



1 **CONCEPTADVIES SDE++ 2021**  
2 **CHEMISCHE RECYCLING**  
3 **KUNSTSTOFFEN**

4  
5

6

7 **Mike Muller, Sander Lensink**

8 **5 mei 2020**

PBL

9 **Colofon**

10 **Conceptadvies SDE++ 2021 Chemische recycling kunststoffen**

11 © PBL Planbureau voor de Leefomgeving

12 Den Haag, 2020

13 PBL-publicatienummer: 4121

14

15 **Contact**

16 sde@pbl.nl

17 **Auteurs**

18 Mike Muller, Sander Lensink

19

20 **Redactie figuren**

21 Beeldredactie PBL

22 Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:  
23 Muller M. en Lensink S. (2020), Conceptadvies SDE++ 2021 Chemische recycling kunststof-  
24 fen, Den Haag: PBL.

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

31

32

# Inhoud

34	<b>1</b>	<b>Introductie</b>	<b>4</b>
35	<b>2</b>	<b>Chemische recycling kunststoffen</b>	<b>5</b>
36	<b>3</b>	<b>PET-depolymerisatie</b>	<b>7</b>
37	3.1	Conventionele PET-productie	7
38	3.2	PET-recycling	8
39		3.2.1 Manieren van PET-recycling	8
40		3.2.2 PET-depolymerisatie	9
41	3.3	Referentieproject	9
42	<b>4</b>	<b>Chemische EPS-recycling</b>	<b>13</b>
43	4.1	Conventionele EPS-productie	13
44	4.2	EPS-recycling	14
45	4.3	Referentieproject	15
46	<b>5</b>	<b>Te vervangen producten/processen</b>	<b>18</b>
47	5.1	PET-depolymerisatie	19
48	5.2	Chemische EPS-recycling	19
49	<b>6</b>	<b>Correctiebedragen</b>	<b>20</b>
50	6.1	Verkoopprijs BHET	20
51	6.2	Verkoopprijs PS	20
52	<b>7</b>	<b>Advies subsidieparameters</b>	<b>21</b>
53	7.1	Resultaten OT-model	21
54	7.2	Basisbedragen (kostprijzen) in de literatuur	21
55		7.2.1 PET-depolymerisatie	21
56		7.2.2 Chemische EPS-recycling	22
57	<b>8</b>	<b>Discussiepunten en voorlopig advies</b>	<b>23</b>
58	<b>9</b>	<b>Vragen aan de markt</b>	<b>25</b>
59		<b>Literatuur</b>	<b>26</b>
60			
61			

# 1 Introductie

62

63 Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK) heeft PBL gevraagd advies uit bren-  
64 gen over de openstelling van de SDE++ (Subsidieregeling voor Duurzame Energie) in 2021.  
65 Het PBL heeft ondersteuning gevraagd van TNO EnergieTransitie en DNV GL.

66

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

72

73 In 2020 is de bestaande SDE+-regeling verbreed naar de SDE++. Nieuw hierbij is dat naast  
74 categorieën voor de productie van hernieuwbare energie ook CO<sub>2</sub>-reducerende opties anders  
75 dan hernieuwbare energie in aanmerking komen voor subsidie. Dit zorgt ervoor dat de regel-  
76 geving en de methodiek en dus ook de uitgangspunten voor de SDE+ zodanig worden uitge-  
77 breid dat deze ook toepasbaar zijn voor een breder palet aan CO<sub>2</sub>-reducerende categorieën.

78

79 Deze notitie bevat het conceptadvies met betrekking tot het thema *Chemische Recycling*  
80 *Kunststoffen*.

81

## 82 **Marktconsultatie**

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

87

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

92

93 Nadere informatie is te vinden via de website: [www.pbl.nl/sde](http://www.pbl.nl/sde).

94

95

# 2 Chemische recycling

96

## kunststoffen

97 Primaire productieprocessen voor kunststoffen met hoge energie- en CO<sub>2</sub>-intensiteit kunnen  
98 vervangen worden door producten te hergebruiken, te recyclen of *biobased* te maken. Naast  
99 minder uitstoot bij de primaire productie kan door recycling ook uitstoot en andere milieu-  
100 schade door verbranding in het afvalstadium worden vermeden. Er zijn diverse recycling-  
101 technieken in ontwikkeling die ervoor kunnen zorgen dat we ons afval kunnen hergebruiken.  
102 De SDE++ zou, in zijn vorm met de focus op CO<sub>2</sub>-reductie, een mogelijk instrument kunnen  
103 zijn om onrendabele maar veelbelovende recyclingtechnieken en processen te stimuleren.

104

105 In 2019 heeft CE Delft vooronderzoek gedaan naar circulaire en *biobased* opties in de  
106 SDE++ (CE Delft, 2019a). In dit onderzoek zijn 36 circulaire en *biobased* opties die mogelijk  
107 in aanmerking komen voor de SDE++, in kaart gebracht. Uiteindelijk zijn tien opties doorge-  
108 rekend. Voor deze opties is op basis van literatuuronderzoek, interviews met marktpartijen  
109 en een webenquête, de kostprijs, de onrendabele top en de subsidie-intensiteit berekend.  
110 Uiteindelijk is het voor zes van de tien opties mogelijk gebleken om de CO<sub>2</sub>-reductie en de  
111 subsidie-intensiteit te bepalen. De berekende subsidie-intensiteit/kosteneffectiviteit<sup>1</sup> per op-  
112 tie is grafisch weergegeven in figuur 2-1. Dit advies gaat alleen in op de opties *PET-*  
113 *depolymerisatie* en (*chemische*) *EPS-recycling*, conform de uitvraag van EZK.

114

115 Zoals blijkt uit figuur 2-1 is er bij de opties *PET-depolymerisatie* en (*chemische*) *EPS-*  
116 *recycling* een grote spreiding in de hoogte van de subsidie-intensiteit. Dit komt voornamelijk  
117 door de beperkte informatie die beschikbaar is over de productiekosten van deze circulaire  
118 opties. Daarnaast beschrijft CE Delft dat de bepaling van de CO<sub>2</sub>-reductie in Nederland erg  
119 complex is aangezien het onduidelijk is of het huidige fossiele alternatief in Nederland wordt  
120 geproduceerd en welk deel van de eindproducten in Nederland worden verbrand in afvalver-  
121 brandingsinstallaties (AVI's). Hierdoor kunnen de kosten per gereduceerde ton CO<sub>2</sub> heel hoog  
122 worden als er zeer weinig CO<sub>2</sub> in Nederland wordt gereduceerd, of vinden er door overheids-  
123 stimulering zelfs extra emissies in Nederland plaats (aangezien de circulaire opties niet ge-  
124 heel CO<sub>2</sub>-vrij zijn en er dus nieuwe faciliteiten in Nederland bij komen die CO<sub>2</sub>-emissies  
125 veroorzaken die er eerder niet waren).

126

127 Uit het onderzoek blijkt dat het voor kunststofrecycling wel te zeggen is of de productie van  
128 het gerecyclede product en de daarmee gepaarde CO<sub>2</sub>-emissies in Nederland plaatsvindt,  
129 maar het is moeilijk te bepalen waar de zogeheten 'virgin'-kunststoffen werden geprodu-  
130 ceerd en of de emissies die vrijkomen bij het produceren hiervan in Nederland zijn uitgesto-  
131 ten. Daarnaast is het moeilijk vooraf betrouwbaar vast te stellen of de nieuwe chemische  
132 recyclingfabrieken enkel 'Nederlands' kunststof afval geleverd krijgen.

133

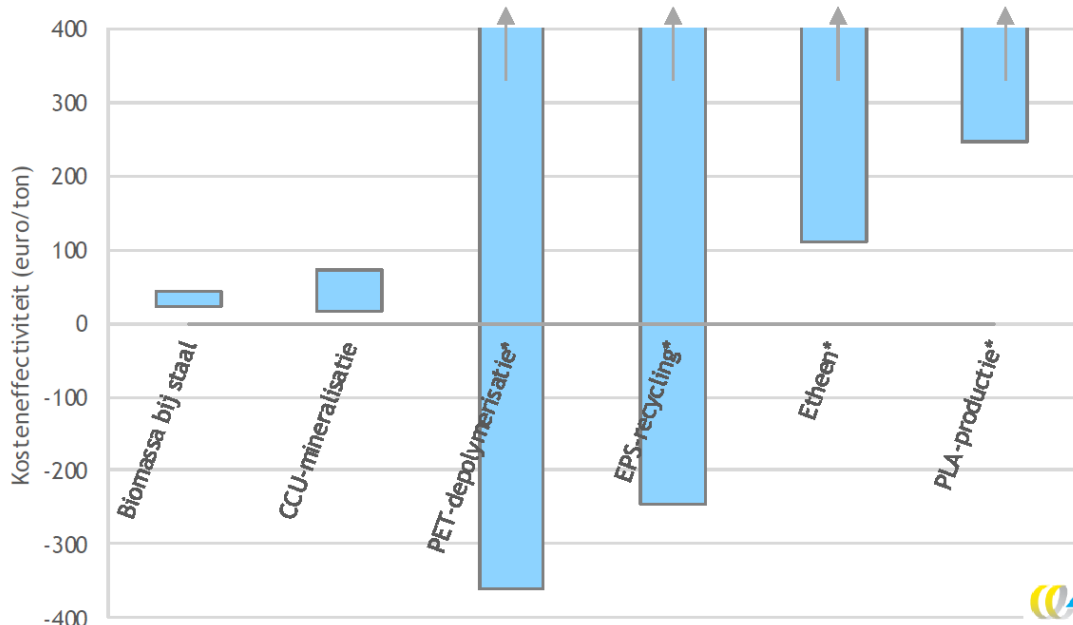
134

---

<sup>1</sup> Let op, de term *kosteneffectiviteit* kan verwarring veroorzaken. Hier wordt met kosteneffectiviteit bedoeld dat hoe lager de waarde (zij het niet negatief), hoe lager de kosten voor de overheid in subsidie per ton vermeden CO<sub>2</sub>-eq, dus hoe effectiever de subsidie.

135  
136  
137

**Figuur 2-1 Subsidie-intensiteit/kosteneffectiviteit\* van de zes door CE Delft door-gerekende opties in euro per ton CO<sub>2</sub>-equivalent (€/tonCO<sub>2</sub>-eq). Bron (CE Delft, 2019a)**



138  
139  
140  
141  
142

\* Kosteneffectiviteit is hier hetzelfde als subsidie-intensiteit. Bij zeer lage emissiereductie in Nederland wordt de subsidie-intensiteit heel hoog (hoge subsidiebehoefte per ton reductie), bij extra emissies in Nederland wordt subsidie-intensiteit negatief (overheid betaalt voor extra emissies in Nederland).

143  
144  
145  
146  
147  
148  
149  
150  
151  
152

CE Delft geeft aan dat aanvullend onderzoek nodig is om onzekerheden te verkleinen. Eén van de aanbevelingen is om onderzoek te doen naar de *merit orders*<sup>2</sup> van de productie van verschillende productiefaciliteiten. Op deze manier kan worden afgeleid hoe de markt reageert op extra Nederlandse kunststofproductie uit recycling. Op deze manier zou kunnen worden bepaald welke producten in Nederland gekocht worden en dus hoe je de CO<sub>2</sub>-reductie kunt alloceren. Desalniettemin wordt geconcludeerd dat, door de heterogeniteit van de recyclingtechnieken en de uitdaging om de CO<sub>2</sub>-emissiereductie op Nederlands grondgebied vast te stellen, het generieke karakter van de SDE++-subsidie niet de juiste subsidieregeling lijkt en dat er moet worden gekeken naar een andersoortige subsidieregeling.

153  
154  
155  
156  
157  
158  
159  
160  
161  
162  
163

Conform de uitvraag van EZK, is het wenselijk om de twee technieken *PET-depolymerisatie* en *Chemische EPS-recycling* in wat meer detail te onderzoeken om te beoordelen of ze wellicht in aanmerking kunnen komen voor SDE++-subsidie. In de opvolgende hoofdstukken worden deze twee chemische recycling categorieën daarom verder toegelicht en wordt er getracht een nauwkeurigere inschatting te geven van mogelijke basisbedragen, de onrendabele top en de milieuwinst. Deze worden berekend door per categorie een referentieproject op te stellen waarbij aannames worden gedaan over kosten, inputs en outputs van een typisch project. Dit conceptadvies zal afsluiten met een voorlopig advies over het wel of niet opnemen van deze nieuwe technieken in de SDE++ en de daarbij horende onzekerheden en discussiepunten.

<sup>2</sup> Een *merit order* is een manier waarop prijzen van producten wordt gerangschikt en dat diegene met de laagste marginale kosten, als eerst aan de vraag voldoet.

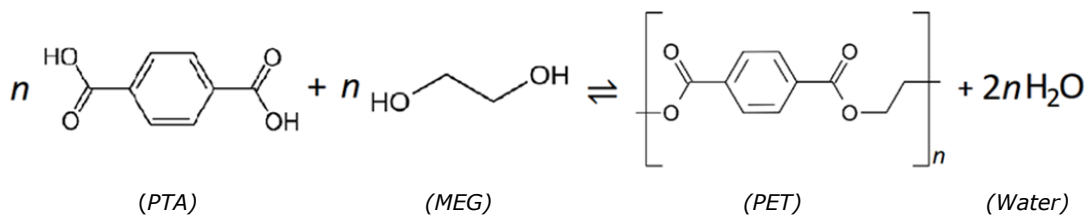
# 3 PET-depolymerisatie

164

## 3.1 Conventionele PET-productie

165

166 De kunststof PET is een thermoplast dat voor allerlei toepassingen gebruikt wordt, zoals voor  
167 drankflesjes, 3D-printen, kleding en verpakkingen. PET is over het algemeen goed te recy-  
168 clen, aangezien het een thermoplast is die bij verhitting zacht wordt en kan worden omge-  
169 smolten tot nieuw plastic (CPME, 2017). PET staat voor *polyethyleentereftalaat* ( $C_{10}H_8O_4$ ) en  
170 wordt doorgaans gemaakt via polymerisatie na de *verestering* (de reactie van een zuur en  
171 een alcohol) van tereftaalzuur (ook wel PTA genoemd) en monoëthyleenglycol (MEG). Dit  
172 veresteringsproces gebeurt onder standaard druk en op hoge temperatuur (circa 280 °C). PTA  
173 wordt in essentie gemaakt van ruwe aardolie en wordt verkregen door de oxidatie van para-  
174 xylene (CPME, 2016). MEG wordt gemaakt door raffinage van ruwe aardolie tot nafta dat  
175 vervolgens weer wordt gekraakt tot ethyleen. Het gevormde ethyleen wordt vervolgens on-  
176 der hoge temperatuur en druk geoxideerd tot monoëthyleenglycol. De reactie om van PTA en  
177 MEG PET te krijgen is als volgt (Levi & Cullen, 2018):  
178



179

180

181

182 In de praktijk is er nog een tussenstap van PTA en MEG naar BHET. BHET staat voor bis-2-  
183 hydroxyethyl-tereftalaat ( $C_{12}H_{14}O_6$ ). Vloeibaar BHET wordt in een polymerisatieproces, onder  
184 hoge temperatuur (circa 250-300 °C) en in vacuüm, vormloos niet-gekrystalliseerd (*amor-*  
185 *phous* in het Engels) A-PET, ofwel PET-vezels. Op deze manier kunnen lange ketens van mo-  
186 nomeren worden gemaakt, ofwel polymeren. De lengte van het verkregen polymeer, bepaalt  
187 de intrinsieke viscositeit (IV) van PET. Hoe langer de keten, hoe hoger de IV dus hoe minder  
188 flexibel het PET-materiaal wordt. Daarom kunnen er uiteindelijk drie soorten PET-producten  
189 worden onderscheiden: PET-vezels, PET-films en PET-fleskwaliteit, waarbij de laatste de  
190 hoogste IV heeft. PET-fleskwaliteit wordt uiteindelijk gemaakt via een proces dat *solid state*  
191 polymerisatie heet.

192

193 Niet-gerecycled PET noemt men 'virgin'-PET oftewel primair PET. Bij de productie van 'vir-  
194 gin'-PET komt  $CO_2$  vrij door met name de verbranding van aardgas, aangezien er verschil-  
195 lende processen zijn waarbij reacties plaatsvinden op hoge druk en temperatuur. Ook wordt  
196 er elektriciteit gebruikt bij verschillende processen, bijvoorbeeld bij het mixen (nog voor de  
197 verestering) van PTA en MEG of bij verschillende koelingsprocessen. De gemiddelde  $CO_2$ -  
198 uitstoot bij de productie van 1 kg PET door een productiefaciliteit in Europa is circa 2,19 kg  
199  $CO_2$ -equivalent ( $CO_2$ -eq) (CPME, 2017). In Nederland wordt de meeste PET geproduceerd  
200 door Indorama dat op zijn productiesite in het Rotterdam-Europoort gebied circa 400 miljoen  
201 kiloton PET per jaar produceert dat verkocht wordt over de hele wereld (Port of Rotterdam,  
202 2016).

203

## 204 3.2 PET-recycling

### 205 3.2.1 Manieren van PET-recycling

206 PET hoeft niet continu nieuw te worden geproduceerd aangezien PET-afval kan worden gere-  
207 cycled. Dit heeft als bijkomend voordeel dat het verwerken van PET-afval via verbranding,  
208 wat zorgt voor extra CO<sub>2</sub>-emissie, kan worden vermeden. Jaarlijks belandt er in Nederland  
209 zo'n 35 kiloton PET-afval in het restafval dat wordt verbrand (CE Delft, 2019c). Ter indicatie,  
210 de klimaatimpact van de verbranding van afgedankt PET in AVI's (rekening houdend met de  
211 vermeden CO<sub>2</sub> doordat een AVI ook warmte en elektriciteit produceert) is circa 1,5 ton CO<sub>2</sub>-  
212 eq per ton PET-afval (CE Delft, 2018).

213  
214 Het recyclen van PET kan op verschillende manieren. Historisch gezien wordt het meeste  
215 PET-afval mechanisch (dus zonder chemische reacties) gerecycled tot nieuw PET (vanaf hier  
216 ook wel r-PET genoemd). Dit heeft echter de volgende nadelen: de sortering is vrij grof en  
217 plastics zijn moeilijk te verwerken voor het maken van zuiver plastic. Zo kunnen bijvoorbeeld  
218 PET-trays (bakjes voor vis, vlees en fruit bijv.), die vaak uit meerder soorten plastics be-  
219 staan, niet worden gerecycled en belanden veel producten waar PET inzit uiteindelijk toch in  
220 een AVI. Daarnaast kan r-PET uit conventionele mechanische recycling niet gebruikt worden  
221 voor nieuwe voedselverpakkingen vanwege voedselveiligheidsvoorschriften (CE Delft,  
222 2019c). Kortom, mechanische recycling heeft beperkingen die chemische recycling kan op-  
223 vangen. Door PET chemisch te recyclen is het wel voldoende schoon en veilig voor verpak-  
224 kingsmaterialen en kunnen samengestelde verpakkingen en bijvoorbeeld PET-trays worden  
225 gerecycled. Op deze manier kan er potentieel milieuwinst worden geboekt, aangezien er min-  
226 der virgin-PET hoeft te worden geproduceerd en er minder gebruikt PET hoeft te worden ver-  
227 brand.

228  
229 De op dit moment meest gebruikte manieren om PET chemisch te ontleden zijn:

- 230 - **Solvolyse:** Het verwerken van PET met een oplosmiddel, zodat de polymeren uit el-  
231 kaar gehaald kunnen worden en weer kunnen worden samengesteld tot nieuw PET  
232 (CE Delft, 2019c).
- 233 - **Vergassing:** het afbreken van PET onder hoge temperatuur (tussen de 1300 en  
234 1500 °C) tot een gasvormige mengsel van koolstofmonoxide en waterstof, ofwel *syn-*  
235 *gas*. Met dit syngas kan bijvoorbeeld methanol (CH<sub>3</sub>OH) worden gemaakt.
- 236 - **Pyrolyse:** het afbreken van PET onder hoge temperatuur (tussen de 500 en 800 °C)  
237 zonder de toevoeging van zuurstof. Hierdoor ontstaat *nafta*, die weer gekraakt kan  
238 worden zodat er nieuwe monomeren ontstaan die weer kunnen reageren tot PET.
- 239 - **Depolymerisatie:** hierbij worden PET-polymeren via een glycolyseproces in een  
240 (magnetische) oplossing gebracht van water en glycol (op circa 200 °C) zodat deze  
241 afbreken tot BHET. BHET kan vervolgens weer door bestaande producenten worden  
242 ingezet als grondstof voor het maken van nieuwe zuivere PET-producten (via poly-  
243 merisatie) die dezelfde kwaliteit hebben als virgin-PET (Thoden van Velzen, Brouwer,  
244 & Picuno, 2018) (CE Delft, 2019c).

245  
246 Door bovengenoemde technieken te gebruiken in plaats van de productie via ruwe aardolie  
247 en het verbranden van PET-afval in een AVI komt er minder CO<sub>2</sub> vrij (KIDV, 2018). Aange-  
248 zien van alle bovengenoemde chemische recycling technieken bij *depolymerisatie* op dit mo-  
249 ment de meeste CO<sub>2</sub>-reductie lijkt te worden behaald en deze techniek een hoog TRL-niveau<sup>3</sup>  
250 heeft (niveau 8-9) en daarom potentie heeft tot verdere opschaling, is dit conceptadvies ge-  
251 richt op mogelijke SDE++-subsidie voor PET-recycling via depolymerisatie (CE Delft, 2019a).  
252

---

<sup>3</sup> Technology Readiness Level, indicator voor de marktrijpheid van een technologie.

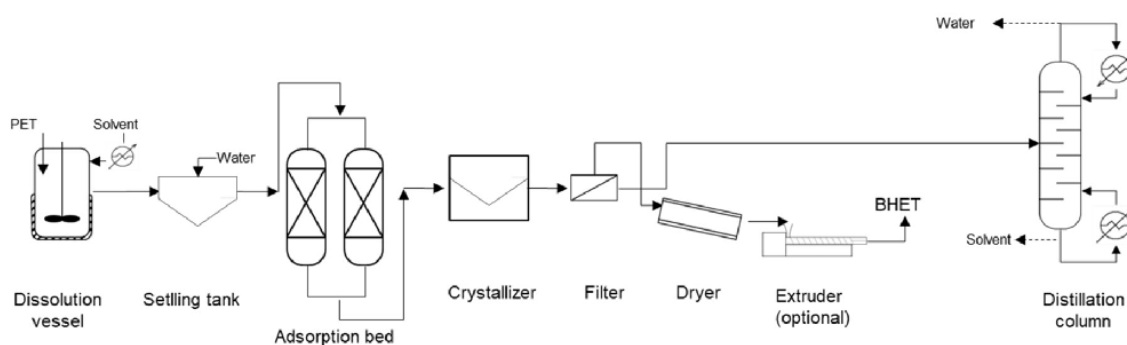


### 253 3.2.2 PET-depolymerisatie

254 In figuur 3-1 is het depolymerisatieproces schematisch weergegeven. Voorbehandeld PET-  
255 afval (korrels) wordt bij een temperatuur van circa 200 °C opgelost in het oplosmiddel ethy-  
256 leenglycol (Pingale, Palekar, & Shukla, 2009). Hierna wordt er een katalysator toegevoegd.  
257 De oplossing gaat vervolgens in een bezinktank waar water wordt toegevoegd. Uiteindelijk  
258 wordt de katalysator er weer uit gehaald, waarmee ook de kleur en de onzuiverheden eruit  
259 gehaald worden. Op dat moment is er al volledig schoon en vloeibaar BHET in de achterge-  
260 bleven oplossing. Deze oplossing wordt gefilterd en het BHET wordt gekristalliseerd en ge-  
261 droogd. De BHET krijgt dan weer een vaste vorm en wordt via een extruder geperst tot BHET  
262 poeder. Het afgescheiden ethyleenglycol (en water) blijft vloeibaar en wordt in een destilla-  
263 tiekolom weer gescheiden van het water om opnieuw te gebruiken. De katalysator wordt te-  
264 vens ook continu hergebruikt.

265

266 **Figuur 3-1 Flow diagram proces PET-depolymerisatie op hoofdlijnen. Bron (TNO,**  
267 **2018)**



268

269

270 Uit onderzoek van CE Delft en TNO blijkt dat met name PET-trays geschikt zijn voor recycling  
271 via depolymerisatie (CE Delft, 2019c) (TNO, 2018). Jaarlijks is er circa 32 kiloton Nederlands  
272 PET-trays-afval dat chemisch gerecycled kan worden. Over de afval- en productiestromen  
273 van PET trays over de landsgrens is vrij weinig bekend.

274

275 Belangrijk om te vermelden is dat chemische recycling een *aanvulling* is op mechanische re-  
276 cycling en het proces dus niet vervangt. Mechanische recycling van PET zorgt, in vergelijking  
277 met het produceren van virgin-PET en het verbranden van PET-afval in een AVI, voor een  
278 aanzienlijke emissiereductie en is daarom dus zeer waardevol voor de klimaatdoelstellingen  
279 (CE Delft, 2019c). Chemische recycling is dus vooral aantrekkelijk voor stromen die nu niet  
280 mechanisch gerecycled kunnen worden.

281

282 Op dit moment bestaan er nog geen volwaardige fabrieken in de wereld die op grote schaal  
283 en commercieel niet-mechanisch te recyclen PET-afval kunnen verwerken via chemische de-  
284 polymerisatie. In Nederland zijn er enkele bedrijven of startups bezig met de ontwikkeling  
285 van PET-depolymerisatie.

## 286 3.3 Referentieproject

287 Het referentieproject, dat wordt gebruikt om de berekeningen te doen voor het basisbedrag,  
288 betreft een project waar PET-afval (input) wordt omgezet naar BHET (output). De input zal  
289 voornamelijk bestaan uit PET-trays-afval aangezien deze nu nog helemaal niet gerecycled  
290 worden, maar ook *rejects* van mechanische recycling, non-foodverpakkingen (zoals sham-  
291 pooflessen) en gekleurde PET-flessen. Tevens is het aangeleverde PET-afval al voorbehan-  
292 deld, gesorteerd, schoongemaakt en geshredderd. Hierdoor kan het PET-afval niet gratis

293 worden verkregen. De aanname is dat de depolymerisatiefabriek het PET-afval voor 0,15  
294 €/kg kan inkopen. Daarnaast wordt aangenomen dat 100% van het PET-afval kan worden  
295 verwerkt tot BHET (rendement is 100%). De hiervoor genoemde aannames zijn gemaakt op  
296 basis van informatie uit de literatuur en op basis van interviews met marktpartijen.

297

298 Voor het referentieproject wordt er uitgegaan van een fabriek, op een bestaand industrieter-  
299 rein, waarbij de elektriciteits- en gasinfrastructuur al grotendeels gereed is om op aan te  
300 sluiten en waarbij elektriciteit en warmte wordt ingekocht van en geleverd door een utiliteits-  
301 bedrijf. Het referentieproject betreft een fabriek waarin installaties worden neergezet om  
302 PET-depolymerisatie te kunnen toepassen. Dit betekent dat deze fabriek met de installaties  
303 van aangeleverd PET-afval BHET kan produceren. De installaties die in het referentieproject  
304 worden opgenomen zijn onder andere (TNO, 2018):

- 305 - Buffervaten
- 306 - Oplostank
- 307 - Bezinktank
- 308 - Adsorptietank
- 309 - Kristallisator
- 310 - Filter
- 311 - Droger
- 312 - Destillatiekolom
- 313 - Extruder

314

315 De aanname is daarnaast dat er geringe tot verwaarloosbare investeringskosten zijn voor het  
316 oplosmiddel ethyleenglycol en de katalysator. Ook zijn er nauwelijks operationele kosten  
317 hiervoor aangezien wordt aangenomen dat deze stoffen continu worden gecirculeerd. Er  
318 hoeft daarom (bijna) geen nieuw oplosmiddel en nieuw katalysator-product toegevoegd en  
319 dus bijgekocht te worden.

320

321 In tabel 3-1 is weergegeven welke kostenposten wel of niet meegenomen worden bij de be-  
322 paling van de investeringskosten en de operationele kosten en de uiteindelijke subsidiebe-  
323 dragen. Sommige onderdelen worden niet meegenomen omdat deze buiten de scope van de  
324 categorie vallen, terwijl andere onderdelen niet worden meegenomen omdat deze buiten de  
325 scope van de SDE+-regeling vallen (zoals kosten voor vergunningen en contracten).

326

327 Voor de bedrijfstijd wordt uitgegaan van 8000 vollasturen per jaar. Er wordt namelijk van  
328 uitgegaan dat de productie in totaal ongeveer een maand per jaar stil ligt voor jaarlijks on-  
329 derhoud.

330

331 **Tabel 3-1 Wel en niet meegenomen kosten conceptadvies categorie PET-**  
 332 **depolymerisatie**

Kostenpost	Groep	Details
Wel meegenomen	Investeringskosten	Kosten voor bouwen gebouw(en) fabriek
		Aanschaf en inpassingskosten verschillende benodigde installaties in de fabriek
		Aanschaf en inpassingskosten meet- en regelapparatuur en elektrische installaties
		Kosten aanschaf oplosmiddelen en katalysatoren
		Onvoorzien
	Vaste operationele kosten	Kosten operationele arbeid (ploegendienst & vaste krachten)
		Kosten managers en supervisors
		Vaste kosten voor warmte en elektriciteitsverbruik (netbeheerkosten)
		Opstalvergoeding/pacht
		Eigendomsbelasting
		Huur bedrijfspanden
		Gas, water, licht bedrijfspanden
		Laboratoriumkosten
		Onderzoek & ontwikkeling (R&D)
		Monitoringssysteem
		Distributie, marketing en sales
		Administratiekosten
		Verzekeringen
	Algemene overheadskosten	
	Overig	
	Variabele operationele kosten	Inkoop feedstock
		Variabele kosten energieverbruik (groothandelsprijs elektriciteit en warmte)
		Energiebelastingen en ODE
O&M-kosten		
Afvoerkosten (voor bijvoorbeeld afval)		
Aanvulling oplosmiddel en katalysator		
Overige materiaalinput		
Kosten voor verpakken, opslag en transport		
Niet meegenomen	Investeringskosten	Installaties die het ruwe PET-afval voorbehandelen
		Kosten voorbereidingstraject, inclusief financieringskosten en kosten ten gevolge van juridische procedures
		Kosten voor geologisch onderzoek terrein fabriek
		Kosten voor vergunningen en contracten
		Abandonneringskosten
		Restwaarde
	Operationele kosten	Uitval materiaal

333  
 334 In Tabel 3-2 zijn de verschillende technisch-economische parameters weergegeven die ge-  
 335 bruikt zijn voor de berekeningen van het basisbedrag van deze categorie. De waarden van

336 deze parameters zijn gebaseerd op informatie uit verschillende literatuurbronnen en op basis  
337 van input vanuit de markt.

338

339 **Tabel 3-2 Technisch-economische parameters categorie PET-depolymerisatie**

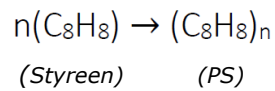
Parameter	Eenheid	Conceptadvies SDE++ 2021
Productiecapaciteit	[kg BHET output/jaar]	50.000.000
Vollasturen	[uur/jaar]	8.000
Investeringskosten fabriek	[€]	30.000.000
Investeringskosten fabriek	[€/kg BHET output per uur]	4.800
Vaste O&M-kosten	[€/kg BHET output per uur/jaar]	547
Variabele O&M-kosten	[€/kg BHET output]	0,285
Relatief elektriciteitsgebruik	[kWh/kg BHET output]	0,300
Relatief warmtegebruik (stoom)	[kWh/kg BHET output]	2,270

340

# 4 Chemische EPS-recycling

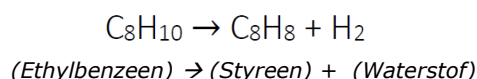
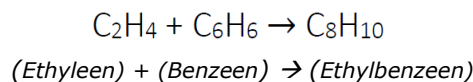
## 4.1 Conventionele EPS-productie

EPS staat voor *Expandeerbaar Polystyreen* en wordt doorgaans in de volksmond piepschuim genoemd. EPS is een thermoplast en een goede isolator dat meestal wordt gebruikt in de bouw voor dakisolatie of de isolatie van kruipruimtes in de gebouwde omgeving, maar ook voor bijvoorbeeld voedsel- en drankverpakkingen. EPS wordt meestal gemaakt door de suspensiepolymerisatie van styreen ( $C_8H_8$ ) (PlasticsEurope, 2015). Wanneer styreen, geladen met organische peroxide-initiatoren, wordt toegevoegd aan een water en wordt geroerd ontstaat er een suspensie. Vaak worden hier nog andere elementen zoals vlamvertragend broom, koolstof, stabilisatoren en expanderende hulpmiddelen aan toegevoegd. De suspensie van styreendruppeltjes polymeriseren tot polystyreen (PS,  $(C_8H_8)_n$ ) tijdens verhitting in een reactor (tussen 80 en 150 °C). Het scheikundige proces kan als volgt worden gekenmerkt:



Typisch wordt pentaan tijdens de polymerisatie aan de reactor toegevoegd die oplost in het polymeer. Hierdoor ontstaan kralen van geëxpandeerd PS. Nadat de reactor is afgekoeld, wordt het polymeer met behulp van een centrifuge van de waterfase gescheiden. De EPS-kralen worden gedroogd en gezeefd in fracties van de vereiste grootte voordat ze worden gecoat met een additief, wat de uiteindelijke schuimeigenschappen bevordert. In de praktijk bestaat het eindproduct uit witte of grijze piepschuimen balletjes.

Styreen wordt voornamelijk geproduceerd via de dehydrogenering van ethylbenzeen ( $C_8H_{10}$ ). Ethylbenzeen wordt weer geproduceerd door de reactie van ethyleen ( $C_2H_4$ ) en benzeen ( $C_6H_6$ ). Dit is een energie-intensief proces aangezien deze reactie plaatsvindt in een reactor op hoge temperatuur (circa 350-450 graden) en druk (15 -25 bar). In de reactie van ethylbenzeen naar uiteindelijk styreen wordt waterstof geproduceerd als bijproduct. De hiervoor genoemde twee reactiestappen kunnen als volgt worden beschreven:



Zoals hierboven beschreven is het maken van virgin-EPS uit styreen energie-intensief en is er in beginsel ruwe aardolie nodig voor de productie. De productie van styreen en de productie van de ethylbenzeen wordt in Nederland met name gedaan door Shell bij Shell Moerdijk, LyondellBasell op de Rotterdamse Maasvlakte en door Dow Chemical in Terneuzen. Kortom, bij de productie van virgin-EPS in Nederland wordt er  $CO_2$  op Nederlands grondgebied

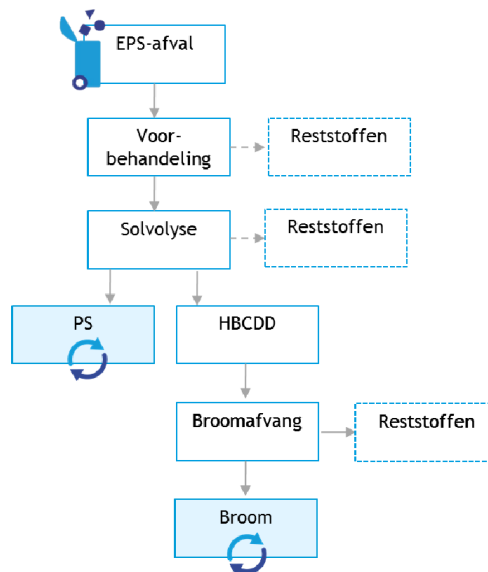
384 uitgestoten. Ter indicatie: het Europees gemiddelde van de uitstoot voor het maken van EPS  
385 (inclusief en exclusief vlamvertragers) is 2,37 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg EPS productie (PlasticsEurope,  
386 2015).

## 387 4.2 EPS-recycling

388 Jaarlijks komt er circa 13 kiloton aan EPS-verpakkingen op de markt vanuit huishoudens en  
389 het midden- en kleinbedrijf dat uiteindelijk, wanneer het vervolgens wordt afgedankt, ver-  
390 werkt moet worden (CE Delft, 2019c). Een deel van al het EPS-afval wordt tegenwoordig al  
391 gerecycled (CE Delft, 2019a). Dit gebeurt op een mechanische manier: de EPS wordt geperst  
392 en geshredderd. Dit betreft echter alleen EPS-afval afkomstig van gebruikte verpakkingen  
393 materialen voor met name drank en voedsel, aangezien deze EPS-verpakkingen niet de broom-  
394 houdende vlamvertrager hexabroomcyclododecaan (HBCDD) bevatten. HBCDD kent een  
395 verbod sinds 2015, maar komt veelal nog voor in EPS dat gebruikt is in de bouw (CE Delft,  
396 2019c). Dit betreft circa 6,5 kiloton per jaar. EPS-afval met HBCDD kan niet mechanisch ge-  
397 recycled worden en kan alleen worden ontleed in schone basisstoffen (PS en broom plus en-  
398 kele reststoffen) via *chemische recycling*. Dit gebeurt door een proces dat *solvolyse* wordt  
399 genoemd (zie ook paragraaf 3.2.1). PS dient vervolgens weer als grondstof voor het maken  
400 van EPS. Een schematisch overzicht van dit recyclingproces is weergegeven in figuur 4-1.  
401 Over de EPS stromen over de landsgrenzen is geen informatie bekend (CE Delft, 2019c). Het  
402 is onbekend of er EPS-afval uit het buitenland in Nederland zal worden verwerkt.

403

404 **Figuur 4-1 Schematische weergave van EPS-recycling. Bron (CE Delft, 2019a)**



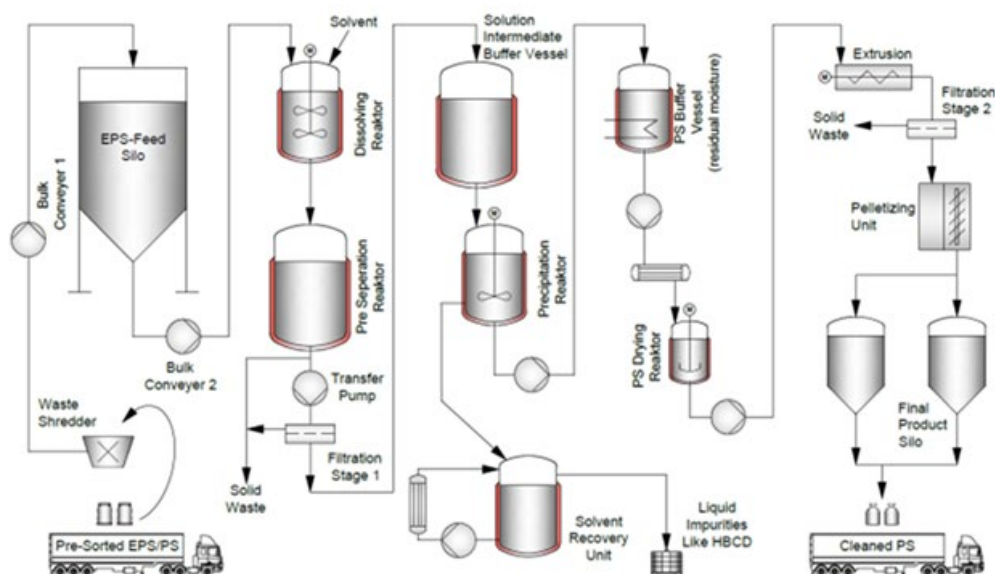
405

406

407 In figuur 4-2 hieronder is het productieproces in meer detail schematisch weergegeven.  
408 Voorbehandeld EPS-afval wordt opgelost in een speciaal oplosmiddel, het door Fraunhofer  
409 gepatenteerde oplosmiddel *CreaSolv*, dat er weer uit kan worden gedestilleerd aan het einde  
410 van het gehele proces. Hierdoor verandert het EPS dus van een vaste naar een vloeibare  
411 materie. Nadat de oplossing gefilterd wordt, wordt de oplossing in een groot vat geleid,  
412 waarin PS neerslaat. Dit heeft nu weer een vaste vorm en wordt na droging uiteindelijk ge-  
413 extrudeerd in een extruder. Het uiteindelijke outputproduct bestaat uit vaste GPPS-korrels  
414 (*General Purpose Polystyrene*, kunststof granulaat). Broom wordt verkregen uit de oplossing  
415 die resteert nadat de PS is neergeslagen. De broom output is een HBCDD-concentraat in de  
416 vorm van een *sludge*.

417

418 **Figuur 4-2 Flow diagram proces chemische EPS-recycling via solvolyse. Bron**  
 419 **PSLoop.**



420  
 421

### 422 4.3 Referentieproject

423 Het referentieproject, dat wordt gebruikt om de berekeningen te doen voor het basisbedrag,  
 424 betreft een project waar EPS-afval worden omgezet naar PS en broom. Dit zal voornamelijk  
 425 EPS-afval vanuit de bouw zijn, aangezien dit nu nog niet gerecycled kan worden vanwege  
 426 het HBCDD. De aanname is dat de fabriek al het EPS-afval voor 0 €/kg kan inkopen. Tevens  
 427 is de aanname dat virgin-PS voor de Nederlandse markt ook volledig wordt geproduceerd in  
 428 Nederland. Daarnaast wordt aangenomen dat 91% van het EPS-afval kan worden verwerkt  
 429 tot PS (rendement is 91%). Het resterende broom (ofwel HBCDD) wordt gezien als restpro-  
 430 duct en heeft een waarde van 0 €/kg. De hiervoor genoemde aannames zijn gemaakt op ba-  
 431 sis van informatie uit de literatuur en op basis van interviews met marktpartijen.

432

433 Op dit moment bestaan er nog geen volwaardige fabrieken die op grote schaal en rendabel  
 434 broomhoudend EPS-afval kunnen verwerken via solvolyse. Voor het referentieproject wordt  
 435 er uitgegaan van een fabriek, op een bestaand industrieterrein, waarbij de elektriciteits- en  
 436 gasinfrastructuur al grotendeels gereed is om op aan te sluiten. Het gaat om een fabriek die  
 437 installaties neerzet om EPS-recycling te kunnen toepassen. Dit betekent dat deze fabriek met  
 438 de installaties van aangeleverd EPS-afval uiteindelijk PS kan produceren. De installaties die  
 439 in het referentieproject worden opgenomen zijn onder andere (TNO, 2018):

440

- 440 - Buffervaten
- 441 - Oplostanks
- 442 - Filters
- 443 - Neerslagtank
- 444 - Droger
- 445 - Extruder
- 446 - Destillatiekolom

447

448 Uit bronnen van de markt is er vernomen dat er enkel elektrische energie wordt gebruikt  
 449 voor de processen. Dit is ook aangenomen voor het referentieproject.

450

451 De aanname is daarnaast dat er geringe tot verwaarloosbare investeringskosten zijn voor het  
 452 oplosmiddel en de katalysator. Ook zijn er nauwelijks operationele kosten voor het aanvullen  
 453 van deze middelen aangezien deze stoffen continu worden gecirculeerd, dus er hoeft bijna  
 454 geen nieuw oplosmiddel en nieuw katalysatorproduct toegevoegd en dus bijgekocht te wor-  
 455 den. In tabel 4-1 is weergegeven welke kostenposten wel of niet meegenomen worden bij de  
 456 bepaling van de investeringskosten en de operationele kosten en de uiteindelijke subsidiebe-  
 457 dragen. Sommige onderdelen worden niet meegenomen omdat deze buiten de scope van de  
 458 categorie vallen, terwijl andere onderdelen niet worden meegenomen omdat deze buiten de  
 459 scope van de SDE++ vallen (zoals kosten voor vergunningen en contracten). Voor de be-  
 460 drijftijd wordt uitgegaan van 8000 vollasturen per jaar. Er wordt namelijk van uitgegaan dat  
 461 de productie in totaal ongeveer een maand per jaar stil ligt voor jaarlijks onderhoud.

462  
 463  
 464

**Tabel 4-1 Wel en niet meegenomen kosten conceptadvies categorie Chemische EPS-recycling**

Kostenpost	Groep	Details
Wel meegenomen	Investeringskosten	Kosten voor bouwen gebouw(en) fabriek
		Aanschaf en inpassingskosten verschillende benodigde installaties in de fabriek
		Aanschaf en inpassingskosten meet- en regelapparatuur en elektrische installaties
		Kosten aanschaf oplosmiddelen en katalysatoren
	Vaste operationele kosten	Onvoorzien
		Kosten operationele arbeid (ploegendienst & vaste krachten)
		Kosten managers en supervisors
		Vaste kosten voor elektriciteitsverbruik (netbeheerkosten)
		Opstalvergoeding/pacht
		Eigendomsbelasting
		Huur bedrijfspanden
		Gas, water, licht bedrijfspanden
		Laboratoriumkosten
		Onderzoek & ontwikkeling (R&D)
		Monitoringssysteem
		Distributie, marketing en sales
		Administratiekosten
		Verzekeringen
		Algemene overheadskosten
	Overig	
	Variabele operationele kosten	Inkoop feedstock
		Variabele kosten energieverbruik (groothandelsprijs elektriciteit)
		Energiebelastingen en ODE
O&M-kosten		
Afvoerkosten (voor bijvoorbeeld afval)		
Aanvulling oplosmiddel en katalysator		
Overige materiaalinput		
Niet meegenomen	Investeringskosten	Kosten voor verpakken, opslag en transport
		Installaties voor de voorbehandeling van EPS-afval
		Kosten voorbereidingstraject, inclusief financieringskosten en kosten ten gevolge van juridische procedures
		Kosten voor geologisch onderzoek terrein fabriek
		Kosten voor vergunningen en contracten
		Abandonneringskosten
	Operationele kosten	Restwaarde
		Uitval materiaal



465 In Tabel 4-2 zijn de verschillende technisch-economische parameters weergegeven die ge-  
 466 bruikt zijn voor de berekeningen van het basisbedrag van deze categorie. De waarden van  
 467 deze parameters zijn gebaseerd op informatie uit verschillende literatuurbronnen en op basis  
 468 van input vanuit de markt.

469  
 470

**Tabel 4-2 Technisch-economische parameters categorie *Chemische EPS-recycling***

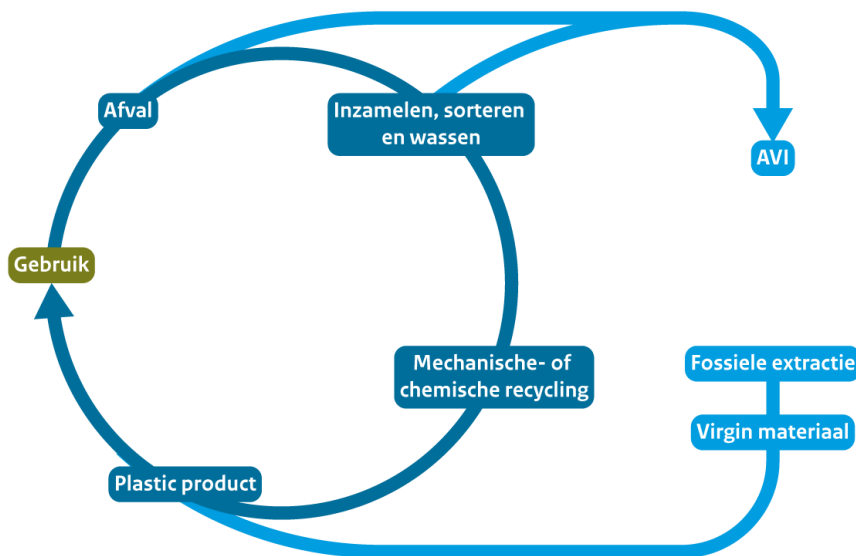
Parameter	Eenheid	Conceptadvies SDE++ 2021
Productiecapaciteit PS	[kg PS output/jaar]	10.000.000
Vollasturen	[uur/jaar]	8.000
Investeringskosten fabriek	[€]	12.000.000
Investeringskosten fabriek	[€/kg PS output per uur]	9.600
Vaste O&M-kosten	[€/kg PS output per uur/jaar]	1.979
Variabele O&M-kosten	[€/kg PS output]	1,188
Relatief elektriciteitsgebruik	[kWh/kg PS output]	3,820
Relatief warmtegebruik	[kWh/kg PS output]	n.v.t.

471

# 5 Te vervangen producten/processen

In potentie vervangt chemische recycling van PET of EPS twee andere CO<sub>2</sub>-emitterende processen: het verwerken van het PET- of EPS-afval (vervoer naar de afvalverbrandingsinstallatie (AVI) en het verbranden ervan) en de productie van de virgin-kunststoffen (zie figuur 5-1). Overigens dient niet vergeten te worden dat het chemisch recyclen van PET en EPS niet geheel CO<sub>2</sub>-vrij is. Zoals goed te zien is in deze figuur is er in de huidige situatie geen sprake van circulariteit aangezien er nog input is van buitenaf in de vorm van virgin materiaal en er nog output is dat uit het systeem wordt onttrokken in de vorm van verbranding in een AVI. Hoe minder de input van virgin materiaal is en hoe minder afvalstromen worden verwerkt in een AVI, des te meer er sprake is van circulariteit binnen deze systeemgrenzen<sup>4</sup>.

**Figuur 5-1 Schematische weergave kunststofketen. Chemische recycling vervangt verbranding in een AVI, fossiele extractie en de verwerking van fossiele producten in plastics. Figuur is gemaakt op basis van figuur in (KIDV, 2018)**



Bron: KIDV 2018; bewerking PBL

De bepaling van de hoeveelheid vermeden CO<sub>2</sub> is nodig om de subsidie-intensiteit te berekenen van de twee chemische-recyclingstechnieken. Het is daarbij noodzakelijk te weten hoeveel van de BHET en PS-productie bestemd is voor de Nederlandse markt, hoeveel afval dat normaal gesproken in een AVI wordt verbrand wordt gerecycled en hoeveel procent van de virgin-productie wordt vervangen. Deze informatie is nog niet beschikbaar gebleken en het is daarom de bedoeling dat deze beschouwing wordt gedaan in het eindadvies.

In de volgende paragrafen wordt met behulp van bestaande literatuurbronnen beschreven hoeveel CO<sub>2</sub>-eq er per kg product er mogelijk vermeden kan worden wanneer chemische

<sup>4</sup> In theorie kan verbranding van afval in een AVI leiden tot elektriciteit en warmte dat kan worden gebruikt voor de recycling-processen waardoor de cirkel eveneens gesloten kan worden. Deze benadering valt echter buiten de systeemgrenzen van dit conceptadvies.

497 recycling van PET en EPS wordt toegepast. De studies laten het totale emissiereductiepoten-  
498 tieel zien dat gerealiseerd kan worden in de keten. Deze reducties zijn echter niet beperkt tot  
499 Nederland, aangezien plastics worden verkocht op een internationale markt. De studies zijn  
500 niet duidelijk over de hoeveelheid bespaarde emissie binnen de Nederlandse grenzen. De  
501 vermeden emissies die worden genoemd moeten daarom worden gezien als mondiale verme-  
502 den emissies.

## 503 5.1 PET-depolymerisatie

504 In een LCA-rapport van CE Delft is berekend dat PET-depolymerisatie grofweg 75% minder  
505 CO<sub>2</sub> uitstoot per kg PET ten opzichte van het produceren van virgin-PET en het verbranden  
506 van het eindproduct in een AVI (CE Delft, 2018). De studie concludeert dat chemische PET-  
507 depolymerisatie met een fabriek met een productiecapaciteit van 50 kiloton circa 3,0 kg CO<sub>2</sub>-  
508 eq per kg gerecycled PET productie bespaart. Hierbij zijn de emissies vergeleken met de situ-  
509 atie waarbij er emissies plaatsvinden in de gehele keten bij het maken van virgin-PET en de  
510 uiteindelijke end-of-life verbranding in een AVI (rekening houdend met de derving in warmte  
511 en elektriciteit). Tevens is de aanname ook dat beiden PET-outputs dezelfde kwaliteit heb-  
512 ben.

## 513 5.2 Chemische EPS-recycling

514 Het KIDV geeft een totale emissiereductie aan van 3,2 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg *input* EPS ten opzichte  
515 van de emissies die vrijkomen in de gehele productieketen bij het maken van virgin-PS en de  
516 uiteindelijke verbranding in een AVI (KIDV, 2018). Volgens CE Delft blijkt dat de klimaatim-  
517 pactreductie van gerecycled EPS neerkomt op circa 3,0 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg gerecycled PS (CE  
518 Delft, 2019a). Het gaat hier echter om resultaten op basis van experimentele data en  
519 daarom dienen deze resultaten als onzeker of een eerste inschatting gezien te worden.  
520  
521 Daarnaast is het aandeel van de recycling van broom in de gereduceerde klimaatimpact hier-  
522 van volgens CE Delft beperkt (CE Delft, 2019a).

523

# 6 Correctiebedragen

## 524 6.1 Verkooprij BHET

525 Aangenomen wordt dat het geproduceerde BHET van een dusdanige hoge kwaliteit is dat het  
526 voor dezelfde prijs kan worden verkocht als virgin-PET<sup>5</sup>. TNO vermeldt een marktprijs van  
527 0,96 €/kg gerecycled PET (TNO, 2018). CE Delft geeft een range van tussen de 0,52 en 1,50  
528 €/kg BHET (CE Delft, 2019a). Volgens een marktpartij ligt de verkoopprijs tussen de 0,80 en  
529 1,00 €/kg BHET. De hoogst genoemde waarde, 1,50 €/kg BHET output, is het geadviseerde  
530 voorlopige correctiebedrag.

## 531 6.2 Verkooprij PS

532 Aangenomen wordt dat het geproduceerde PS na recycling van een dusdanige hoge kwaliteit  
533 is dat het voor dezelfde prijs kan worden verkocht als virgin-PS. TNO geeft een marktprijs  
534 van 1,72 €/kg output gerecycled PS (TNO, 2018). CE Delft meldt een marktprijs van virgin-  
535 PS van tussen de 1,40 en 1,90 €/kg PS (CE Delft, 2019a). De hoogst genoemde waarde,  
536 1,90 €/kg PS output, is het geadviseerde voorlopige correctiebedrag.

---

<sup>5</sup> In de praktijk moet BHET nog worden gepolymeriseerd tot PET-vezels of fleskwaliteit-PET. De specifieke kosten voor deze stap hebben wij echter niet kunnen achterhalen.

# 7 Advies

## subsidieparameters

### 7.1 Resultaten OT-model

In tabel 7-1 zijn de basisbedragen weergegeven voor de categorieën horende bij het thema *Chemische recycling kunststoffen* die zijn berekend met het OT-model van PBL. Opgemerkt moet worden dat de hoogte van het basisbedrag van chemische EPS-recycling in grote mate bepaald wordt door de elektriciteitskosten (circa 80%). Daarnaast is in de tabel weergegeven met welke vollasturen en looptijd is gerekend. Ten slotte is weergegeven hoe het correctiebedrag berekend dient te worden.

**Tabel 7-1** Overzicht geadviseerde subsidieparameters voor het conceptadvies SDE++ 2021 voor de categorieën horende bij het thema *Chemische recycling kunststoffen*

Categorie	Conceptadvies Basisbedrag SDE++ 2021 (€/kg output product)	Vollasturen	Looptijd subsidie (jaar)	Berekeningswijze correctiebedrag (€/ kg output product)
PET-depolymerisatie	0,448	8000	15	Marktprijs PET of BHET
Chemische EPS-recycling	1,677	8000	15	Marktprijs PS

Tabel 7-2 geeft een samenvattend overzicht van subsidieparameters.

**Tabel 7-2** Overzicht parameters

Categorie	Product	Basisbedrag SDE++ 2021 (€/kg output product)	Langetermijnprijs (€/kg output product)	Emissiefactor* (tCO <sub>2</sub> /kg)	Subsidie-intensiteit (€/tCO <sub>2</sub> )
PET-depolymerisatie	BHET	0,448	1,500	0,003	n.v.t.
Chemische EPS-recycling	PS	1,677	1,900	0,003	n.v.t.

\* indicatief

### 7.2 Basisbedragen (kostprijzen) in de literatuur

Ter vergelijking worden de kostprijzen zoals deze gegeven zijn in de literatuur per techniek in onderstaande kopjes weergegeven. Deze kostprijzen kunnen worden vergeleken met de bovengenoemde basisbedragen voor PET-depolymerisatie (0,447 €/kg BHET) en Chemische EPS-recycling (1,675 €/kg PS).

#### 7.2.1 PET-depolymerisatie

- Uit de resultaten van de studie van TNO (2018) blijkt dat de productieprijs van PET-depolymerisatie (ofwel glycolyse) ligt tussen de 0,276 en 0,939 €/kg feedstock PET,

563 afhankelijk van parameters zoals de OPEX, de schaalgrootte van de fabriek en de  
564 olieprijs (TNO, 2018).  
565 - Volgens CE Delft ligt de kostprijs in een range van 0,590 tot 0,820 €/kg BHET (CE  
566 Delft, 2019a).

### 567 7.2.2 Chemische EPS-recycling

568 - Volgens TNO (2018) ligt de kostprijs voor de productie van EPS via solvolyse tussen  
569 de 0,279 en 1,069 €/kg feedstock EPS, afhankelijk van parameters zoals de OPEX,  
570 de schaalgrootte van de fabriek en de olieprijs (TNO, 2018).  
571 - Volgens CE delft ligt de kostprijs van chemische EPS-recycling tussen de 1,150 en  
572 2,250 €/kg output gerecycled PS (CE Delft, 2019a).  
573

# 8 Discussiepunten en voorlopig advies

574

575

576 Voor beide categorieën geldt dat, uitgaande van de geadviseerde voorlopige correctiebedra-  
577 gen in hoofdstuk 6 en de berekende basisbedragen in hoofdstuk 7, er geen onrendabele top  
578 is. Dit is echter afhankelijk van het gekozen correctiebedrag. Voor PET-depolymerisatie is het  
579 basisbedrag lager dan alle in hoofdstuk 6 genoemde marktprijzen en daarom kan met grote  
580 zekerheid worden gezegd dat er geen sprake is van een onrendabele top. Voor chemische  
581 EPS-recycling geldt echter dat, wanneer er wordt uitgegaan van een marktprijs aan de on-  
582 derkant van de genoemde range in hoofdstuk 6, er niet met grote zekerheid gezegd kan  
583 worden dat er geen sprake is van een onrendabele top.

584

585 Daarnaast spelen onderstaande punten/vraagstukken rondom het subsidiëren van PET-  
586 depolymerisatie of Chemische EPS-recycling middels de SDE++-regeling:

- 587 • Er dient bij de afweging of er wel of geen subsidie moet komen voor deze catego-  
588 rieën naast de CO<sub>2</sub>-emissiereductie ook rekening te worden gehouden met andere  
589 milieuwinsten zoals:
  - 590 ○ Vermindering van de zogeheten 'plastic soep';
  - 591 ○ Vermindering van de extractie van fossiele grondstoffen.
- 592 • In de berekeningen is vanwege ontbrekende informatie aangenomen dat het aange-  
593 leverde afval louter Nederlands afval is, dat wil zeggen, dat het om PET en EPS gaat  
594 dat in Nederland is gebruikt en afgedankt. Gezien de aangenomen productievolumes  
595 van de referentieprojecten is het echter waarschijnlijk dat er buitenlands afval wordt  
596 aangetrokken door de chemische recycling fabrieken. Dit heeft de volgende implica-  
597 ties:
  - 598 ○ De inkoopprijs is hoger wanneer plastic afval uit het buitenland moet worden  
599 ingekocht. Hierdoor wordt de kostprijs per kg gerecycled PET of EPS hoger.
  - 600 ○ Er zullen mogelijk netto meer emissies plaatsvinden in Nederland aangezien  
601 er buitenlands afval, dat eerder werd verbrand over de grens, wordt gebruikt  
602 voor de chemische recycling fabrieken die BHET en PS produceren met de  
603 daarmee gepaarde emissies.
- 604 • AVI's zullen, door de vermindering van Nederlands PET- en EPS-afval (wanneer dit  
605 chemisch gerecycled wordt) dat ze normaal gesproken verbranden, waarschijnlijk  
606 meer afval uit het buitenland aantrekken om dezelfde verbrandingscapaciteit te be-  
607 houden. Zij moeten immers hun productiefaciliteit draaiende houden en hebben  
608 daarnaast vaak ook een verplichting om elektriciteit en stadswarmte te leveren.  
609 Evenzo, zullen de producenten van het virgin-plastic in Nederland naar alle waar-  
610 schijnlijkheid niet hun productie terugschroeven als gevolg van meer gerecycled PET  
611 of EPS dat op de markt komt. Aangezien het op mondiale schaal om relatief weinig  
612 plastic gaat dat wordt vervangen door recycling zullen zij met dezelfde productie an-  
613 dere afzetmogelijkheden kunnen vinden voor hun virgin-plastic op de mondiale  
614 markt. Er zal weliswaar op mondiale schaal ergens in de keten CO<sub>2</sub> gereduceerd wor-  
615 den, maar het lijkt onwaarschijnlijk dat deze op Nederlandse bodem plaats zullen  
616 vinden. En als dat al zo is, is het meten van deze mitigatie een erg ingewikkelde op-  
617 gave.
- 618 • Er is bij PET-depolymerisatie van uitgegaan dat PET-trays niet mechanisch gerecy-  
619 cled kunnen worden en daarom in aanmerking komen voor chemische recycling. Dit  
620 is nu het geval maar het kan goed zijn, gezien de ontwikkelingen in mechanische re-  
621 cycling, dat PET-trays ook mechanisch gerecycled kunnen worden voordat de looptijd

622 van een eventuele subsidie voorbij is (CE Delft, 2019c). Dat kan betekenen dat voor  
623 de productie van BHET via depolymerisatie tegen die tijd niet alleen PET-trays uit Ne-  
624 derland zullen komen maar ook PET-trays uit het buitenland. Dit heeft dan weer im-  
625 plicaties voor de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die in Nederland vermeden wordt en dus de  
626 subsidie-intensiteit.

- 627 • Het is aannemelijk dat door toename van chemische recycling in Nederland er pro-  
628 ducten worden gemaakt via chemische recycling, met de daarmee gepaard gaande  
629 emissies, die eerder werden ingekocht vanuit het buitenland.
- 630 • In Nederland is er op dit moment nog geen enkele fabriek die op commerciële schaal  
631 PET of EPS kan recyclen via chemische recycling. Er zijn slechts enkele demonstratie-  
632 projecten die nog in aanbouw zijn. Daarom kunnen de kosten voor het bouwen van  
633 een fabriek en het maken van de producten erg moeilijk ingeschat worden, wat in-  
634 vloed heeft op de robuustheid van de berekende basisbedragen. De vraag is daarom  
635 of deze technieken volwassen genoeg zijn om in aanmerking te komen voor SDE-  
636 subsidie of eerder gebaat zijn met een DEI-subsidie (Demonstratie Energie- en Kli-  
637 maatinnovatie).
- 638 • Er moet mee rekening worden gehouden dat de chemische recycling technieken niet  
639 alleen mogelijk kunnen concurreren met virgin-productie en mechanische recycling,  
640 maar ook met andere veelbelovende chemische recycling technieken zoals het afbre-  
641 ken van polymeren via vergassing of pyrolyse. Stimulering van de ene chemische re-  
642 cycling techniek kan daarom ten koste gaan van andere veelbelovende chemische  
643 recycling technieken.

644 Kortom, lettend op de hiervoor genoemde punten is er een reële kans dat er als gevolg van  
645 de subsidiëring van de technologieën geen enkele CO<sub>2</sub>-mitigatie in Nederland plaatsvindt.  
646 Dit, in combinatie met het ontbreken van een onrendabele top, brengt ons tot de conclusie  
647 dat het advies is om beide categorieën *niet* op te nemen in de SDE++-regeling.

648  
649 Daarnaast is het belangrijk te vermelden dat de eventuele fiscale voordelen van de Milieu-  
650 investeringsaftrek (MIA) en de Willekeurige afschrijving milieu-investeringen (Vamil) nog niet  
651 zijn meegenomen in de berekeningen van het basisbedrag.

652  
653 Ten slotte willen we het volgende aan EZK adresseren. In de afvalverwerkingsindustrie is het  
654 gangbaarder om kosten uit te drukken in euro's per kg *input* (dus PET-afval of EPS-afval) in  
655 plaats van euro's per output zoals in dit conceptadvies is gedaan. De reden hiervoor is dat er  
656 vaak één product is dat verwerkt gaat worden en er vaak sprake is van meerdere output  
657 producten. Een basisbedrag uitdrukken in € per kg input is in dat opzicht daarom wellicht lo-  
658 gischer en het is een betere maatstaf voor het berekenen van de vermeden emissies bij ver-  
659 branding. Dit is echter niet zo voor de berekening van de vermeden emissies door virgin-  
660 productie. Daarnaast zal dit leiden tot andere basisbedragen en subsidie-intensiteiten en  
661 strookt deze methode niet met de huidige manier waarop de SDE++ werkt. Deze andere  
662 methode van het berekenen van het basisbedrag willen we EZK als suggestie meegeven om  
663 over na te denken.  
664



# 9 Vragen aan de markt

665

- 666 - Gezien de resultaten van het OT-model, lijkt het al rendabel om een chemische recycling fabriek (zowel voor PET als EPS) te opereren. De vraag aan de markt is waarom  
667 dit niet of nauwelijks gebeurt?  
668
- 669 - Wat er moet er gebeuren om chemische recycling van de grond te krijgen? Waar zitten  
670 de grootste knelpunten? Moet er wellicht wat veranderen aan de manier van in-  
671 zameling en sortering?
- 672 - De vraag aan de markt is of er goede redenen zijn waarom chemische recycling meer  
673 ondersteuning nodig zou hebben dan mechanische recycling, wat immers al op veel  
674 plekken gebeurt? Met andere woorden, waar zit het grootste verschil in kosten?
- 675 - Is het volgens de markt een betere maatstaf om de productie uit te drukken in mate-  
676 riaal input (afval) die wordt verwerkt of in ton gerecycled product output?
- 677 - Aangezien er in de referentieprojecten wordt uitgegaan van productievermogens die  
678 groter zijn dan wat er jaarlijks aan Nederlands PET en EPS-afval wordt afgedankt,  
679 lijkt er niet voldoende Nederlands afval te zijn om de chemische recycling fabrieken  
680 te 'voeden'. Het lijkt daarom waarschijnlijk dat er al in de nabije toekomst PET- en  
681 EPS-afval uit het buitenland gehaald moet worden. Wij vragen de markt te onder-  
682 bouwen waarom er wel of juist niet louter Nederlands afval zal worden verwerkt.
- 683 - Wat is een reële aanname voor het aantal vollasturen dat een fabriek maakt? Op dit  
684 moment wordt 8000 uur per jaar aangenomen of is het misschien ook aannemelijk,  
685 gezien het onregelmatige aanbod van afval, dat fabrieken minder uren per jaar zul-  
686 len draaien?
- 687 - Graag vernemen wij van de markt of nieuwe productiefaciliteiten op plekken worden  
688 gebouwd waar er in de nabijheid kan worden aangesloten op een bestaand elektrici-  
689 teits- of gasnet of dat er eerder sprake zal zijn van een nieuw benodigde aansluiting.
- 690 - Graag ontvangen wij van de marktpartijen met name de hieronder genoemde ont-  
691 brekende parameters (wanneer van toepassing):
  - 692 ○ Vaste operationele kosten:
    - 693 ■ Arbeidskosten;
    - 694 ■ Kosten voor gas, water en licht voor de bedrijfspanden;
    - 695 ■ R&D-kosten;
    - 696 ■ Monitoringskosten;
    - 697 ■ Distributiekosten;
    - 698 ■ Marketing- en sales kosten;
    - 699 ■ Administratiekosten.
  - 700 ○ Variabele operationele kosten:
    - 701 ■ Afvoerkosten van afval;
    - 702 ■ Kosten voor overig input van materiaal;
    - 703 ■ Verpakkingskosten.
  - 704 ○ Levensduur van de installaties.
- 705

# Literatuur

- 707 CE Delft. (2018). *Samenvatting LCA Ioniqa*. Delft: CE Delft.
- 708 CE Delft. (2019a). *Circulaire en biobased opties in de SDE++*. Delft: CE Delft.
- 709 doi:19.190288.150
- 710 CE Delft. (2019c). *Verkenning chemische recycling - update 2019*. Delft: CE Delft.
- 711 CPME. (2016). *Purified Terephthalic Acid (PTA)*. PlasticsEurope.
- 712 CPME. (2017). *Polyethylene Terephthalate (PET)*. PlasticsEurope.
- 713 KIDV. (2018). *Chemical recycling of plastic packaging materials*. Den Haag: KIDV.
- 714 Levi, P. G., & Cullen, J. M. (2018). *SI, Mapping Global Flows of Chemical: From Fossil Fuel*
- 715 *Feedstocks to Chemical Products*. Cambridge: University of Cambridge.
- 716 Pingale, N., Palekar, V., & Shukla, S. (2009). Glycolysis of postconsumer polyethylene
- 717 terephthalate waste. *Wiley InterScience*.
- 718 PlasticsEurope. (2015). *Expandable Polystyrene (EPS): Eco-profile and EPD*. PlasticsEurope.
- 719 Port of Rotterdam. (2016). *Facts & figures on the Rotterdam energy port and petrochemical*
- 720 *cluster*. Retrieved 2020, from
- 721 [https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/facts-figures-energy-port-and-](https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/facts-figures-energy-port-and-petrochemical-cluster.pdf)
- 722 [petrochemical-cluster.pdf](https://www.portofrotterdam.com/sites/default/files/facts-figures-energy-port-and-petrochemical-cluster.pdf)
- 723 Thoden van Velzen, E., Brouwer, M., & Picuno, C. (2018). *Verbeteropties voor de recycling*
- 724 *van kunststofverpakkingen*. Wageningen: Wageningen Food & Biobased Research.
- 725 doi:<https://doi.org/10.18174/450447>
- 726 TNO. (2018). *Productiekosten- en brutowinst analyse van vier chemische recycling*
- 727 *producessen*. Den Haag: TNO.
- 728