



1

2

CONCEPTADVIES SDE++ 2022 CO₂-AFVANG EN -OPSLAG (CCS)

3

4

5

6

7

8

Sam Lamboo, Marc Marsidi en Sander Lensink

9

10

22 april 2021

TNO

PBL

11 **Colofon**

12 **Conceptadvies SDE++ 2022 CO₂-afvang en -opslag (CCS)**

13 © PBL Planbureau voor de Leefomgeving

14 Den Haag, 2021

15

16 PBL-publicatienummer: 4394

17

18 **Contact**

19 sde@pbl.nl

20

21 **Auteurs**

22 Sam Lamboo (TNO), Marc Marsidi (PBL) en Sander Lensink (PBL)

23

24 **Redactie figuren**

25 Beeldredactie PBL

26

27 **Eindredactie en productie**

28

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

30 Sam Lamboo, Marc Marsidi en Sander Lensink (2021), Conceptadvies SDE++ 2022 CO₂-

31 afvang en -opslag (CCS), Den Haag: PBL.

32

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

37 Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk ge-

38 fundeerd.

Inhoud

40	1	Introductie	4
41	2	Beschrijving technologie	5
42	3	Aannames kosten	7
43	3.1	Investeringskosten	7
44	3.2	Operationele kosten	8
45	3.3	Verwerkingstoeslag	9
46	3.4	Aanname restwaarde	9
47	3.5	Correctiebedrag	10
48	3.6	Aangeboden en vermeden CO ₂	10
49	4	Basisbedragen	11
50	4.1	Indeling	11
51	4.2	Aanpassingen ten opzichte van het SDE++ Eindadvies 2021	14
52	4.3	CO ₂ -opslag bij bestaande CO ₂ -afvanginstallaties	15
53	4.3.1	Combinaties met CCU varianten in de SDE++	18
54	4.4	Nieuwe CO ₂ -afvang bij bestaande installaties	18
55	4.4.1	Pre-combustion CO ₂ -afvang bij bestaande industriële installatie	18
56	4.4.2	Post-combustion CO ₂ -afvang bij bestaande industriële installatie	19
57	4.5	Nieuwe CO ₂ -afvang bij nieuwe industriële installaties	20
58	4.5.1	Pre-combustion CO ₂ -afvang bij nieuwe industriële installatie	20
59	4.5.2	Post-combustion CO ₂ -afvang bij nieuwe industriële installatie	21
60	5	Overzicht basisbedragen	23
61	6	Uitvraag	24
62	6.1	Verdere differentiatie binnen subcategorieën	24
63			

1 Introductie

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

69

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

71

72 **Marktconsultatie**

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

77

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

82

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

84

85

2 Beschrijving

86

technologie

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

94

95 Bij industriële processen kan CO₂ zowel met pre-combustion- als post-combustion-tech-
96 nieken worden afgevangen.² Bij pre-combustion-technieken wordt de CO₂ verwijderd in het
97 productieproces, post-combustion-technieken verwijderen CO₂ uit rook- of restgassen.

98

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

102

103 Voor het transport en de opslag van CO₂ moeten er in Nederland CO₂-transportnetwerken
104 gerealiseerd worden waaraan de industrie de afgevangen CO₂ kan leveren. Op dit moment
105 zijn er gevorderde plannen voor CO₂-netwerken in Rotterdam (Porthos) en Amsterdam
106 (Athos). Deze transportnetwerken zullen een verwerkingstoelage vragen voor het transporte-
107 ren en opslaan van de CO₂. Om CO₂ te kunnen leveren aan deze netwerken, zullen geïnte-
108 resseerde bedrijven naast een CO₂-afvanginstallatie een aansluiting op het CO₂-transport-
109 netwerk moeten realiseren en de afgevangen CO₂ op de juiste druk en zuiverheid moeten
110 aanleveren. Voor bedrijven die niet aan pijpleiding transportnetwerken liggen zijn er alterna-
111 tieve CO₂-transportopties mogelijk, zoals het transporteren van vloeibaar CO₂ per schip.

112

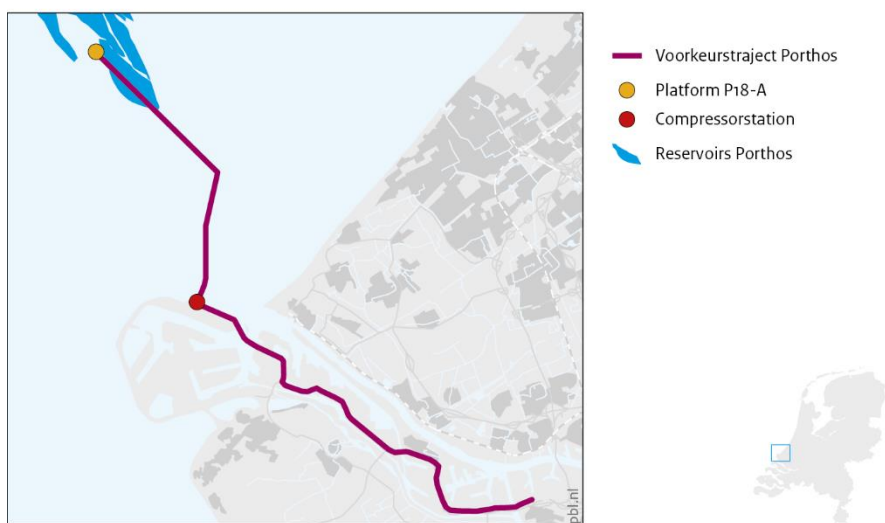
113 De aangeleverde CO₂ kan via een pijpleiding of per schip naar een ondergronds opslagveld
114 worden getransporteerd. De beoogde opslaglocatie voor het CO₂-transportnetwerk dat
115 Porthos wil ontwikkelen bevindt zich op zee, in het P18-veld, zie ook figuur 2-1. Voor Athos
116 is nog geen opslaglocatie bekendgemaakt, maar ook deze zal zich op zee bevinden. Voor off-
117 shore opslag per schip zijn meerdere locaties mogelijk, zowel dicht bij de Nederlandse kust
118 als verder weg zoals het Northern Lights-project in Noorwegen.

119

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).

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



121 Bron: Royal Haskoning DHV, 2019; bewerking PBL

122

123 In het volgende hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de verschillende kostenposten.

124 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. De aannames voor kostenfactoren die voor alle CCS-cases gelden, zijn:

- 136 • Zuivering: er zijn nog geen specificaties afgegeven over de zuiverheid van CO₂ bij in-
137 voeding in het CO₂-transportnetwerk. Daarom benaderen we de zuiveringskosten
138 vanuit waardes die in de openbare literatuur gevonden worden;
- 139 • Compressie: de afgevangen CO₂ moet aan het CO₂-transportnetwerk worden aange-
140 leverd op 35 bar (Porthos, 2019). In het CO₂-transportnetwerk wordt de druk verder
141 verhoogd tot 100 bar of hoger (Porthos, 2019);
- 142 • Vervloeiing: voor transport van vloeibare CO₂ per (binnenvaart)schip of per truck. Er
143 zijn kosten nodig voor de vervloeiing installatie en een terminal met op- en overslag-
144 faciliteiten;
- 145 • Aansluitkosten: dit betreft de kosten voor het aansluiten van de CO₂-afvang en com-
146 pressoren aan een CO₂-transportnetwerk voor gasvormig transport van CO₂. Deze
147 investering komt voor rekening van de aanvragende partij. Er is, net als voor de
148 SDE++ 2021, aangenomen dat de aanvragers zich zullen beperken tot het gebied
149 waar het CO₂-transportnetwerk wordt gerealiseerd. Hierdoor zal de afstand voor de
150 aansluiting relatief kort zijn: ongeveer 3 km. De kosten voor de pijpleiding van de af-
151 vanginstallatie naar het CO₂-transportnetwerk wordt geschat op 1,5 €/km/t CO₂ per
152 jaar. De totale aansluitkosten worden hiermee geschat op 4,5 €/t CO₂ afgevangen
153 per jaar.

154

155 Voor het opslaan van CO₂ is een CO₂-transportnetwerk nodig. CO₂-transport naar de opslag-
156 locatie kan zowel via pijpleiding als per schip. Als referentie voor het CO₂-opslagnetwerk is
157 voor een pijpleidingnetwerk gekozen, omdat de kosten voor een CO₂-pijpleidingennetwerk
158 lager liggen dan de kosten van opslag per schip.

159

160 Als referentie voor het CO₂-transport- en -opslagnetwerk is voor Porthos gekozen. Dit project
161 bevindt zich in een gevorderd stadium waardoor er informatie beschikbaar is omtrent techni-
162 sche specificaties (zoals druk) en kosten voor transport en opslag. Dit vereist investering in
163 een CO₂-(pijpleidingen)netwerk, additionele compressie en CO₂-opslagfaciliteiten. De realisa-
164 tie van het CO₂-transportnetwerk wordt niet als onderdeel beschouwd van de SDE++, maar
165 er wordt wel rekening gehouden met een verwerkingstoelage die moet worden betaald voor
166 het laten transporteren en opslaan van de CO₂. Deze verwerkingstoelage is een operationele
167 kostenpost en wordt verder toegelicht in paragraaf 3.2.

168

169 Voor afvanglocaties die niet direct aan het Porthos-netwerk liggen of hier geen gebruik van
170 willen maken is het mogelijk om CO₂ te transporteren per schip of per as (over de weg). De

171 kosten voor deze opties liggen hoger dan transport per pijpleiding, waardoor er rekening ge-
172 houden wordt met een hoger verwerkingstarief voor transport per binnenvaartschip. Voor
173 subcategorieën met transport per schip wordt uitgegaan van invoeding in en opslag door
174 middel van het Porthos-netwerk. De verwerkingstoeslag voor vloeibaar transport wordt ook
175 verder toegelicht in paragraaf 3.2.

176
177 Er zijn locaties waar al CO₂ wordt afgevangen en geleverd wordt aan tuinders, frisdrankenin-
178 dustrie of wordt gebruikt voor productie van ureum en melamine (CCU). Indien de vraag sei-
179 zoensgebonden is (zoals bij levering aan tuinders), wordt een deel van het jaar de
180 afgevangen CO₂ afgeblazen. Deze CO₂ kan ook worden opgeslagen. Hiervoor zijn aanvul-
181 lende investeringen vereist in bijvoorbeeld compressie en aansluiting op het CO₂-
182 transportnetwerk dat gebruikt wordt voor ondergrondse opslag.

183 3.2 Operationele kosten

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

188
189 De vaste O&M-kosten bestaan uit salariskosten, administratieve en overheadkosten, jaar-
190 lijke O&M, verzekeringen en lokale belastingen (IEAGHG 2017a). Op basis van literatuur en
191 industriedata is aangenomen dat deze kosten voor CO₂-afvang, zuivering, compressie en
192 vervloeiing 3% van de investeringskosten bedragen voor afvang bij bestaande installaties en
193 2% van de investeringskosten voor afvang bij nieuwe installaties. Voor de aansluiting zijn de
194 O&M-kosten op 2% van de investeringskosten gesteld. De variabele O&M-kosten worden be-
195 paald door het gebruik van bijvoorbeeld chemicaliën die nodig zijn bij het afvangen van CO₂.
196 Deze kosten kunnen verschillen per toepassing en kunnen ook verwaarloosbaar zijn.

197
198 Energiekosten bestaan uit warmte of stoom voor CO₂-afvang en elektriciteit voor compressie.
199 De benodigde hoeveelheid energie, nodig voor CO₂-afvang en compressie, kan in de meeste
200 gevallen gevonden worden in de beschikbare literatuur en rapporten. Alleen indien deze in-
201 formatie niet beschikbaar is, worden energiekosten geschat op basis van vuistregels uit de
202 literatuur:

- 203 • Warmte bij CO₂-afvang, pre-combustion: 312,5 kWh (th)/t CO₂ afgevangen³;
- 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 • Elektriciteit bij vervloeiing: 162 kWh (e)/t CO₂ afgevangen.

209
210 Een deel van de warmtevraag zou door onbenutte restwarmte kunnen worden ingevuld. Voor
211 de elektriciteitsprijs wordt de groothandelsprijs gebruikt van 0,0449 euro/kWh. Deze is bere-
212 kend op basis van de ongewogen geraamde gemiddelde elektriciteitsprijzen van 2021 tot en
213 met 2030 op basis van de KEV 2020 (PBL 2020). Voor de kosten van warmte wordt op basis
214 van de KEV een prijs van 0,020 euro/kWh_{th} aangenomen. Naast energie zijn er beperkte kos-
215 ten voor het gebruik van chemicaliën en water voor het afvangproces. Deze kosten verschil-
216 len per proces en worden daarom per referentie-installatie vastgesteld.

³ Er wordt gerekend met de werkelijke hoeveelheid afgevangen CO₂ en niet de totale CO₂-emissie omdat er doorgaans maar een deel van de totale CO₂-emissies afgevangen wordt. Welk percentage er afgevangen wordt hangt onder meer af van de toegepaste afvangtechniek.

217 3.3 Verwerkingstoelage

218 De afgevangen CO₂ wordt via een 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 schepen, CO₂-tanks, compressoren, enzovoort), de operationele kosten (energie, onderhoud,
222 monitoring, en dergelijke) en de aansprakelijkheidsrisico's in het geval van bijvoorbeeld lek-
223 kages.

224
225 Voor het vaststellen van de verwerkingstoelage voor gasvormig CO₂-transport per pijpleiding
226 en opslag wordt uitgegaan van het Porthos-netwerk. Een belangrijke factor hierin is het to-
227 tale volume dat door het CO₂-transportbedrijf getransporteerd en opgeslagen moet worden.
228

229 De verwerkingstoelage voor gasvormig CO₂-transport per pijpleiding wordt vastgesteld aan
230 de hand van het jaarlijkse volume en de piekcapaciteit. Er wordt in eerste instantie uitge-
231 gaan van een bezettingsgraad van 80% 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, dit is de productie bij 8760 uur;
- 235 • de 'load factor': TO_piek/TO, dit is de piekcapaciteit (TO_piek) gedeeld door de wer-
236 kelijk jaarlijks te vervoeren CO₂ (TO);
- 237 • het opslagtariaf van 17,4 euro/t CO₂ getransporteerd, onafhankelijk van de piekca-
238 paciteit;
- 239 • het transporttarief: deze is 29,7 euro/t CO₂ getransporteerd op basis van 8000 uur
240 levering en 27,1 euro/t CO₂ op basis van 8760 uur levering.

241
242 De verwerkingstoelage voor gasvormig transport per pijpleiding en opslag (in euro/t CO₂)
243 wordt berekend door: opslagtariaf + transporttarief * load factor.
244

245 Voor de verwerkingstoelage voor vloeibaar transport wordt uitgegaan van transport per bin-
246 nenvaartschip naar een CO₂-transport- en -opslagnetwerk waar gebruik van gemaakt wordt
247 voor opslag onder de Noordzee. Voor het opslagtariaf wordt het opslagtariaf van Porthos ge-
248 hanteerd. Momenteel is het nog niet duidelijk of Porthos een hoger tarief zal hanteren voor
249 partijen die het Porthos-netwerk enkel voor opslag willen gebruiken. Naast het transportta-
250 rief en het opslagtariaf wordt er een verwerkingstariaf meegenomen voor het verwerken van
251 de per schip geleverde vloeibare CO₂ op de locatie van het CO₂-transport- en -opslagnet-
252 werk. Er wordt van uitgegaan dat jaarlijkse volume en piekcapaciteit geen invloed hebben op
253 de verwerkingstoelage voor vloeibaar CO₂.

254
255 Voor de verwerkingstoelage voor vloeibaar CO₂-transport worden de volgende tarieven ge-
256 hanteerd:

- 257 • het transporttarief: 25 euro/t CO₂ getransporteerd;
- 258 • een verwerkingstariaf van 15 euro/t CO₂ getransporteerd;
- 259 • het opslagtariaf van 17,4 euro/t CO₂ getransporteerd; dit tarief is gelijk aan het op-
260 slagtariaf voor de verwerkingstoelage.

261 3.4 Aannee restwaarde

262 Voor CCS wordt een subsidietermijn van 15 jaar aangenomen, gelijk aan de meeste andere
263 technologieën binnen de SDE++. Er wordt aangenomen dat er geen restwaarde over is na de
264 15 jaar subsidieperiode.

265 3.5 Correctiebedrag

266 De onrendabele top wordt bepaald door het basisbedrag te verminderen met de inkomsten
267 die worden gegenereerd door de technologie. CCS betreft een *end-of-pipe*-oplossing waar-
268 voor geen inkomsten worden genereerd. Wel worden er mogelijk EU ETS-rechten uitgesp-
269 aard.

270
271 Het afvangen en opslaan van CO₂ kan een effect hebben op de handel in emissierechten (of-
272 ficieel *European Emission Allowances* [EUA]). Jaarlijks wordt voor de waarde van de emissie-
273 rechten gecorrigeerd. De hoogte van dit correctiebedrag adviseren wij per aanvraag te
274 beoordelen, vanwege de verschillende mogelijke interacties met gratis gealloceerde emissie-
275 rechten. Het maximale bedrag waarvoor gecorrigeerd dient te worden per eenheid opgesla-
276 gen CO₂ is de ongewogen gemiddelde marktprijs van EEX-EUA voor CO₂-emissierechten.

277 3.6 Aangeboden en vermeden CO₂

278 Toepassing van CCS vraagt energie voor afvangen, zuiveren en op druk brengen van de CO₂.
279 Dit interne energiegebruik (ook wel *energy penalty* genoemd) kan leiden tot additionele CO₂-
280 uitstoot. Voor elektriciteit wordt gerekend met de verwachte gemiddelde marginale CO₂-
281 emissiefactor voor elektriciteit uit het net in 2030 (0,216 kg CO₂/kWh).⁴ Voor warmte wordt
282 uitgegaan van verbranding van aardgas: 56,4 kg CO₂/GJ aardgas (LHV). Bij een conversie-
283 efficiëntie van 90% (LHV) van een gasgestookte ketel, is de CO₂-emissie 62,7 kg CO₂/GJ_{th}
284 (0,226 kg CO₂/kWh_{th}).

285
286 In sommige gevallen wordt een deel van de afgevangen CO₂ gebruikt voor CCU. Deze CO₂
287 moet buiten beschouwing worden gelaten bij de bepaling van het interne energieverbruik.
288 Daarom wordt gerekend met het volume CO₂ dat wordt afgevangen voor CO₂-opslag:

289
290 Intern energiegebruik =
291 (elektriciteit per ton CO₂ afgevangen * emissiefactor +
292 warmte per ton CO₂ afgevangen * emissiefactor)
293 * totaal tonnen CO₂ afgevangen voor opslag

294
295 Door het volume afgevangen CO₂ voor opslag te corrigeren voor het interne energieverbruik
296 wordt het volume vermeden CO₂ verkregen. Dit is de netto CO₂-reductie. Om het effect en
297 de kosteneffectiviteit van de SDE++ te beoordelen, wordt de vermeden CO₂-emissie gebruikt
298 in het bepalen van het basisbedrag (zie Hoofdstuk 4).

299
300 Voor het afrekenen van de subsidie zal het volume afgevangen CO₂ voor opslag worden ge-
301 bruikt, omdat dit door een onafhankelijke partij bij invoeding in het CO₂-transportnetwerk
302 kan worden vastgesteld. Dat is niet het geval voor vermeden CO₂. Dat betekent dat in de uit-
303 voering van de regeling ook een bedrag wordt vastgesteld in euro/t CO₂ afgevangen voor op-
304 slag.

305
306 De CO₂-emissies als gevolg van het opereren van het CO₂-transportnetwerk en het opslaan
307 van CO₂ zijn niet meegenomen in de berekening van het interne energiegebruik.⁵

⁴ In plaats van voor het jaar 2032 zijn de data voor het jaar 2030 gebruikt, omdat de KEV 2020-modellering het jaar 2032 niet als zichtjaar bevat. Voor het eindadvies wordt dit aangepast naar 2032 op basis van de KEV 2021-modellering.

⁵ In het eindadvies SDE++ 2020 is ingeschat dat de additionele CO₂-uitstoot als gevolg van transport en injectie ten hoogste 2% bedraagt. Nader onderzoek moet vaststellen of gedurende het vullen van het gasveld de energiekosten en daarmee de CO₂-uitstoot zullen toenemen.

4 Basisbedragen

4.1 Indeling

Voor verschillende processen is op basis van literatuur en marktdata inzicht verkregen in de kosten van toepassing van CCS. Op basis van karakteristieken van de afvangprocessen, de puurheid van de bronnen en de aanwezigheid van afvanginstallaties wordt advies uitgebracht over drie SDE++-subcategorieën met deelcategorieën:

- CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties;
 - Gedeeltelijke CO₂-opslag voor gasvormig en vloeibaar transport (variant 1A en 2A)
 - Volledige CO₂-opslag voor gasvormig en vloeibaar transport (variant (1B en 2B)
- Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande industriële installaties;
 - Nieuwe pre-combustion CO₂-afvang voor gasvormig en vloeibaar transport (variant 3 en 4)
 - Nieuwe post-combustion CO₂-afvang voor gasvormig en vloeibaar transport (variant 5 en 6)
- Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe industriële installaties.
 - Nieuwe pre-combustion CO₂-afvang voor gasvormig en vloeibaar transport (variant 7 en 8)
 - Nieuwe post-combustion CO₂-afvang voor gasvormig en vloeibaar transport (variant 9 en 10)

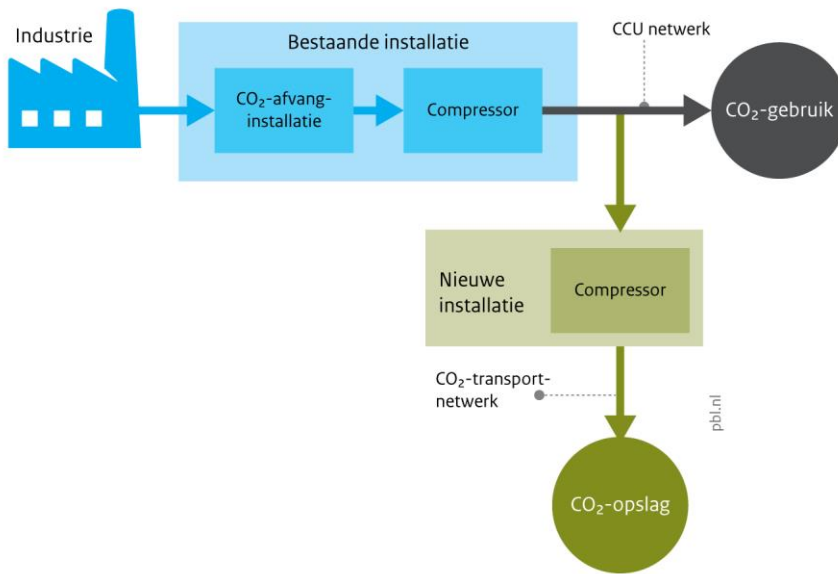
4.1.1 CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties

Onder deze subcategorie vallen installaties waar al CO₂ wordt afgevangen en getransporteerd voor gebruik bij tuinders, in de frisdrankindustrie en in de productie van ureum. Aansluiting op het CO₂-transportnetwerk kan met behulp van een aftakking op de bestaande verbinding tussen afvang/compressie en CCU-netwerk. Omdat het CO₂-transportnetwerk op een hogere druk opereert dan het CCU-netwerk, is extra compressie nodig om de CO₂ op de juiste druk aan te leveren. Voor de aansluiting en de compressor worden zowel investeringskosten als O&M-kosten in het basisbedrag opgenomen.

Voor het transport naar de opslaglocatie en het opslaan wordt een verwerkingstoelage opgenomen. CO₂-levering aan het CCU-netwerk kan gecontinueerd worden (Variant 1A – Figuur 4-1).

339
340

341 **Figuur 4-1 Gedeeltelijke CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties; gasvor-**
 342 **mig transport (variant 1A)**

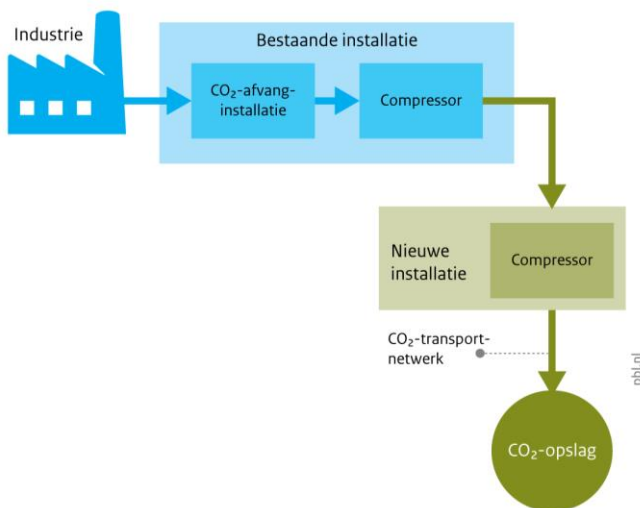


Bron: PBL

343
 344
 345 Indien de CO₂-levering aan het CCU-netwerk niet wordt gecontinueerd kan de afgevangen
 346 CO₂ direct aan het CO₂-transportnetwerk geleverd worden (Variant B - Figuur 4-2). Voor
 347 gasvormig transport zal de additionele compressor achter de bestaande compressor worden
 348 geplaatst, zodat de afgevangen CO₂ direct op de juiste druk wordt gebracht voor invoeding in
 349 het CO₂-transportnetwerk. Aangenomen wordt dat deze configuratie niet zal leiden tot additi-
 350 onele kosten voor compressie en aansluiting op het transportnetwerk ten opzichte van Vari-
 351 ant 1A.

352
 353
 354
 355

Figuur 4-2 Volledige CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties ; gasvormig
transport (variant 1B)



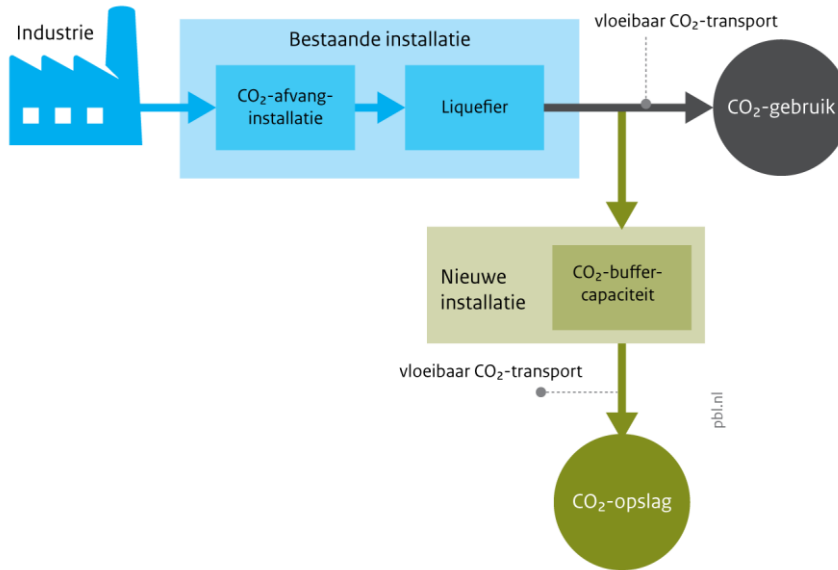
Bron: PBL

356
 357
 358 De afgevangen CO₂ kan ook in vloeibare vorm getransporteerd worden. Voor deze gevallen
 359 gaan we ervan uit dat er in de huidige situatie ook al vloeibaar CO₂ geleverd wordt aan tuin-
 360 ders of andere afnemers. Er is aangenomen dat er al een vervloeiingsinstallatie aanwezig is
 361 en dat deze ook al afgeschreven is. De investerings- en operationele kosten voor de

362 vervloeiingsinstallatie worden niet meegenomen voor het bepalen van het basisbedrag. Wel
 363 is er rekening gehouden met een uitbreiding van opslagcapaciteit voor vloeibare CO₂ op de
 364 afvanglocatie, die als buffer gebruikt kan worden voor het laden van binnenvaartschepen (of
 365 trucks). Voor het transport naar de opslaglocatie en het opslaan wordt een verwerkingstoe-
 366 slag opgenomen. De CO₂-levering voor nuttig gebruik kan gecontinueerd worden (Variant 2A
 367 – Figuur 4-3) of niet (Variant 2B - Figuur 4-4).

368
 369
 370
 371

Figuur 4-3 Gedeeltelijke CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties; vloeibaar transport (variant 2A)



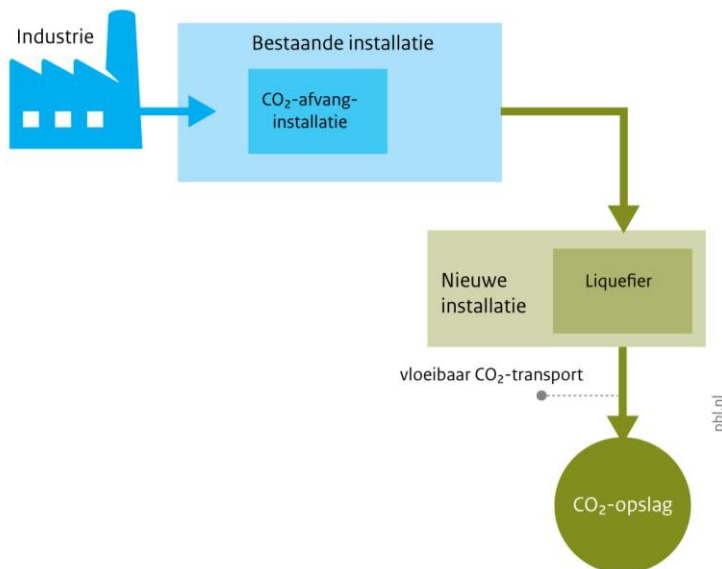
372
 373

Bron: PBL

374

Figuur 4-4 Volledige CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties; vloeibaar transport (variant 2B)

376

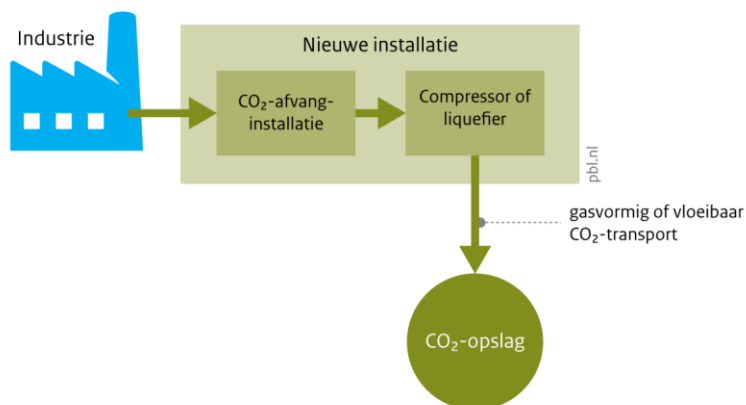


377
 378

Bron: PBL

379 **4.1.2 Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande industriële installaties**
380 Voor deze subcategorie zijn investeringen vereist in een CO₂-afvanginstallatie, compressor
381 en de aansluiting op het CO₂-transportnetwerk (zie figuur 4-5). In de berekening van het ba-
382 sisbedrag zijn hiervoor zowel investeringskosten (inclusief inpassings- en aanpassingskosten)
383 als operationele kosten opgenomen. Voor het transport naar de opslaglocatie en het opslaan
384 wordt een verwerkingstoeslag opgenomen.
385

386 **Figuur 4-5 Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande of nieuwe industriële in-**
387 **stallaties (varianten 3-10)**



388 Bron: PBL
389

390 **4.1.3 Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe industriële installaties**
391 Er is ook nieuwe CO₂-afvang mogelijk bij nog te bouwen installaties. Hier is het voordeel dat
392 de CO₂-afvang gelijk in het ontwerp kan worden meegenomen, wat leidt tot lagere inpas-
393 sings- en aanpassingskosten. De kostencomponenten voor deze opties zijn gelijk veronder-
394 steld aan de subcategorie Nieuwe CO₂-afvanginstallaties bij bestaande installaties (zie figuur
395 4-5).

396
397 Binnen iedere subcategorie is verder gedifferentieerd naar type CO₂-afvanginstallatie en CO₂-
398 transportmodus. Per subcategorie zijn er referentie-installaties bepaald waarvoor de kosten
399 zijn uitgerekend. Op basis hiervan wordt het basisbedrag geadviseerd.

400 **4.2 Aanpassingen ten opzichte van het SDE++ Eindadvies** 401 **2021**

402 De volgende aanpassingen zijn gemaakt aan de doorgerekende varianten ten opzichte van
403 het Eindadvies voor de SDE++ 2021:

- 404 - Voor varianten op de subcategorie CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties
405 met vloeibaar CO₂-transport (varianten 2A en 2B) is de referentie-installatie aange-
406 past naar een bestaande afvanginstallatie met bestaande vervloeiingsinstallatie.
- 407 - Voor varianten van pre-combustion CO₂-afvang bij nieuwe industriële installaties (va-
408 rianten 7 en 8) is de referentie-installatie aangepast naar een installatie met een ho-
409 ger afvangpercentage. Er is gekozen voor een ATR als referentie-installatie. Techno-
410 economische aannames zijn aangepast op basis van de nieuwe referentie-installatie.

411 4.3 CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties

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

417

418 Bij deze categorie kan er concurrentie ontstaan tussen CCS en CCU, omdat opslaan van CO₂
419 mogelijk een betere business case oplevert dan CCU. Er zijn voor deze subcategorie varian-
420 ten voor referentie-installaties voor CCS als aanvulling op CCU en CCS ter vervanging van
421 CCU vastgesteld. Omdat de keuze voor het al dan niet in stand houden van de CO₂-levering
422 voor CCU een beleidskeuze is, maakt het PBL geen keuze tussen deze varianten.

423

424 Een aantal van de varianten zijn ook te combineren met het CCU advies van de SDE++. Hier
425 wordt in paragraaf 4.3.5 verder op ingegaan.

426

427 4.3.1 Variant 1A: gedeeltelijke levering van CO₂ aan het CO₂- 428 transportnetwerk voor CO₂-opslag; gasvormig transport

429 Als referentiesituatie is gekozen voor continue CO₂-afvang met seizoenslevering aan tuin-
430 ders. Uitgangspunt is dat de huidige levering aan tuinders gecontinueerd wordt en dat de
431 CO₂-opslag additioneel is. Daarom wordt er voor de referentie-installatie aangenomen dat
432 deze halftijds (4000 draaiuren) zal opereren. De CO₂-afvangkosten worden gedekt door de
433 huidige activiteiten, waardoor de investeringen beperkt zijn tot een additionele compressor
434 en aansluiting op een CO₂-transportnetwerk bij gasvormig transport. Additionele compressie
435 is vereist, omdat de CCU-pijpleiding op een lagere druk (22 bar) opereert dan het CO₂-
436 transportnetwerk (35 bar). De capaciteit van de aansluiting is gedimensioneerd op de maxi-
437 male CO₂-afvangcapaciteit, zodat afgevangen CO₂ kan worden ingevoed in het 35-bar CO₂-
438 transportnetwerk wanneer er geen levering plaatsvindt aan de kassen of frisdrankindustrie.
439 De operationele kosten bestaan uit de verwerkingstoelage, energiekosten voor compressie,
440 en vaste en variabele O&M-kosten voor compressie en de aansluiting op het CO₂-
441 transportnetwerk.

442

443 4.3.2 Variant 1B: volledige levering van CO₂ aan het CO₂- 444 transportnetwerk voor CO₂-opslag; gasvormig transport

445 Als referentiesituatie is hier gekozen voor continue CO₂-afvang, waarbij alle afgevangen CO₂
446 wordt getransporteerd en vervolgens wordt opgeslagen. Aangenomen is dat de bestaande
447 CO₂-afvanginstallatie bij de start van levering aan het CO₂-transportnetwerk (verwacht rond
448 2025) volledig is afgeschreven. De investeringskosten voor deze variant beperken zich daar-
449 door tot de uitbreiding van compressie en de aansluiting op het CO₂-transportnetwerk voor
450 gasvormig transport. De investeringskosten zijn daarmee gelijk aan de kosten voor variant
451 1A.

452

453 De operationele kosten bestaan uit de verwerkingstoelage, energiekosten voor compressie,
454 en vaste en variabele O&M-kosten voor compressie en de aansluiting op het CO₂-
455 transportnetwerk.

456

457 Opgemerkt wordt dat bij deze variant de tuinders die CO₂ geleverd kregen afhankelijk wor-
458 den van alternatieve bronnen voor CO₂, waaronder verbranding van aardgas. Dit zou een on-
459 gewenst effect zijn vanuit het oogpunt van nationale emissies. Hiermee is geen rekening

460 gehouden bij het bepalen van de rangschikking van deze technologie in termen van kosten
461 per vermeden CO₂-emissie.
462

463 4.3.3 Variant 2A: gedeeltelijke levering van CO₂ aan het CO₂- 464 transportnetwerk voor CO₂-opslag; vloeibaar transport

465 Bij deze variant is er gekozen voor een vergelijkbare referentiesituatie als bij variant 1A:
466 continue afvang met gecontinueerde levering aan tuinders en 4000 additionele draaiuren
467 voor CO₂-opslag. Er is aangenomen dat er al vloeibaar CO₂ geleverd wordt aan de tuinders
468 en dat er voor CCS gebruik gemaakt kan worden van de bestaande vervloeiingsinstallatie.
469 Hierdoor worden er geen extra investeringskosten en vaste O&M kosten gemaakt voor de
470 vervloeiingsinstallatie. Er is aangenomen dat de CO₂-opslag op de afvanglocatie uitgebreid
471 wordt met voldoende capaciteit om maximaal 3 dagen aan CO₂ afgevangen voor opslag op te
472 slaan. Investerings- en onderhoudskosten voor de uitbreiding van de CO₂-buffercapaciteit
473 zijn daarom meegenomen in de berekening van het basisbedrag.

474
475 De operationele kosten bestaan uit O&M kosten voor de buffercapaciteit, energiekosten voor
476 vervloeiing en een verwerkingstoelage voor transport en opslag.
477

478 4.3.4 Variant 2B: volledige levering van CO₂ aan het CO₂- 479 transportnetwerk voor CO₂-opslag; vloeibaar transport

480 Bij deze variant is er gekozen voor een vergelijkbare referentiesituatie als bij variant 1B:
481 continue afvang, waarbij alle afgevangen CO₂ wordt getransporteerd en vervolgens opgesla-
482 gen. Er is aangenomen dat er voor CCS geen bestaande vervloeiingsinstallatie gebruikt kan
483 worden. Hierdoor worden er extra investeringskosten en vaste O&M kosten gemaakt voor de
484 vervloeiingsinstallatie. Er is bovendien aangenomen dat de CO₂-opslag op de afvanglocatie
485 uitgebreid wordt met voldoende capaciteit om maximaal 3 dagen aan additioneel afgevangen
486 CO₂ op te slaan.

487
488 De operationele kosten bestaan uit O&M kosten voor de buffercapaciteit, energiekosten voor
489 vervloeiing en een verwerkingstoelage voor transport en opslag.

490
491 Ook bij deze variant worden de tuinders die CO₂ geleverd kregen afhankelijk van alternatieve
492 bronnen voor CO₂, waaronder verbranding van aardgas. Dit zou een ongewenst effect zijn
493 vanuit het oogpunt van nationale emissies. Hiermee is geen rekening gehouden bij het bepa-
494 len van de rangschikking van deze technologie in termen van kosten per vermeden CO₂-
495 emissie.

496
497 Voor de referentie-installaties zijn de kostenparameters gebruikt zoals weergegeven in tabel
498 4-1.
499

500
501

Tabel 4-1 Techno-economische parameters voor CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties

Parameter	Eenheid	Variant 1A: SDE++ 2022	Variant 1B: SDE++ 2022	Variant 2A: SDE++ 2022	Variant 2B: SDE++ 2022
Aantal draaiuren	[uren/jaar]	4000	8000	4000	8000
Piekcapaciteit CO ₂ -aansluiting	[t CO ₂ afvang/uur]	125	125	125	125
Afgevangen CO ₂ voor opslag	[Mt CO ₂ afvang/jaar]	0,5	1,0	0,5	1,0
Vermeden CO ₂	[Mt CO ₂ vermeden/jaar]	0,49	0,98	0,48	0,97
Investeringskosten: compressie	[miljoen €]	29	29	-	-
Investeringskosten: vervloeiing	[miljoen €]	-	-	6,8	150
Investeringskosten: aansluiting transportnetwerk	[miljoen €]	4,5	4,5	-	-
Vaste O&M-kosten	[miljoen €/jaar]	1,0	1,0	0,3	4,5
Energieverbruik elektriciteit	[kWhe/t CO ₂ afvang]	125	125	162	162
Energieverbruik warmte	[kWh _{th} /t CO ₂ afvang]	0	0	0	0
Variabele O&M-kosten en energiekosten	[€/t CO ₂ afvang]	5,6	5,6	7,3	7,3
Verwerkingstoeslag	[€/t CO ₂ afvang]	76,7	47,1	57,4	57,4
Basisbedrag	[€/t CO ₂ afvang]	98	62	72	92

502
503

Toelichting op berekening verwerkingstoeslag

Variant 1A

De verwerkingstoeslag 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 0,5 Mt CO₂;
- Uitgaande van de piekcapaciteit van 125 t CO₂ / uur kan er in een jaar maximaal $125 * 8760 = 1,095$ Mt CO₂ geleverd worden. De zogenaamde "load factor" is dan $1,095 \text{ Mt CO}_2 / 0,5 \text{ Mt CO}_2 = 2,19$;
- Het opslagtariaf is 17,4 €/t CO₂ getransporteerd. Deze is onafhankelijk van de piekcapaciteit.
- Transporttarief is 29,7 €/t CO₂ getransporteerd op basis van 8000 uur levering. Correctie voor de load factor gebeurt op basis van het basistarief van 8760 uur: 27,1 €/t CO₂. Het transporttarief voor deze case wordt dan $27,1 * 2,19 = 59,3$ €/t CO₂

De verwerkingstoeslag voor variant 1A is dan: $17,4 + 59,3 = 76,7$ €/t CO₂ getransporteerd.

Variant 1B

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

- Het opslagtariaf is 17,4 €/t CO₂ getransporteerd
- Transporttarief is 29,7 €/t CO₂ getransporteerd

De verwerkingstoeslag voor variant 1B is dan: $17,4 + 29,7 = 47,1$ €/t CO₂ getransporteerd.

Varianten 2A en 2B

De verwerkingstoeslag wordt vastgesteld op basis van vloeibaar CO₂-transport per binnenvaartschip naar het CO₂-opslagnetwerk. Voor deze cases wordt ervan uitgegaan dat het transporttarief niet afhankelijk is van jaarlijkse volume en piekcapaciteit. De basistarieven voor vloeibaar transport worden gebruikt:

- Het transporttarief is 25 €/t CO₂ getransporteerd
- Het verwerkingstarief is 15 €/t CO₂ getransporteerd
- Het opslagtariaf is 17,4 €/t CO₂ getransporteerd

De verwerkingstoeslag voor varianten 2A en 2B is dan: $25 + 15 + 17,4 = 57,4$ €/t CO₂ getransporteerd

504 4.3.5 Combinaties met CCU-varianten in de SDE++

505 De varianten waar een gedeelte van de afgevangen CO₂ ingezet wordt voor nuttig gebruik
506 (Varianten 1A en 2A) zijn ook te combineren met nieuwe CO₂-afvanginstallaties uit het
507 SDE++ advies voor CO₂-afvang en -gebruik in de glastuinbouw. Variant 1A kan gekoppeld
508 worden met alle CCU-varianten. Variant 2A kan alleen gecombineerd worden met CCU-
509 varianten waar de kosten voor een vervloeiingsinstallatie meegenomen wordt in het bepalen
510 van het basisbedrag, omdat deze niet meegenomen worden in het bepalen van het basisbe-
511 drag voor CCS-variant 2A. Een overzicht van de mogelijke combinaties is gegeven in Tabel
512 4-2.

513

514 Tabel 4-2 Combinatiemogelijkheden CCS en CCU varianten in de SDE++

Combinatiemogelijkheden	CCS-variant 1A	CCS-variant 2A
CCU-variant 1A	Ja	Nee
CCU-variant 1B	Ja	Nee
CCU-variant 1C	Ja	Ja
CCU-variant 3A	Ja	Nee
CCU-variant 3B	Ja	Nee
CCU-variant 3C	Ja	Ja
CCU-variant 4A	Ja	Nee
CCU-variant 4B	Ja	Nee
CCU-variant 4C	Ja	Ja
CCU-variant 5A	Ja	Nee
CCU-variant 5B	Ja	Ja

515 4.4 Nieuwe CO₂-afvang bij bestaande installaties

516 4.4.1 Pre-combustion CO₂-afvang bij bestaande industriële installatie

517

518 Deze subcategorie is opengesteld voor alle bestaande installaties waarvoor pre-combustion
519 CCS wordt overwogen. Bij pre-combustion CO₂-afvang wordt de CO₂ verwijderd in het pro-
520 ductieproces. Doorgaans zijn dit stromen met middelhoge CO₂-concentraties (ca. 50-90%).
521 Als referentie is gekozen voor het toepassen van CO₂-afvang bij bestaande waterstofproduc-
522 tie door middel van *steam methane reforming* (SMR). Dit is in Nederland de meest toege-
523 paste productiemethode voor waterstof. Na CO₂-afvang met behulp van pre-combustion

524 technieken, wordt de CO₂ gecomprimeerd of vervloeid en getransporteerd. Waterstof wordt
 525 in Nederland op verschillende locaties geproduceerd en in verschillende configuraties: stand-
 526 alone en geïntegreerd. Op basis van de beschikbare literatuurbedata kan worden aangenomen
 527 dat er slechts een verschil is in CO₂-afvangkosten, maar dit kon niet met de beschikbare in-
 528 dustriedata worden onderbouwd. Daarom is er (nog) geen aanleiding is om verschillende ba-
 529 sisbedragen te berekenen.

530
 531 Investeringskosten voor de referentie-installatie bestaan uit een pre-combustion CO₂-
 532 afvanginstallatie, reinigingsinstallatie, compressie en een aansluiting naar een gasvormig
 533 CO₂-transportnetwerk (variant 3) of een installatie voor vervloeiing bij transport in vloeibare
 534 vorm (variant 4). Voor de referentie-installatie zijn de kostenparameters van tabel 4-3 ge-
 535 bruikt.

536
 537
 538

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

Parameter	Eenheid	Variant 3 conceptadvies SDE++ 2022	Variant 4 conceptadvies SDE++ 2022
Aantal draaiuren	[uren/jaar]	8000	8000
Capaciteit waterstofproductie	[kt H ₂ /jaar]	80	80
Afgevangen CO ₂ voor opslag	[Mt CO ₂ afvang/jaar]	0,36	0,36
Vermeden CO ₂	[Mt CO ₂ vermeden/jaar]	0,32	0,32
Investeringskosten: afvang, zuivering en compressie	[miljoen €]	68	50
Investeringskosten: vervloeiing	[miljoen €]	-	54
Investeringskosten: aansluiting transportnetwerk	[miljoen €]	1,6	-
Vaste O&M-kosten	[miljoen €/jaar]	2,1	3,1
Energieverbruik elektriciteit	[kWh _e /t CO ₂ afvang]	175	212
Energieverbruik warmte	[kWh _{th} /t CO ₂ afvang]	313	313
Variabele O&M-kosten en energiekosten	[€/t CO ₂ afvang]	17,1	18,7
Verwerkingstoelage	[€/t CO ₂ afvang]	47,1	57,4
Basisbedrag	[€/t CO ₂ afvang]	98	125

539 4.4.2 Post-combustion CO₂-afvang bij bestaande industriële installatie

540 Deze subcategorie is opengesteld voor alle bestaande installaties waarvoor post-combustion
 541 CCS wordt overwogen. Post-combustion-technieken verwijderen CO₂ uit rook- of restgassen.
 542 Als referentie is gekozen voor post-combustion CO₂-afvang uit de rookgassen van bestaande
 543 waterstofproductie door middel van *steam methane reforming* (SMR). Rookgassen van een
 544 SMR zijn relatief schoon en hebben een relatief hoge CO₂-concentratie (ca. 20%) voor post-
 545 combustion toepassingen, waardoor het een kostenefficiënte toepassing van post-combus-
 546 tion is. Met post-combustion afvang bij een SMR kan er een groter aandeel van de CO₂-
 547 uitstoot afgevangen worden dan met pre-combustion. Ook voor post-combustion CO₂-afvang
 548 is er (nog) geen aanleiding om verschillende basisbedragen te berekenen op basis van stand-
 549 alone en geïntegreerde configuraties.

550
 551 Investeringskosten voor de referentie-installatie bestaan uit een CO₂-afvanginstallatie, reinigings-
 552 installatie en compressie en een aansluiting naar een gasvormig CO₂-transportnetwerk (vari-
 553 ant 5) of een vervloeiing installatie bij transport in vloeibare vorm (variant 6). Voor de
 554 referentie-installatie zijn de kostenparameters van Tabel 4-4 gebruikt.

555 **Tabel 4-4 Techno-economische parameters nieuwe post-combustion CO₂-afvang bij**
 556 **bestaande industriële installaties**

Parameter	Eenheid	Variant 5 conceptadvies SDE++ 2022	Variant 6 conceptadvies SDE++ 2022
Aantal draaiuren	[uren/jaar]	8000	8000
Capaciteit waterstofproductie	[kt H ₂ /jaar]	80	80
Afgevangen CO ₂ voor opslag	[Mt CO ₂ afvang/jaar]	0,65	0,65
Vermeden CO ₂	[Mt CO ₂ vermeden/jaar]	0,53	0,52
Investeringskosten: afvang, zuivering en compressie	[miljoen €]	230	202
Investeringskosten: vervloeiing		-	96
Investeringskosten: aansluiting transportnetwerk	[miljoen €]	2,9	-
Vaste O&M-kosten	[miljoen €/jaar]	7,0	8,0
Energievraag elektriciteit	[kWh _e /t CO ₂ afvang]	175	212
Energievraag warmte	[kWh _{th} /t CO ₂ afvang]	670	670
Variabele O&M-kosten en energiekosten	[€/t CO ₂ afvang]	24,4	26,1
Verwerkingstoeslag	[€/t CO ₂ afvang]	47,1	57,4
Basisbedrag	[€/t CO ₂ afvang]	130	157

557 4.5 Nieuwe CO₂-afvang bij nieuwe industriële installaties

558 Deze subcategorie is opengesteld voor nieuwe industriële installaties waarvoor CCS wordt
 559 overwogen.

560 4.5.1 Pre-combustion CO₂-afvang bij nieuwe industriële installatie

561 Deze subcategorie is opengesteld voor alle nieuwe industriële installaties waarvoor pre-com-
 562 bustion-CCS wordt overwogen. Als referentie-installatie is gekozen voor een nieuwe ATR-
 563 waterstoffabriek met een productiecapaciteit van 80 kt per jaar. Met behulp van pre-combus-
 564 tion-technieken wordt CO₂ uit het syngas verwijderd, gecomprimeerd of vervloeid en ge-
 565 transporteerd.

566
 567 Investeringskosten voor de referentie-installatie bestaan uit een CO₂-afvanginstallatie, reinigings-
 568 installatie, compressie en een aansluiting naar een gasvormig CO₂-transportnetwerk (variant
 569 7) of een vervloeiing installatie bij transport in vloeibare vorm (variant 8). Voor de referen-
 570 tie-installatie zijn de kostenparameters van tabel 4-5 gebruikt.

571

572 **Tabel 4-5 Referentie-installatie voor nieuwe pre-combustion CO₂-afvang bij nieuwe**
 573 **industriële installaties (op basis van CO₂-afvang bij een ATR-waterstoffabriek)**

Parameter	Eenheid	Variant 7 Conceptadvies SDE++ 2022	Variant 8 Conceptadvies SDE++ 2022
Aantal draaiuren	[uren/jaar]	8000	8000
Capaciteit waterstofproductie	[kt H ₂ /jaar]	80	80
Afgevangen CO ₂ voor opslag	[Mt CO ₂ af- vang/jaar]	0,65	0,65
Vermeden CO ₂	[Mt CO ₂ verme- den/jaar]	0,59	0,59
Investeringskosten: afvang, zuivering en compressie	[miljoen €]	60	50
Investeringskosten: Vervloeiing	[miljoen €]	-	97
Investeringskosten: aansluiting transport- netwerk	[miljoen €]	2,9	-
Vaste O&M-kosten	[miljoen €/jaar]	1,3	2,9
Energieverbruik elektriciteit	[kWh _e /t CO ₂ afvang]	175	212
Energieverbruik warmte	[kWh _{th} /t CO ₂ af- vang]	286	286
Variabele O&M-kosten en energiekosten	[€/t CO ₂ afvang]	14,0	15,7
Verwerkingstoeslag	[€/t CO ₂ afvang]	47,1	57,4
Basisbedrag	[€/t CO ₂ afvang]	79	110

574 **4.5.2 Post-combustion CO₂-afvang bij nieuwe industriële installatie**

575 Deze subcategorie is opengesteld voor alle nieuwe industriële installaties waarvoor post-
 576 combustion CCS wordt overwogen. Als referentie-installatie is gekozen voor een nieuwe
 577 SMR-waterstoffabriek met een productiecapaciteit van 80 kt waterstof per jaar. Met behulp
 578 van post-combustion-technieken wordt CO₂ uit het rookgas verwijderd, gecomprimeerd of
 579 vervloeid en getransporteerd.

580
 581 Investeringskosten voor de referentie-installatie bestaan uit een CO₂-afvanginstallatie, reinigings-
 582 installatie, compressie en een aansluiting naar een gasvormig CO₂-transportnetwerk (variant
 583 9) of een vervloeiing installatie bij transport in vloeibare vorm (variant 10). Voor de referen-
 584 tie-installatie zijn de kostenparameters van Tabel 4-6 gebruikt.

585

586 **Tabel 4-6 Techno-economische parameters nieuwe post-combustion CO₂-afvang bij**
 587 **nieuwe industriële installaties**

Parameter	Eenheid	Variant 9 conceptad- vies SDE++ 2022	Variant 10 conceptad- vies SDE++ 2022
Aantal draaiuren	[uren/jaar]	8000	8000
Capaciteit waterstofproductie	[kt H ₂ /jaar]	80	80
Afgevangen CO ₂ voor opslag	[Mt CO ₂ afvang/jaar]	0,65	0,65
Vermeden CO ₂	[Mt CO ₂ vermeden/jaar]	0,54	0,53
Investeringskosten: afvang, zuivering en compressie	[miljoen €]	180	152
Investeringskosten: vervloeiing	[miljoen €]	-	86
Investeringskosten: aansluiting transport-netwerk	[miljoen €]	2,9	-
Vaste O&M-kosten	[miljoen €/jaar]	3,7	4,8
Energieverbruik elektriciteit	[kWh _e /t CO ₂ afvang]	175	212
Energieverbruik warmte	[kWh _{th} /t CO ₂ afvang]	600	600
Variabele O&M-kosten en energiekosten	[€/t CO ₂ afvang]	23,0	24,6
Verwerkingstoeslag	[€/t CO ₂ afvang]	47,1	57,4
Basisbedrag	[€/t CO ₂ afvang]	114	139

588

5 Overzicht basisbedragen

589

590

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

594

595

596

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

Subcategorie	Uren	Basisbedrag SDE++ 2022 [€/t CO ₂ afgevangen]
Gedeeltelijke CO ₂ -opslag bij bestaande CO ₂ -afvanginstallaties, gasvormig transport (variant 1A)	4000	98,2454
Volledige CO ₂ -opslag bij bestaande CO ₂ -afvanginstallaties, gasvormig transport (variant 1B)	8000	61,5061
Gedeeltelijke CO ₂ -opslag bij bestaande CO ₂ -afvanginstallaties, vloeibaar transport (variant 2A)	4000	71,6077
Volledige CO ₂ -opslag bij bestaande CO ₂ -afvanginstallaties, vloeibaar transport (variant 2B)	8000	91,7963
Nieuwe pre-combustion CO ₂ -afvang bij bestaande industriële installaties, gasvormig transport (variant 3)	8000	97,7752
Nieuwe pre-combustion CO ₂ -afvang bij bestaande industriële installaties, vloeibaar transport (variant 4)	8000	124,7259
Nieuwe post-combustion CO ₂ -afvang bij bestaande industriële installaties, gasvormig transport (variant 5)	8000	130,2545
Nieuwe post-combustion CO ₂ -afvang bij bestaande industriële installaties, vloeibaar transport (variant 6)	8000	156,5234
Nieuwe pre-combustion CO ₂ -afvang bij nieuwe industriële installaties, gasvormig transport (variant 7)	8000	79,0093
Nieuwe pre-combustion CO ₂ -afvang bij nieuwe industriële installaties, vloeibaar transport (variant 8)	8000	109,6982
Nieuwe post-combustion CO ₂ -afvang bij nieuwe industriële installaties, gasvormig transport (variant 9)	8000	114,2829
Nieuwe post-combustion CO ₂ -afvang bij nieuwe industriële installaties, vloeibaar transport (variant 10)	8000	138,8041

597

6 Uitvraag

599 Tijdens het opstellen van dit conceptadvies is een aantal overwegingen gemaakt. Deze wor-
600 den hieronder toegelicht. Gevraagd wordt of marktpartijen op deze overwegingen kunnen re-
601 flecteren.

602 6.1 Verdere differentiatie binnen subcategorieën

603 Er zijn meerdere opties voor verdere differentiatie van de subcategorieën overwogen:
604 1. 'CCS-ver': CO₂-opslag per pijpleiding of per schip op grotere afstand uit de kust (in-
605 clusief het buitenland) dan nu aangenomen. Omdat het een duurdere transportvari-
606 ant betreft is verdere differentiatie van de varianten nodig om het op te nemen in
607 het advies. Om het aantal varianten in het advies overzichtelijk te houden willen we
608 gericht differentiëren. We horen graag van marktpartijen voor welke projecten 'CCS-
609 ver' overwogen wordt en bij welke subcategorie of variant deze differentiatie priori-
610 teit heeft.
611 2. CCS bij AVI's, biomassa-installaties of CO₂-afvang bij groengasproductie uit biogas.
612 Voor deze installaties zijn er subcategorieën gedefinieerd (of overwogen) voor het
613 CCU advies van de SDE++. Met CCS-variant 1A of 2A, is CCU bij deze installaties
614 aan te vullen met CCS (zie paragraaf 4.3.5). We horen graag van marktpartijen of er
615 voor dit type installaties ook plannen zijn voor CCS installaties waar alle afgevangen
616 CO₂ ondergronds opgeslagen wordt.
617
618 Ook voor andere suggesties voor verdere differentiatie (zoals bijvoorbeeld oxyfuel-combus-
619 tion) ontvangen wij van marktpartijen graag informatie over concrete projecten om de diffe-
620 rentiatie te kunnen overwegen.

621

Literatuur

- 622 ECN. (2019). *Persoonlijke communicatie met Anton Wemmers*.
- 623 EEX. (2019). *Emission Spot Primary Market Auction Report 2018*.
- 624 GeoCapacity. (2010). *EU GeoCapacity*. Opgehaald van Assessing European Capacity for
625 Geological Storage of Carbon Dioxide: <http://www.geology.cz/geocapacity>
- 626 IEA & UNIDO. (2011). *Technology Roadmap: Carbon capture and storage in industrial*
627 *applications*. Parijs: International Energy Agency (IEA).
- 628 IEAGHG. (2017). *Techno-economic evaluation of HYCO Plant Integrated to Ammonia/Urea or*
629 *Methanol production with CCS*. Cheltenham: IEA Greenhouse Gas R&D Programme.
- 630 Jakobsen, D., & Åtland, V. (2016). *Concepts for large scale hydrogen production*. Trondheim:
631 NTNU.
- 632 Klop. (2015). *Steaming ahead with MVR*.
- 633 Lensink, S. (2020). *Eindadvies basisbedragen SDE++ 2020*. Den Haag: PBL.
- 634 Navigant. (2019). *Verkenning uitbreiding SDE+ met industriële opties*.
- 635 PBL. (2018a). *Eindadvies basisbedragen SDE+ 2019*.
- 636 PBL. (2019). *Definitieve correctiebedragen 2018 voor de SDE+*.
- 637 PBL. (2020). *Klimaat en Energieverkenning 2020*. Den Haag: PBL.
- 638 Porthos. (2019, June 24). Interview Porthos. (P. Noothout, & S. Lensink, Interviewers)
- 639 RVO. (2020). *MIA\VAMIL Borchure en Milieulijst 2020*. Zwolle: Rijksdienst voor Ondernemend
640 Nederland (RVO).
- 641 Star Renewable Energy. (2019). *Personal communication with David Pearson*.
- 642