programme.
- 508 Klop. (2015). *Steaming ahead with MVR*.
- 509 Navigant. (2019). *Verkenning uitbreiding SDE+ met industriële opties*.
- 510 PBL. (2018a). *Eindadvies basisbedragen SDE+ 2019*.
- 511 PBL. (2019). *Definitieve correctiebedragen 2018 voor de SDE+*.
- 512 PBL. (2019). *Klimaat en Energieverkenning 2019*. Den Haag: PBL.
- 513 Porthos. (2019, June 24). Interview Porthos. (P. Noothout, & S. Lensink, Interviewers)
- 514 RVO. (2016). *Industriële warmtepompen*.
- 515 RVO. (2020). *MIA\VAMIL Borchure en Milieulijst 2020*. Zwolle: Rijksdienst voor Ondernemend
516 Nederland (RVO).
- 517 Star Renewable Energy. (2019). *Personal communication with David Pearson*.
- 518 Stedin. (2019). *Elektriciteit tarieven 2019*.
- 519 Stedin. (2019). *Elektriciteit tarieven 2019*.
- 520 Tennet. (2019, april 29). *Kosten van een netaansluiting*. Opgehaald van Tennet:
521 [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/)
522 [hoogspanningsnet/kosten-van-een-netaansluiting/](https://www.tennet.eu/nl/elektriciteitsmarkt/aansluiten-op-het-nederlandse-hoogspanningsnet/kosten-van-een-netaansluiting/)

523 Tennet. (2019). *Tarievenbesluit TenneT 2019*.

524 Tennet. (2019). *Tarievenbesluit TenneT 2019*.

525