



CO₂-reductie met de Circular Biobased Delta

Aanzet voor een routekaart voor de
periode tot 2030



CE Delft

Committed to the Environment

CO₂-reductie met de Circular Biobased Delta

Aanzet voor een routekaart voor de periode tot 2030

Dit rapport is geschreven door:

Chris Jongsma, Isabel Nieuwenhuijse, Bettina Kampman, Martijn Broeren, Diederik Jaspers

Delft, CE Delft, december 2020

Publicatienummer: 20.190303.147

Industrie / Bedrijfsbeleid / Procestechnologie / Grondstoffen / Substitutie / Kosten / Emissies / Reductie / Financiering / VT : Circulair / Biobased

Opdrachtgever: Circular Biobased Delta

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Bettina Kampman](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

Samenvatting	5
1	Inleiding 9
1.1	Van projectportfolio naar routekaart 9
1.2	Aanpak en leeswijzer 9
1.3	Het Klimaatakkoord en CO ₂ -emissies in de Deltaregio 9
1.4	Het belang van biobased en circulair 10
2	Methode 12
2.1	Welke projecten hebben we doorgerekend? 12
2.2	Hoe hebben we de CO ₂ -emissiereductie bepaald? 13
2.3	Hoe hebben we de kosteneffectiviteit bepaald? 15
2.4	Hoe zijn we tot de routekaart gekomen? 16
3	Factsheets 18
	Factsheet Alta Carbon Technologies 19
	Factsheet Avantium Ray-technologie 21
	Factsheet Bareau 23
	Factsheet Biogate Europe 25
	Factsheet Biondoil 27
	Factsheet Biorefinery Suikerbiet 29
	Factsheet Biorizon 2 - Sugar/furans to functional bioaromatics 31
	Factsheet Chaplin 33
	Factsheet DSD direct processing 35
	Factsheet Geïntegreerde hydropyrolyse 37
	Factsheet Green Pellets 39
	Factsheet HydroThermal Upgrading (HTU) 41
	Factsheet Ionika 43
	Factsheet Phario 44
	Factsheet PolyStyreneLoop 46
	Factsheet Pyrolyse Patpert Teknow 48
	Factsheet Pyrolyse Waste4ME 50
	Factsheet RJ Bioenergy 52
	Factsheet Steelanol/Torero 54
	Factsheet Superkritische Watervergassing (SCW) 56
	Factsheet Waste2Chemicals 58
4	Kwalitatieve analyse niet-becijferde sectoren 60
4.1	Welke projecten hebben we niet gecijferd en waarom niet? 60
4.2	Projecten uit de categorie 'E: Bouw' 60
4.3	Projecten uit de categorie 'F: Infra' 62
4.4	Projecten uit de categorie 'G: Materialen in mobiliteit' 64
4.5	Projecten uit de categorie 'H: Diversen' 64
5	Hoe hangen de projecten samen? 66



5.1	Waarom is de samenhang belangrijk?	66
5.2	Hoe hebben we de samenhang in beeld gebracht?	66
5.3	Projecten die alleen samen gerealiseerd kunnen worden	67
5.4	Projecten die dezelfde feedstock gebruiken	68
5.5	Projecten die een keten vormen	69
5.6	Sankeydiagram van de samenhang van projecten	69
6	Aanzet voor een routekaart naar 10 Mton/j besparing in 2030	72
6.1	De CO ₂ -reductie van de 21 gecijferde projecten tot 2030	72
6.2	Wanneer moet er geïnvesteerd worden?	75
6.3	Zijn de projecten rendabel zonder subsidie?	77
6.4	Benodigde actie en projecten met het grootste besparingspotentieel	78
6.5	De Circular Biobased Delta als aanjager van een nieuwe industrie	79
6.6	Het verdere pad naar 10 Mton/j CO ₂ -emissiereductie in de Delta	79
	Bibliografie	81
A	Selectie projecten	84
A.1	Categorie E/F/G/H	84
A.2	Niet meegenomen projecten	85
A.3	Aangedragen door CE Delft	86
A.4	Combinatie pyrolyse	86
A.5	Projecten die na verder onderzoek zijn afgevallen	87
B	Details methode kosteneffectiviteit	88
B.1	Opzet van de berekening	88
B.2	Details per kostenpost	88
C	Welk deel van de CO ₂ -reductie valt in Nederland?	90
C.1	Waarom maakt het uit waar de CO ₂ -reductie terecht komt?	90
C.2	Hoe hebben we de locatie van de CO ₂ -reductie bepaald?	90
C.3	Hoeveel bedraagt de CO ₂ -reductie op Nederlands grondgebied?	91



Samenvatting

Over Stichting Circular Biobased Delta en deze studie

Stichting Circular Biobased Delta ondersteunt en bevordert projecten in de provincies Zuid-Holland, Noord-Brabant en Zeeland rondom het hergebruik van materialen (circulair) en het toepassen van materialen en grondstoffen afkomstig uit biomassa (biobased). Circular Biobased Delta heeft een uitgebreid en divers projectportfolio, variërend van de productie van nieuwe chemicaliën uit biomassa tot routes voor recycling van kunststoffen zonder kwaliteitsverlies. De projecten hebben betrekking op een scala aan terreinen en toepassingen, van chemie, plastics en brandstoffen tot materiaalgebruik in woningen, voertuigen of meubels.

Het tienjarenplan van Circular Biobased Delta heeft als doel om in 2030 een CO₂-emissie-reductie van 10 Mton¹ per jaar te realiseren in de Delta regio. Tegelijkertijd heeft de Nederlandse overheid in de Klimaatwet vastgelegd dat Nederland haar broeikasgasemissies in 2030 met 49% moet reduceren ten opzichte van de uitstoot in 1990. Voor 2050 is zelfs een reductie van 95% vastgelegd. Deze doelstellingen zijn middels het Klimaatakkoord vertaald naar doelen en ambities per sector, met daarbij sectoroverstijgende ambities zoals de opbouw van een circulaire economie. Met de projecten van Circular Biobased Delta kunnen de drie provincies een belangrijke bijdrage leveren aan het behalen van de doelen van het Klimaatakkoord en de Klimaatwet.

Deze studie is het eerste onderzoek dat de bijdrage van concrete projecten aan de CO₂-emissiereductie van een projectportfolio in beeld brengt. In opdracht van Circular Biobased Delta en met financiering van drie genoemde provincies hebben we onderzocht hoeveel CO₂-uitstoot de projecten uit deze portfolio kunnen besparen ten opzichte van de huidige productiemethodes. We schatten daarbij ook in wanneer deze besparing gerealiseerd kan worden. Met deze informatie wordt het potentieel en het belang van de projecten tastbaarder en kunnen zowel Circular Biobased Delta alsook beleidsmakers gerichte vervolgstappen ondernemen. Die kunnen zich richten op de daadwerkelijke uitvoering van de plannen die al concreet genoeg zijn, het concretiseren van de plannen die nog in de kinderschoenen staan en het aantrekken van extra projecten zodat het eerstvolgende doel, 10 Mton CO₂-reductie in 2030, gehaald wordt.

Scope van deze studie

Deze studie richt zich op de projecten die Stichting Circular Biobased Delta mede helpt versnellen. Er zijn echter nog meer circulair en biobased projecten in de Deltaregio. Zo wordt er in Zuid-Holland gewerkt aan de circulaire/biobased HIC (Haven Industrieel Complex) lijst, waarin kansrijke projecten worden versneld. Onder andere InnovationQuarter, provincie Zuid-Holland, Port of Rotterdam, en gemeente Rotterdam werken hierbij samen aan projecten die niet in dit rapport zijn genoemd, zoals Black Bear Carbon, Clariter en Deep Branch Biotechnology.

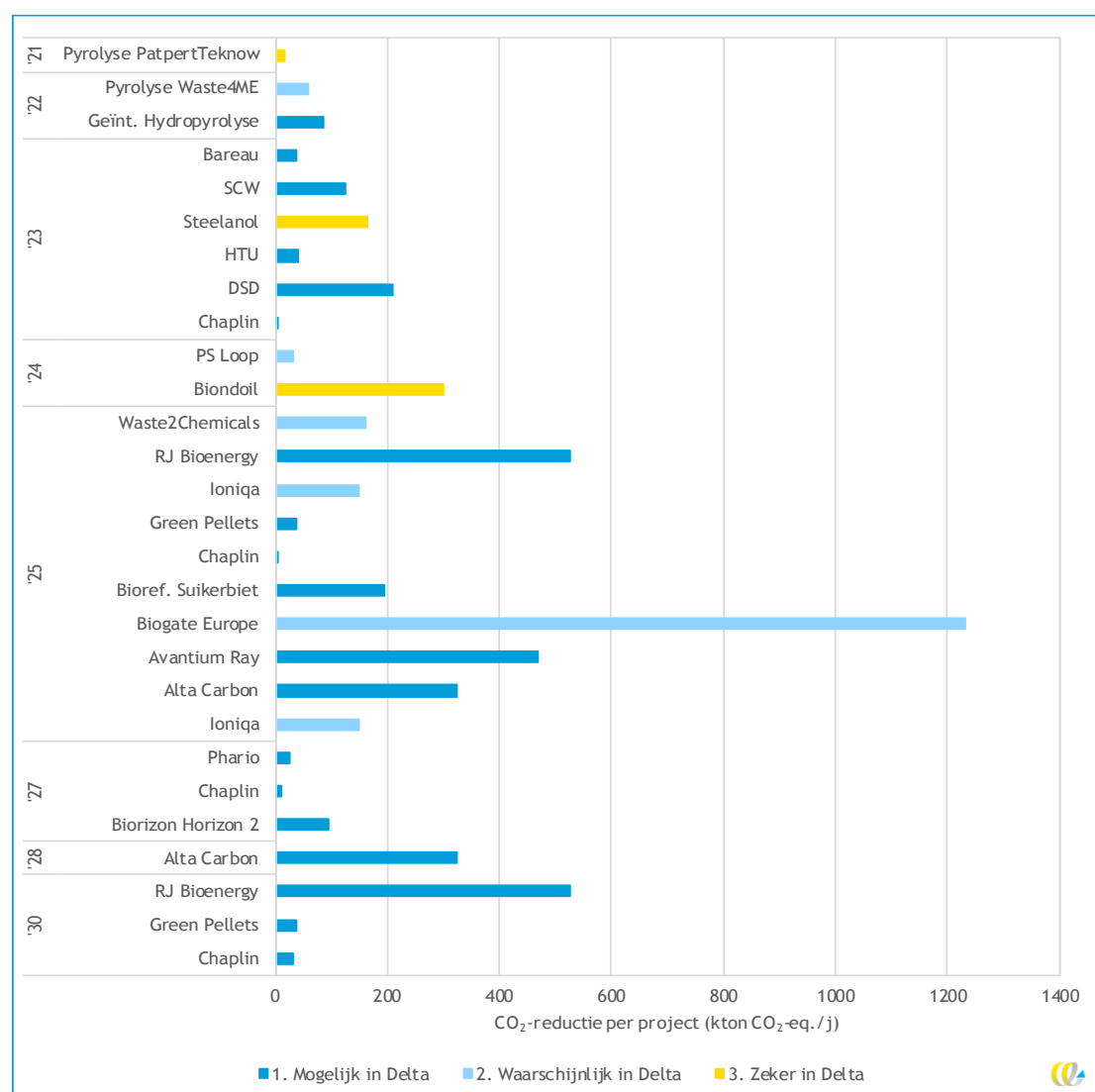
¹ 1 Mton is gelijk aan 1 miljard kilogram.

Aanzet voor een routekaart naar 10 Mton/j CO₂-emissiereductie in 2030

We hebben 21 projecten uit het portfolio van Stichting Circular Biobased Delta stuk voor stuk doorgerekend. Gezamenlijk kunnen deze projecten een totale CO₂-reductie van 5,4 Mton CO₂-eq./j bereiken in 2030. De totale investeringen om dit mogelijk te maken bedragen zo'n 3,2 miljard euro. Het grootste gedeelte van deze CO₂-reductie en investeringen komt echter van projecten waarvan nog niet vast staat dat ze in de Delta gerealiseerd gaan worden. Acht grote projecten kunnen gezamenlijk een CO₂-emissie-reductie van 4,3 Mton CO₂-eq./j realiseren.

De meeste projecten kunnen worden gerealiseerd rond 2025. De CO₂-reductie loopt daardoor snel op in de tweede helft van de jaren '20. Dat is ook de periode waarin de meeste investeringen nodig zijn.

Figuur 1 -De jaarlijkse CO₂-reductie per project



Links staan de projecten en het jaar van realisatie. De balken geven de CO₂-reductie in kton CO₂-eq./j weer, de kleur is een indicatie van de onzekerheid. Sommige projecten kunnen eventueel ook meerdere keren worden gerealiseerd.

Daadwerkelijke reductie kan zowel hoger als lager uitvallen

Het portfolio van Circular Biobased Delta bevat ook projecten waarvan nog niet genoeg gegevens bekend waren om door te rekenen of die nog niet concreet genoeg waren. Dit zijn onder andere projecten op het gebied van bouw, infrastructuur en materialen in mobiliteit. Daarnaast hebben we in de doorrekening voor de meeste projecten enkel de CO₂-reductie van een eerste, vaak kleinere fabriek meegenomen. Het is niet uitgesloten dat er per technologie meerdere fabrieken in de Delta gebouwd worden. De daadwerkelijk *mogelijke* CO₂-reductie van het gehele portfolio is dus nog hoger dan 5,4 Mton/j.

Daar staat tegenover dat de meeste projecten nog zeer onzeker zijn. De technologieën zijn nog in ontwikkeling, er kan worden gekozen voor andere locaties (buiten de drie provincies waar we in deze studie naar hebben gekeken), etc. De routekaart laat zien wat er in theorie mogelijk is, de daadwerkelijke investeringsbeslissingen bepalen wat er uiteindelijk wordt gerealiseerd.

Tenslotte zit er een onzekerheid in de CO₂-emissiereducties zoals berekend in de LCAs. Niet alleen zijn de projecten in ontwikkeling en is de data dus ook nog niet helemaal zeker, er zijn ook verschillende bronnen (en mogelijk verschillende methodes) gecombineerd en niet alles konden we controleren.

Grote spreiding in mogelijke CO₂-emissiereductie op Nederlands grondgebied

Voor het klimaat maakt het niet uit in welke landen of sectoren de CO₂-emissiereductie optreedt, klimaatverandering is immers een mondiaal probleem. Toch is het voor de nationale doelstellingen van belang om te weten welk deel van de CO₂-reductie in Nederland plaats vindt. De berekende CO₂-reductie geldt voor de totale productieketen en vindt daarom deels buiten Nederland plaats. Welk deel van de reductie op Nederlands grondgebied plaatsvindt, is onder andere afhankelijk van de locatie waar het product uiteindelijk gebruikt gaat worden en de locatie van de bestaande productieketen(s) die vervangen worden. Vanwege onzekerheden in deze factoren is het effect van de projecten op de CO₂-emissies op Nederlands grondgebied niet eenduidig vast te stellen. Uit onze analyse volgt een bandbreedte van 4,3 Mton/j reductie tot 0,7 Mton/j toename. Hoewel een gedeelte van de CO₂-reductie dus plaats vindt buiten Nederland, geldt andersom natuurlijk ook dat een gedeelte van de CO₂-reductie van buitenlandse projecten weer in Nederland terecht komt.

Projecten bieden kosteneffectieve CO₂-emissiereductie

De kosteneffectiviteit geeft aan of een project subsidie nodig heeft en zo ja, hoeveel de subsidie bedraagt per vermeden ton CO₂-emissie. We hebben hiervoor een kwalitatieve inschatting gemaakt op basis van een vereenvoudigde kosten/baten analyse. Onze conclusie is dat zeven van de 21 projecten waarschijnlijk rendabel zijn zonder subsidie. Van vier projecten hebben we de kosteneffectiviteit niet vast kunnen stellen. De overige tien projecten hebben mogelijk subsidie nodig, afhankelijk van de marktomstandigheden.

Kosteneffectiviteit en innovatieprojecten

De meeste projecten van Circular Biobased Delta maken gebruik van technologie die nog sterk in ontwikkeling is. Voor sommige projecten zal de kosteneffectiviteit dan ook (nog) te hoog zijn om in aanmerking te komen voor exploitatiesubsidies als de SDE++. De projecten dragen echter wel sterk bij aan de bredere transitie naar een klimaatneutrale, biobased en circulaire economie. Deze bijdrage is ook belangrijk, voor de langere termijn. De hoogte van de kosteneffectiviteit zegt dus niets over of een project waardevol is, maar enkel hoe groot de onrendabele top is bij het *huidige* beleid, de *huidige* marktomstandigheden en de *huidige* stand van de techniek.

Projecten creëren nieuwe ketens en haken in op bestaande ketens

We hebben de onderlinge samenhang van de projecten geanalyseerd en gevisualiseerd met een schema dat de materiaalstromen van de projecten in beeld brengt (een Sankey-diagram). Er ontstaat een duidelijke keten van bioraffinaderijen die biomassa omzetten in ethanol en kunststof. De ethanol wordt weer omgezet in basischemicaliën en kunststof. Een tweede keten ontstaat door nafta afkomstig uit pyrolyse van plastic afval weer in te zetten in bestaande naftakrakers om er weer nieuw plastic van te maken.

Het bredere belang van de Circular Biobased Delta

We willen benadrukken dat de projecten van Circular Biobased Delta meer zijn dan enkel een manier om de CO₂-uitstoot te reduceren tussen nu en 2030. De projecten ondersteunen ook de innovaties die nodig zijn voor de transitie naar een toekomstbestendige en op termijn een klimaatneutrale industrie. De werkgelegenheid en de economische bijdrage van de industrie kunnen behouden blijven door in te zetten op projecten met nieuwe, toekomstbestendige processen die efficiënt met materialen en energie omgaan.

Volgende stappen om te komen tot 10 Mton/j CO₂-emissiereductie

Om de CO₂-reductiedoelstelling voor 2030 te halen raden we allereerst aan om in te zetten op de daadwerkelijke realisatie van de 21 concrete projecten. Stichting Circular Biobased Delta kan partijen helpen om een consortium op te bouwen, de businesscase rond te krijgen en financiering en subsidie aan te vragen.

De tweede stap is concretisering van de overige projecten uit het projectportfolio. Zodra er per project een concreet voorstel ligt, kunnen ook die projecten op eenzelfde manier doorgerekend worden als in deze studie is gedaan, waarna ook zij richting realisatie kunnen.

Tegelijkertijd is het aan te bevelen om ook de initiatieven in de Delta regio waar Stichting Circular Biobased Delta niet de trekker van is helder in kaart te brengen. De bijdrage van deze projecten aan de CO₂-reductiedoelstelling kan dan ook worden bepaald. De onderlinge samenhang kan verder worden verduidelijkt als er per cluster een overkoepelend programma wordt opgezet.

Tenslotte raden we Circular Biobased Delta aan om het projectportfolio verder uit te breiden met nieuwe projecten, waarbij ook projecten met buitenlandse initiatiefnemers naar de Delta gehaald kunnen worden. Het is immers de vraag in hoeverre de huidige projecten in de regio voldoende zijn om de doelstelling van 10 Mton/j CO₂-emissiereductie in 2030 te halen. Daarnaast zullen er altijd projecten afvallen. Door te plannen voor méér dan 10 Mton/j is de zekerheid groter dat de doelstelling daadwerkelijk gehaald wordt.

1 Inleiding

1.1 Van projectportfolio naar routekaart

Stichting Circular Biobased Delta is een samenwerkingsverband van de provincies Noord-Brabant, Zeeland en Zuid-Holland en bedrijven en kennisinstellingen in deze gebieden. Circular Biobased Delta stimuleert de overgang van een fossiele naar een circulaire en biobased economie door de samenwerking tussen de verschillende partijen te bevorderen, ketens te ontwikkelen en consortia op te bouwen, businesscases te ontwikkelen en te lobbyen. De provincies hebben ieder financieel bijgedragen aan de totstandkoming van deze studie, de Stichting heeft haar expertise, tijd en netwerk beschikbaar gesteld.

Het doel van deze studie is om de Circular Biobased Deltaplannen concreter te maken aan de hand van een routekaart: welk project kan wanneer gerealiseerd worden, wat is de investering en welke CO₂-emissiereductie levert het op? Het startpunt van de routekaart is het tienjarenplan van Circular Biobased Delta, dat een belangrijke bijdrage levert aan de klimaat-, energie- en grondstoffentransitie en moet leiden tot 10 Mton CO₂-emissiereductie in de Delta regio in 2030. Het huidige projectportfolio van Circular Biobased Delta bevat een uitgebreide selectie van circulaire en biobased projecten. Deze studie is het eerste initiatief waarbij een projectportfolio integraal wordt doorgerekend en omgezet in een routekaart. Met deze routekaart kan Stichting Circular Biobased Delta beleidsmakers en financiers gericht benaderen om de Circular Biobased Delta daadwerkelijk te realiseren.

1.2 Aanpak en leeswijzer

In deze studie brengt CE Delft de CO₂-emissiereductie², mogelijke tijdlijn en de kosten-effectiviteit van 21 geselecteerde biobased of circulaire projecten in kaart.

Hoofdstuk 2 beschrijft de selectie van de projecten en de onderzoeksmethodiek. De CO₂-emissiereductie wordt per project in samenwerking met de initiatiefnemers in kaart gebracht aan de hand van levenscyclusanalyses (LCAs) waarbij de emissie van een nieuwe productieroute vergeleken wordt met de emissie van een referentieroute. Hoofdstuk 3 geeft de emissiereductie en kosten per project weer in de vorm van een factsheet. Voor de bouw-, infra- en mobiliteitssector wordt een kwalitatieve aanpak gehanteerd, zie Hoofdstuk 4 voor een indicatie van de CO₂-reductie van deze categorieën. In Hoofdstuk 5 kijken we hoe de projecten samenhangen.

De voorgaande analyses resulteren in een routekaart, die gepresenteerd wordt in Hoofdstuk 6.

1.3 Het Klimaatakkoord en CO₂-emissies in de Deltaregio

In juni 2019 is het Klimaatakkoord door het kabinet gepresenteerd. In dit Klimaatakkoord en de Klimaatwet (aangenomen mei 2019) is vastgesteld dat Nederland in 2030 haar broeikasgasemissies moet reduceren met 49% en in 2050 met 95% ten opzichte van 1990.

² In dit rapport wordt de term 'CO₂-emissie' gebruikt om alle broeikasgasemissies aan te duiden, oftewel CO₂-equivalenten (eq.). Naast CO₂ worden hier dus ook bijv. emissies van CH₄ (methaan) en N₂O (lachgas) meegenomen.

Het Klimaatakkoord bevat ook een forse doelstelling voor industrie: 14,3 Mton CO₂-emissie-reductie in 2030, bovenop het basispad van PBL met al bestaand beleid. Daarnaast heeft de Europese Commissie in december 2019 een Europese Green Deal gepresenteerd, met vergaande ambities voor 2030 en 2050: het voorstel is om het EU-doel te verhogen naar 55% reductie in 2030. Deze Green Deal wordt de komende tijd verder uitwerkt.

Circular Biobased Delta wil bijdragen aan deze reductiedoelen. De totale emissies in de provincies Noord-Brabant, Zuid-Holland en Zeeland bedroegen in 2017 ongeveer 85 megaton CO₂-eq. Tabel 1 geeft de broeikasgasemissies weer van de provincies die aangesloten zijn bij Circular Biobased Delta, voor 2017. Als we ervan uitgaan dat de drie provincies evenredig bijdragen aan de reductiedoelen uit de Klimaatwet betekent dit dat in de regio 40 megaton CO₂ moet worden gereduceerd tot 2030, en dat er tussen 2030 en 2050 nog eens 40 megaton emissiereductie bewerkstelligd dient te worden.

Tabel 1 - Broeikasgasemissies in 2017 van de provincies Noord-Brabant, Zuid-Holland en Zeeland

Provincie	Industrie	Energie	Andere sectoren	Totale emissies
<i>Mton CO₂-eq./jaar</i>				
Noord-Brabant	4,7	5,4	13,4	24
Zuid-Holland	13,1	15,9	16,9	46
Zeeland	8,2	2,6	2,5	13
Totaal	26	24	33	83

Bron: (Klimaatmonitor, 2020).

1.4 Het belang van biobased en circulair

Het gebruik van biomassa is recentelijk onder vuur komen te liggen in het publieke debat, onder andere door het SER-advies 'Biomassa in balans' (SER, 2020). Er is maar een beperkte hoeveelheid biomassa beschikbaar en veel toepassingen hebben goede alternatieven waar geen biomassa voor benodigd is, dit geldt bijvoorbeeld voor elektriciteitsopwekking, mobiliteit en de verwarming van huizen. De organische chemie is echter per definitie gebaseerd op koolstof en heeft dus een bron van hernieuwbare koolstof nodig.

Het gebruik van duurzame biomassa voor materialen en als grondstof voor de chemie wordt door de SER dan ook gezien als hoogwaardige toepassing, die past in het eindbeeld van een duurzame economie.

Het is vrijwel onmogelijk om klimaatneutraliteit te bereiken zonder circulariteit en het gebruik van biobased grondstoffen. De huidige lineaire fossiele ketens kunnen enkel behouden blijven zolang er geen enkele emissie plaatsvindt bij de winning van grondstoffen en alle afgedankte producten ingezameld worden voor verbranding, waarbij alle CO₂ wordt afgevangen en voor eeuwig wordt opgeslagen. In de praktijk is het vrijwel onmogelijk om aan deze voorwaarden te voldoen.

De overstap naar circulaire ketens maakt de opgave om klimaatneutraal te worden veel makkelijker. Het energiegebruik om materialen te recycleren is meestal lager dan het energiegebruik om nieuwe materialen te maken en de emissies van zowel winning als end-of-life worden vermeden. De Europese Unie zet met het Circular Economy Action Plan dan ook in op een circulaire economie. Ook de Nederlandse overheid geeft in het Klimaatakkoord aan dat ze in 2050 een circulaire industrie voor zich ziet.

Ook in een vergevorderde circulaire economie is het waarschijnlijk dat alleen recycling niet volledig in de vraag naar materialen kan voldoen. Bij de inzameling en recycling zelf ontstaan er verliezen en er treedt kwaliteitsverlies op, vooral bij recycling van gemengde of vervuilde materiaalstromen. Daarnaast moet er voldoende materiaal in omloop zijn om aan de vraag te voldoen. Zo lang de economie blijft groeien is er altijd ook nieuw materiaal nodig.

Door deze behoefte aan nieuw materiaal in te vullen met duurzame biomassa, voorkomen we fossiele emissies bij end-of-life. Daarnaast wordt biogene koolstof langdurig vastgelegd en blijft het door circulariteit nog langer in omloop. Na vele cycli van mechanische recycling kan het product chemisch worden gerecycled tot nieuwe grondstoffen. Zo wordt er veel uitstoot voorkomen. Door alle biogene CO₂-emissies bij de productie en recycling-stappen af te vangen en op te slaan kan er netto zelfs CO₂ uit de atmosfeer worden verwijderd.

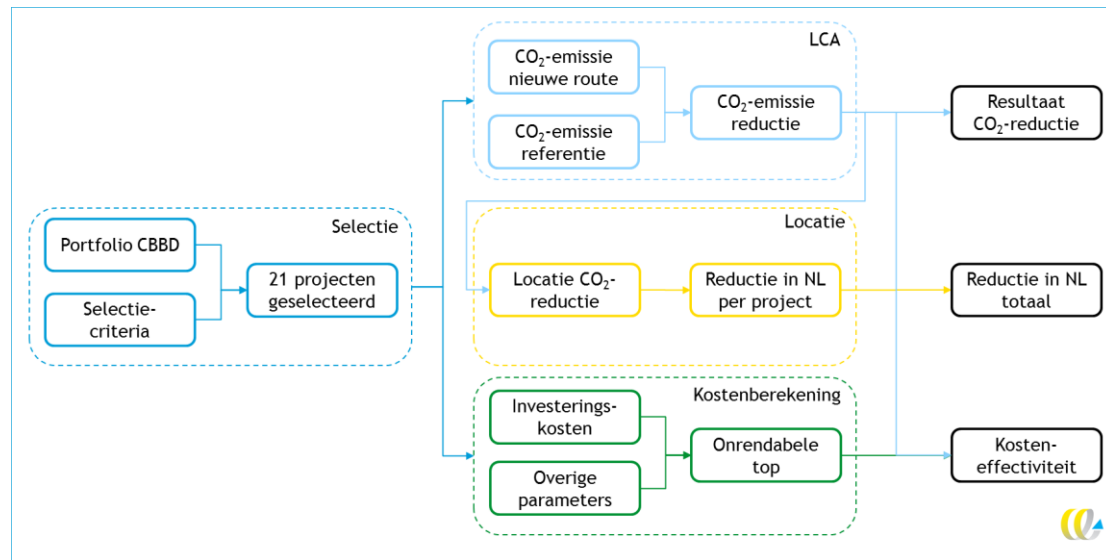
De industrie van de toekomst vraagt om nieuwe processen die efficiënt met biomassa omgaan. De huidige (petrochemische) producten en productieketens zijn een direct resultaat van de samenstelling van aardolie en welke producten daar efficiënt uit gewonnen kunnen worden. De samenstelling van biomassa is fundamenteel anders dan die van aardolie. Een efficiënt gebruik van biomassa vraagt dus om andere producten en ook andere processen dan de huidige processen, die op aardolie gericht zijn. Door in te zetten op efficiënte productieroutes, kan biobased eerder de concurrentie met fossiel aan.

De inzet van duurzame biomassa voor materialen en als grondstof is dus een toekomst-bestendige toepassing die samen met de overstap naar circulaire ketens een grote bijdrage kan leveren aan het behalen van de klimaatdoelen.

2 Methode

In dit hoofdstuk behandelen we de onderzoeksmethode die tot de resultaten leidt. Figuur 2 geeft een schematisch overzicht.

Figuur 2 - Schematisch overzicht van de methode



2.1 Welke projecten hebben we doorgerekend?

2.1.1 Korte toelichting projecten

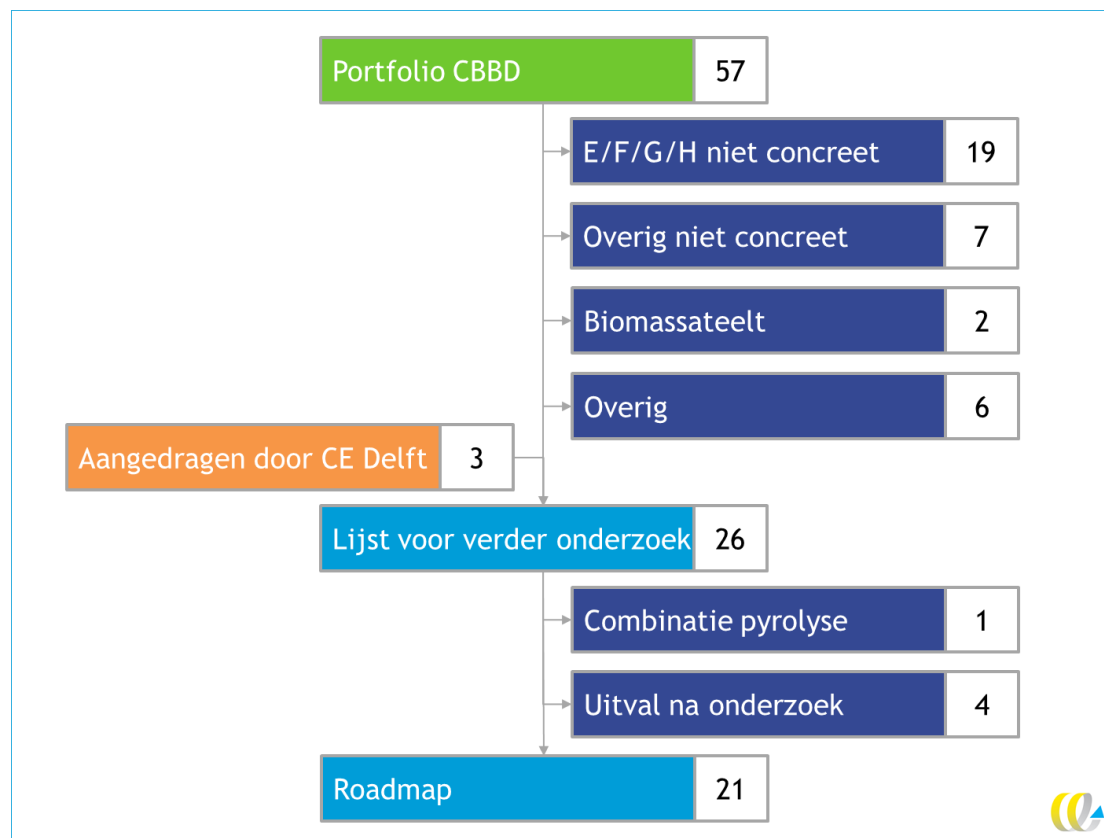
Aan het begin van het project heeft Circular Biobased Delta een projectportfolio aangeleverd met 57 projecten, verdeeld over de volgende categorieën:

A: Groene Chemie	Bioraffinage, productie basischemicaliën uit biomassa
B: Biobrandstoffen	Productie van bioethanol, pyrolyseolie voor vervoersbrandstof
C: Energie	Productie van biogas, pyrolyseolie en char voor energietoepassingen
D: Agro	Productie van biomassa, verwaarding agroreststromen
E: Bouw	Productie en toepassing van biomaterialen in de bouw en chemicaliën voor gebruik in bouw en meubelindustrie
F: Infra	Toepassing van biobased materialen in wegenbouw
G: Materialen in mobiliteit	Productie van materialen voor toepassingen in voertuigen
H: Diversen	Productie en recycling van bioplastics en biomaterialen

Alle projecten zijn globaal onderzocht en beoordeeld. Vervolgens zijn 27 routes in meer detail onderzocht. Uiteindelijk bleek voor 21 projecten voldoende gedetailleerde informatie beschikbaar om ze mee te nemen in de routekaart.

De categorieën E: Bouw, F: Infra, G: Materialen in mobiliteit en H: Diversen worden kwalitatief behandeld in Hoofdstuk 4.
In Figuur 3 staat een schematisch overzicht van het selectieproces. Voor meer details over de selectie, zie Bijlage A.

Figuur 3 - Totstandkoming uiteindelijke lijst projecten



Er zijn nog meer projecten in de Deltaregio op het vlak van circulair en biobased dan de projecten die Stichting Circular Biobased Delta mede helpt versnellen. In Zuid-Holland wordt gewerkt aan de circulaire/ biobased HIC (Haven Industrieel Complex) lijst, waarin kansrijke projecten worden versneld. Onder andere InnovationQuarter, provincie Zuid-Holland, Port of Rotterdam en gemeente Rotterdam werken hierbij samen aan projecten die niet in dit rapport zijn genoemd, zoals Black Bear Carbon, Clariter en Deep Branch Biotechnology.

2.2 Hoe hebben we de CO₂-emissiereductie bepaald?

Per geselecteerd project schatten we de potentiële CO₂-emissiereductie door te kijken naar het verschil in de CO₂-emissies van de nieuwe (biobased of circulaire) route en een bestaande referentieroute. In het geval dat er geen referentieroute gegeven is, stellen we zelf de referentieroute vast en berekenen we het verschil met de nieuwe route.

De CO₂-emissies van de nieuwe routes en referentieroutes worden in kaart gebracht door de emissies over de gehele levenscyclus te beschouwen met een levenscyclusanalyse (LCA). Er wordt hierbij dus niet alleen rekening gehouden met de directe emissies uit een installatie, maar ook met de impact van (de gehele aanleverketen van) gebruikte energie

en hulpmiddelen, en met outputs co-producten en/of afvalstromen. Hierbij hebben we in verband met het aantal beschouwde routes zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande LCAs. Hierbij hebben we de volgende voorkeursvolgorde voor de bronnen gehanteerd:

- a Bestaande LCA van de exacte route door CE Delft.
- b Bestaande LCA van de exacte route door andere partij.
- c Bestaande LCA van sterk vergelijkbare route (proxy) door CE Delft.
- d Bestaande LCA van sterk vergelijkbare route (proxy) door andere partij.
- e Mini-LCA door CE Delft op basis van gegevens aangeleverd door initiatiefnemers route.³

Er is hierbij de voorkeur gegeven aan studies die uitgevoerd zijn door CE Delft omdat we hierbij beter op de hoogte zijn van de kwaliteit van de achterliggende data, gemaakte methodologische keuzes, onzekerheden en andere afwegingen. De gebruikte bronnen (vermeld in de factsheets in Hoofdstuk 3) zijn over het algemeen hoogwaardig en sluiten goed aan bij het doel van deze studie. Desalniettemin kunnen er (met name in studies die door derden zijn uitgevoerd) LCA-methodologische keuzes gemaakt zijn die afwijken van de keuzes van CE Delft. Waar mogelijk worden dit soort onzekerheden benoemd.

2.2.1 Keuze referentie

Bij een LCA is de vaststelling van de referentie productieroute kritiek voor de uitkomsten. Het referentiescenario beschrijft:

- hoe de grondstoffen van het nieuwe proces zouden worden gebruikt indien het nieuwe proces niet gerealiseerd zou worden; en
- hoe de producten van het nieuwe proces gemaakt zouden worden indien het nieuwe proces niet gerealiseerd zou worden.

De referentie van het alternatieve gebruik van de grondstof en van het product worden zodanig gekozen dat deze de werkelijkheid zo dicht mogelijk benaderen. Hierbij zijn niet de technische mogelijkheden leidend of een ideaal toekomstbeeld, maar de praktische realiteit als een installatie in de nabije toekomst gebouwd zal worden. In de factsheets in Hoofdstuk 3 staat per route beschreven hoe het referentiescenario eruit ziet.

De LCA wordt enkel uitgevoerd over het gedeelte van de keten dat afwijkt van de referentie. In andere woorden: het gedeelte van de keten dat gelijk is voor de nieuwe route en de referentie wordt buiten beschouwing gelaten. Wanneer er bijvoorbeeld een biobased route voor methanolproductie onderzocht wordt, zijn alleen de stappen tot en met de productie van die methanol relevant. De rest van de keten zal gelijk zijn aan de huidige (referentie)situatie, waardoor de implementatie van de biobased methanolroute hier niet tot een verandering in CO₂-emissies zal leiden.

In veel gevallen vervangt een biobased product een fossiel product. Indien het product aan het eind van zijn levensduur verbrand wordt, komt daar CO₂ bij vrij. Bij een fossiel product telt deze CO₂ wel mee in de footprint, bij een biobased product niet. We gaan ervan uit dat de biogene CO₂ recentelijk uit de atmosfeer is opgenomen, de uitstoot ervan leidt dus langjarig gezien niet tot een toename van CO₂ in de atmosfeer.

De indirecte CO₂-emissies ten gevolge van elektriciteitsgebruik berekenen we waar mogelijk met de huidige emissie-intensiteit van de Nederlandse elektriciteitsmix.

³ De mini-LCA betreft het toekennen van CO₂-footprints de gebruikte materialen en energie van zowel het nieuwe project en het referentieproject. De emissiereductie wordt vervolgens berekend door het verschil in CO₂-footprint te bepalen voor dezelfde hoeveelheid eindproduct.

2.2.2 Overige milieueffecten

Circular Biobased Delta heeft gevraagd om een inschatting van de CO₂-reductie ten gevolge van een lijst met voorgestelde projecten. Dit is becijferd middels een vereenvoudigde LCA, gericht op de bijdrage aan klimaatverandering, uitgedrukt in kg CO₂-equivalent. Een volledige (niet vereenvoudigde) LCA biedt naast inzicht in de bijdrage aan klimaatverandering ook inzicht in de overige milieueffecten van de productieroutes, zoals bodemverzuring, grondstoffengebruik of verlies van biodiversiteit door bijvoorbeeld ontbossing. Waar mogelijk hebben we dit soort effecten kwalitatief vermeld op de factsheet.

2.3 Hoe hebben we de kosteneffectiviteit bepaald?

De kosteneffectiviteit geeft aan hoe duur het is om met het project bij de huidige markt-omstandigheden een ton CO₂-emissie te voorkomen. Dit wordt uitgedrukt in €/ton CO₂-eq. Hierbij wordt gekeken naar de huidige kostprijs van het gangbare (fossiele) productieproces. Dit wordt vervolgens vergeleken met de kostprijs van het product met lagere emissies. Subsidieprogramma's zijn er vaak op gericht om dit verschil in kostprijs te compenseren. Het idee achter de kosteneffectiviteit is om de subsidie daar in te zetten waar de meeste CO₂-reductie per euro wordt behaald. Het bepalen van de kosteneffectiviteit kan dus helpen om vorm te geven aan de routekaart: een nieuw productieproces dat nu nog veel duurder is dan het concurrerende fossiele productieproces heeft veel minder kans van slagen dan een productieproces dat nu al goedkoper is dan het fossiele alternatief.

De kosteneffectiviteit wordt bepaald door twee factoren:

1. De CO₂-emissiereductie over de hele keten per eenheid, zoals vastgesteld in een LCA, uitgedrukt in bijvoorbeeld ton CO₂-eq. per ton product.
2. De meerkosten, oftewel de onrendabele top, bijvoorbeeld berekend met de SDE-kostensystematiek.

Om de onrendabele top vast te stellen zijn met name de volgende posten uit de businesscase bepalend:

1. Investeringskosten (CAPEX) voor het nieuwe proces of de aanpassing van een bestaand proces, hier horen ook training en kosten voor infra bij.
2. Vaste jaarlijkse kosten (OPEX), zoals salariskosten, huur en dergelijke.
3. Variabele kosten (OPEX), zoals grondstof- en energiekosten.
4. Financieringskosten met ratio eigen vermogen en vreemd vermogen, rentes (WACC).
5. Afschrijvingstermijn.
6. Belastingen, (kortingen op) heffingen en bepaalde aftrekposten.
7. Jaaropbrengsten, met inlooperperiode, omzetprojecties, prijs per ton product.
8. Andere subsidies en verstrekte voordelen.

De details per kostenpost staan in Bijlage B.

Afhankelijk van de aannames kan de kosteneffectiviteit anders uitvallen. Vanwege deze gevoeligheid voor de aannames, presenteren we geen exacte getallen voor de kosteneffectiviteit. In plaats daarvan hanteren we een kwalitatieve aanpak. We hebben per post een gunstige en een ongunstige waarde aangenomen en hiermee een best-case-scenario en een worst-case-scenario doorerekend. De kosteneffectiviteit is vervolgens geclassificeerd volgens Tabel 2.

Tabel 2 - Classificatie kosteneffectiviteit

	Gunstigste scenario	Ongunstigste scenario
Waarschijnlijk rendabel zonder subsidie	Geen onrendabele top	Geen onrendabele top
Mogelijk subsidie nodig	Geen onrendabele top	Onrendabele top aanwezig
Waarschijnlijk subsidie nodig	Onrendabele top aanwezig	Onrendabele top aanwezig

De resultaten van de kosteneffectiviteit worden vermeld op de factsheets.

Kosteneffectiviteit en innovatieprojecten

De meeste projecten van Circular Biobased Delta maken gebruik van technologie die nog sterk in ontwikkeling is. Voor sommige projecten zal de kosteneffectiviteit dan ook (nog) te hoog zijn om in aanmerking te komen voor exploitatiesubsidies als de SDE++. De projecten dragen echter wel sterker dan veel andere projecten bij aan de bredere transitie naar een klimaatneutrale, biobased en circulaire economie. Deze bijdrage aan de transitie is ook belangrijk. Eén ton CO₂ besparen en een toekomstbestendige industrie opbouwen is meer waard dan één ton CO₂ besparen en een aflopende industrie in leven houden. De hoogte van de kosteneffectiviteit zegt dus niets over of een project waardevol is, maar enkel hoe groot de onrendabele top is bij het *huidige* beleid, de *huidige* marktomstandigheden en de *huidige* stand van de techniek.

2.4 Hoe zijn we tot de routekaart gekomen?

We vatten de projecten samen in een routekaart, waarin wordt aangegeven welk project naar verwachting wanneer gerealiseerd kan worden. Hierbij tekenen we aan dat een project meerdere keren in de routekaart voor kan komen. Er kan bijvoorbeeld voor 2025 een pilotinstallatie worden gebouwd en eind jaren '20 een commerciële fabriek.

Bij het opstellen van de routekaart houden we rekening met de technologische ontwikkeling van de projecten middels de 'Technology Readiness Level', de TRL (zie het tekstkader). Daarnaast nemen we ook mee in welk stadium de realisatie van een project zich bevindt. Wordt er serieus gekeken naar Nederland en de Deltaregio of heeft men een technologie op de plank liggen maar zijn er nog geen aanwijzingen dat er daadwerkelijk een installatie gebouwd gaat worden? Deze concreetheid duiden we aan met de volgende schaal:

1. Mogelijke realisatie in Delta.
2. Waarschijnlijke realisatie in Delta.
3. Zekere realisatie in Delta.

Per project hebben we de initiatiefnemers gevraagd om een uitspraak te doen over welk tijdspad zij voor zich zien: welk jaar zien zij als realistisch voor de realisatie van een eerste fabriek en welke capaciteit heeft deze? Daarnaast hebben we hen gevraagd naar de verwachte opschaling in de jaren daarna. Indien wij deze inschatting als niet realistisch zien, hebben we de tijdslijn en/of de capaciteit echter bijgesteld.

Het resultaat van de analyse is het verloop van de verwachte CO₂-reductie over de tijd en de verwachte investeringen per tijdsvak.

De **Technology Readiness Level (TRL)** is een indicator van de volwassenheid van een technologie. De TRL-methodologie is ontwikkeld door NASA en later aangepast door de EU voor gebruik in het Horizon 2020-programma (EC, 2014). Er worden negen niveaus onderscheiden (vrij vertaald uit bron):

TRL 1 - Basisprincipes waargenomen

TRL 2 - Technologieconcept geformuleerd

TRL 3 - Experimenteel 'proof of concept'

TRL 4 - Technologie gevalideerd in laboratorium

TRL 5 - Technologie gevalideerd in relevante omgeving

TRL 6 - Technologie gedemonstreerd in relevante omgeving

TRL 7 - Prototype van systeem gedemonstreerd in operationele omgeving

TRL 8 - Systeem compleet en gekwalificeerd

TRL 9 - Uiteindelijk systeem bewezen in operationele omgeving

3 Factsheets

In dit hoofdstuk worden de projecten uit de routekaart besproken aan de hand van een factsheet per project. De projecten die niet terugkomen in de routekaart zijn te vinden in Bijlage A.

De projecten worden op alfabetische volgorde gepresenteerd:

[Factsheet | Alta Carbon Technologies](#)
[Factsheet | Avantium Ray-technologie](#)
[Factsheet | Bareau](#)
[Factsheet | Biogate Europe](#)
[Factsheet | Biondoil](#)
[Factsheet | Biorefinery Suikerbiet](#)
[Factsheet | Biorizon 2 - Sugar/furans to functional bioaromatics](#)
[Factsheet | Chaplin](#)
[Factsheet | DSD direct processing](#)
[Factsheet | Geïntegreerde hydrolyse](#)
[Factsheet | Green Pellets](#)
[Factsheet | HydroThermal Upgrading \(HTU\)](#)
[Factsheet | Ioniga](#)
[Factsheet | Phario](#)
[Factsheet | PolyStyreneLoop](#)
[Factsheet | Pyrolyse Patpert Teknow](#)
[Factsheet | Pyrolyse Waste4ME](#)
[Factsheet | RJ Bioenergy](#)
[Factsheet | Steelanol/Torero](#)
[Factsheet | Superkritische Watervergassing \(SCW\)](#)
[Factsheet | Waste2Chemicals](#)

Factsheet | Alta Carbon Technologies

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Alta Innovation Support		
	TRL: 6	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2025
	Procesomschrijving: Productie van cyclisch organisch carbonaat uit epoxides en afgevangen CO ₂ .		
	Feedstock: Epoxide: 200 kt/j/plant Afgevangen CO ₂ : 150 kt/j/plant	Producten: Cyclisch organisch carbonaat: 347 kt/j/plant Organische bijproducten: 3 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 2 plants, 1x 350 kt/j in 2025, 1x 350 kt/j in 2028.		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

Bron informatie: Berekening (geen LCA) door Alta Innovation Support. ⁴ De voornaamste claims betreffen het circulair gebruik van CO ₂ en 80% energiebesparing ten opzichte van het conventionele proces.	
REFERENTIE	
Feedstock was anders ingezet voor: Epoxide: Geen alternatieve toepassing beschouwd. CO ₂ : Naar atmosfeer.	Vervangen product: Cyclisch organisch carbonaat: cyclisch organisch carbonaat uit fossiele grondstoffen met gangbaar proces.
CO₂-EMISSION	
Project: 0,13 kg CO ₂ -eq./kg carbonaat	Referentie: 1,06 kg CO ₂ -eq./kg carbonaat
Reductie: 0,94 kg CO ₂ -eq./kg carbonaat 325 kt CO ₂ -eq./j per plant 650 kt CO ₂ -eq./j voor 2 plants	
Reductie op Nederlands grondgebied: 90 kt CO ₂ -eq./j toename tot 210 kt CO ₂ -eq./j reductie.	
OVERIGE MILIEU-EFFECTEN	
Langdurige vastlegging van CO ₂ . Lagere NO _x -emissies dan het gangbare proces. Door transport vanuit Azië zijn emissies van CO ₂ , NO _x , SO _x en fijnstof substantieel bij het gangbare proces.	

⁴ De claims van Alta Innovation Support kunnen niet geverifieerd worden door CE Delft omdat de betreffende data vanwege vertrouwelijkheid niet verstrekt kon worden.

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investering: 90 M€

Kosteneffectiviteit: Waarschijnlijk rendabel zonder subsidie.

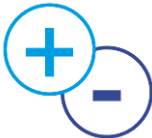
Opmerkingen: Grote spread tussen de prijs van de grondstoffen en het product. Voor de kosten van de CO₂ is gerekend met de ETS-prijs, verhoogd met 50 €/t verwerkings- en transportkosten. Alta Carbon Technologies geeft aan alleen een CAPEX-subsidie nodig te hebben voor de pilot, maar geen exploitatiesubsidie zoals de SDE++.

Factsheet | Avantium Ray-technologie

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Avantium als technologieprovider, fabrikanten van suikers of zetmeel leveren grondstof, licentiehouders bouwen en opereren plants onder licentie.		
	TRL: 6-7	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2025
	Procesomschrijving: Productie van monoethyleenglycol (MEG) en monopropyleenglycol (MPG) uit plantaardige suikers middels de Avantium Ray-technologie. De suikers bestaan uit sucrose uit suikerbiet of glucose uit zetmeel.		
	Feedstock: Suikers: 250 kt/j/plant Waterstof: 8 kt/j/plant ⁵		Producten: MEG: 100-170 kt/j/plant ⁶ MPG: 30-60 kt/j/plant
	Beoogd aantal plants: 1 plant van 250 kt/j feed.		

LEVENSCYCLUSANALYSE



Bron informatie: Avantium Ray technology press kit (Avantium, 2019). De voornaamste claim is 70% emissiereductie ten opzichte van fossiele MEG/MPG.⁷ Deze emissiereductie komt voornamelijk voort uit het gebruik van biogene koolstof, de reductie als gevolg van een zuiniger proces is beperkter.

REFERENTIE	
Feedstock was anders ingezet voor: Geen alternatieve toepassing beschouwd. ⁸	Vervangen product: MEG: Fossiele MEG MPG: Fossiele MPG
CO ₂ -EMISSIE	
Project: 0,89 kg CO ₂ -eq./kg MEG 1,65 kg CO ₂ -eq./kg MPG	Referentie: 2,97 kg CO ₂ -eq./kg MEG 5,50 kg CO ₂ -eq./kg MPG
Reductie: 2,08 kg CO ₂ -eq./kg MEG 3,85 kg CO ₂ -eq./kg MPG	

⁵ Berekening CE Delft op basis van reactievergelijking hydrogenolyse van glucose.

⁶ De yield is afhankelijk van of er glucose of sucrose gebruikt wordt. Het gepresenteerde bereik dekt beide cases af. De emissiereductie is berekend met 170 kt/j MEG en 30 kt/j MPG, maar blijft nagenoeg gelijk bij een andere verhouding.

⁷ Dit betreft initiële schattingen die CE Delft niet kan verifiëren. Avantium heeft een derde partij ingeschakeld om een ISO-gecertificeerde LCA op te leveren, maar deze was niet gereed binnen de looptijd van dit project.

⁸ De suikers zouden gebruikt kunnen worden voor food- en non-food-toepassingen; we gaan hier echter uit van additionele productie van suiker.

	468 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project
	Reductie op Nederlands grondgebied: 135 kt CO ₂ -eq./j toename tot 470 kt CO ₂ -eq./j reductie
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN
	Reduceert noodzaak tot import van MEG en MPG vanuit buiten de EU. Synergie met mogelijke groene waterstofprojecten.

KOSTENEFFECTIVITEIT

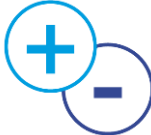
	Investering: 125 M€	Kosteneffectiviteit: Waarschijnlijk rendabel zonder subsidie.
	Opmerkingen: We hebben gerekend met de prijs voor ruwe suikerbieten, gecorrigeerd voor het suikergehalte.	

Factsheet | Bareau

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Bareau		
	TRL: 8	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2023
	Procesomschrijving: Vergisting van rioolwaterzuiveringsinstallatieslib (RWZI-slib) tot biomethaan in een hogedrukreactor (Autogenerative High Pressure Digestion). Volgens Bareau wordt ongeveer de helft van het slib in Nederland niet vergist. Bij de zuiveringen waar wel een gisting is geïnstalleerd, kan volgens Bareau met een A-trap nog eens drie keer zoveel slib gemaakt worden. Met de AHPD-technologie kan de helft van alle koolstof die een rioolwaterzuivering ingaat omgezet worden in groengas.⁹ Met uitbreiding AH2PD kan door toevoeging van externe waterstof en CO₂ alle ingaande koolstof omgezet worden in groengas. Met AH3PD kan externe CO₂ toegevoegd worden om de groengasproductie nog verder te verhogen. De AHPD-technologie is ook geschikt voor verwerking van ander biogeen afval zoals keukenafval en dierlijke mest.		
	Feedstock: RWZI-slib: 152 kt/j/plant¹⁰		Producten: Biomethaan: 37 kt/j/plant (44 miljoen Nm³)
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

	Bron informatie: Bestaande LCA van de exacte route door andere partij (van Veen, 2020). De LCA vergelijkt de bestaande situatie bij waterzuivering Amsterdam-West met een scenario waarbij de anaerobe vergisting vervangen wordt door een AHPD-reactor.	
	REFERENTIE	
	Feedstock was anders ingezet voor: RWZI-slib: Anaerobe vergisting¹¹	Vervangen product: Biomethaan: Aardgas

⁹ De uitstoot van (biogene) CO₂ van rioolwaterzuiveringen bedraagt 84 kton CO₂-eq./j per 1 miljoen inwoner-equivalenten (i.e.) verwerkt afvalwater. Nederland heeft 24 miljoen i.e. aan zuiveringscapaciteit voor rioolwater (CBS, 2020) en nog eens een kleine 14 miljoen i.e. bij bedrijven (CBS, 2015), goed voor meer dan 3 Mton biogene CO₂-uitstoot. Deze CO₂ zou omgezet kunnen worden in groengas. De exacte netto CO₂-reductie moet vastgesteld worden met een LCA.

¹⁰ Gewicht gebaseerd op droge stof.

¹¹ De CO₂-reductie is hoger als er in de bestaande situatie nog geen vergister is geïnstalleerd en het slib volledig wordt verbrand.

	CO₂-EMISSION	
	Project: -0,009 kg CO ₂ -eq./kg slib ¹²	Referentie: 0,372 kg CO ₂ -eq./kg slib
	Reductie: 0,380 kg CO ₂ -eq./kg slib 58 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project	
	Reductie op Nederlands grondgebied: Zowel project als referentie vrijwel geheel in Nederland, vrijwel de gehele reductie zal in Nederland terechtkomen.	
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN	
	Terugwinning van nutriënten. Minder resterend digestaat, dus minder slibtransport. Schoner digestaat, dus lagere verwerkingskosten. Minder emissies van overige broeikasgassen door gesloten systeem. Lagere NO _x -emissie doordat geen wkk meer nodig is.	

KOSTENEFFECTIVITEIT

	Investing: 74 M€ ¹³	Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig
	Opmerkingen: Bareau gebruikt het restproduct RWZI-slib als input. We nemen voor de berekening aan dat Bareau geen geld krijgt voor het verwerkte slib, al zal dat in de praktijk wel zo zijn. Bareau geeft aan geen subsidie nodig te hebben bij voldoende schaalgrootte.	

¹² De CO₂-emissie voor de AHPD-reactor is negatief omdat er meer fossiele CO₂ wordt vermeden door de productie van biomethaan dan de uitstoot van het proces zelf.

¹³ Gebaseerd op een openbare kostenschatting (Experiment Krewerd, 2019), met aftrek van de kosten van een elektrolyser en de bedrijfskosten. We hebben een schaalfactor van 0,7 toegepast.

Factsheet | Biogate Europe

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: GI Dynamics		
	TRL: 8-9	Concreetheid: Waarschijnlijk in Delta	Realisatie: 2025
	Procesomschrijving: Productie van ethyleenoxide, glycol en PPL uit bio-ethanol middels een nieuw proces.		
	Feedstock: Ethanol: 240 kt/j/plant Houtpellets en/of RDF-pellets: ¹⁴ 140 kt/j/plant	Producten: Ethyleenoxide (EO): 40 kt/j/plant Monoethyleenglycol (MEG): 50 kt/j/plant Polypropiolactone (PPL): 180 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENS CYCLUSANALYSE

Bron informatie: GI Dynamics heeft een LCA uit laten voeren conform ISO 14044. Omdat een deel van het productieproces is voorzien van CCU, zijn de emissies van de productie negatief. Indien CCU niet wordt toegepast vallen de emissies 146 kt CO₂-eq. hoger uit.

REFERENTIE

Feedstock was anders ingezet voor:

Geen alternatieve toepassing beschouwd.

Vervangen product:

EO: Fossiel EO

MEG: Fossiel MEG

PPL: Fossiel polypropyleen¹⁵

CO₂-EMISSION

Project:

-0,35 kg CO₂-eq./kg EO

-0,44 kg CO₂-eq./kg MEG

-0,76 kg CO₂-eq./kg PPL

Referentie:

3,92 kg CO₂-eq./kg EO

2,38 kg CO₂-eq./kg MEG

4,76 kg CO₂-eq./kg PPL

Reductie:

4,27 kg CO₂-eq./kg EO

2,82 kg CO₂-eq./kg MEG

5,11 kg CO₂-eq./kg PPL

1232 kt CO₂-eq./j voor volledig project

Reductie op Nederlands grondgebied: Tussen de 70 en 1010 kt CO₂-eq./j reductie.

¹⁴ Refuse Derived Fuel (RDF) is een mix van de brandbare bestanddelen uit afval, o.a. papier, plastic en rubber.

¹⁵ PPL kan ook gebruikt worden voor de productie van acrylzuur (glacial acrylic acid).

	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN
	Minder import van glycol, glacial acrylic acid en polypropyleen noodzakelijk Goede synergie met lokale productie van ethanol

KOSTENEFFECTIVITEIT

	Investering: 550 M€	Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig
	Opmerkingen: Biogate Europe geeft aan in de basis kosteneffectief te zijn, maar mogelijk subsidie nodig te hebben.	

Factsheet | Biondoil

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Biondoil		
	TRL: 8	Concreetheid: Zeker in Delta	Realisatie: 2025
	Procesomschrijving: Biondoil is voornemens een fabriek op de Maasvlakte te bouwen voor bioraffinage van houtchips naar ethanol, lignine, furfural en azijnzuur.		
	Feedstock: Houtchips: 440 kt/j/plant	Producten: Ethanol: 80 kt/j/plant Lignine: 221 kt/j/plant Furfural: 21 kt/j/plant Azijnzuur: 13 kt/j/plant CO ₂ : 78 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENS CYCLUS ANALYSE



Bron informatie: Bestaande LCA van de exacte route door CE Delft (vertrouwelijk) volgens de RED II-richtlijn, aangevuld met berekeningen voor de impacts van vermeden producten.	
REFERENTIE	
Feedstock was anders ingezet voor: Geen alternatieve toepassing beschouwd.	Vervangen product: Ethanol: Fossiele benzine Lignine: Aardgas (energie) Furfural: Biobased furfural Azijnzuur: Fossiel azijnzuur CO ₂ : Geen alternatief beschouwd ¹⁶
CO₂-EMISSION	
Project: 218 kt CO ₂ -eq./j voor alle producten samen.	Referentie: 518 kt CO ₂ -eq./j totaal 199 kt CO ₂ -eq./j ethanol 263 kt CO ₂ -eq./j lignine 40 kt CO ₂ -eq./j azijnzuur

¹⁶ Zuivere CO₂ kan gebruikt worden in de glastuinbouw. Dit levert een CO₂-reductie op van naar schatting 0,2-0,5 t CO₂-eq./t CO₂, totaal 16-39 kton CO₂-eq./j. Het is niet duidelijk of deze reductie binnen de RED II meegenomen mag worden en of deze dan ten deel valt aan Biondoil of aan de glastuinbouw.

	Geen reductie voor furfural ¹⁷
	Reductie: 300 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project
	Reductie op Nederlands grondgebied: 145 kt CO ₂ -eq./j toename tot 270 kt CO ₂ -eq./j reductie
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN
	Mogelijkheid tot negatieve emissies bij vastlegging CO ₂ .

KOSTENEFFECTIVITEIT

	Investering: >250 M€	Kosteneffectiviteit: Waarschijnlijk rendabel zonder subsidie
	Opmerkingen: Biondoil geeft aan mogelijk wel subsidie nodig te hebben.	

¹⁷ We hebben niet genoeg gegevens over de gebruikelijke productie van biobased furfural en het proces van Biondoil om de uitstoot in detail te kunnen vergelijken, daarom hebben we aangenomen dat de uitstoot vergelijkbaar is.

Factsheet | Biorefinery Suikerbiet

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Cosun Beet Company en technologieprovider voor biorefinery		
	TRL: 8	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2025
	Procesomschrijving: Productie van PLA (polylactic acid) vanuit suikerbieten. Cosun Beet Company zoekt naar nieuwe manieren om bieten te verwaarden. Diverse voorbeelden zijn al in de praktijk gebracht zoals productie van ethanol uit diksap en biogas vanuit bietenpunten. Een nieuwe ontwikkeling is het product Betafib vanuit bietenpulp om stromingsgedrag van vloeistoffen te beïnvloeden. Ook vanuit kristalsuiker zijn zeer veel mogelijkheden. Aangezien nog geen concrete projecten in de planning zitten, is PLA hier als voorbeeld gebruikt.		
	Feedstock: Suikerbiet: 100 kt/j/plant		Producten: PLA: 44 kt/j/plant
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

	Bron informatie: Bestaande LCA van sterk vergelijkbare route (proxy) door andere partij (Vera, et al., 2019).		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: Geen alternatieve toepassing beschouwd		Vervangen product: PLA: Fossiel polystyreen ¹⁸
	CO₂-EMISSION		
	Project: 1,2 kg CO ₂ -eq./kg PLA (productie)		Referentie: 2,2 kg CO ₂ -eq./kg PS (productie) 3,4 kg CO ₂ -eq./kg PS (end-of-life)
	Reductie: 4,5 kg CO ₂ -eq./kg PLA incl. opgeslagen biogene koolstof 194 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project		
	Reductie op Nederlands grondgebied: 50 kt CO ₂ -eq./j toename tot 95 kt CO ₂ -eq./j reductie		
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN		
	Suikerbieten hebben een kleiner landgebruik dan suiker uit suikerriet of glucose-siroop, daarnaast is de bijdrage aan overbemesting en verzuring lager en is het watergebruik lager (de Crom, et al., 2020).		

¹⁸ We hebben aangenomen dat 1 kg PLA 1 kg polystyreen vervangt.

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investering: 146 M€

Kosteneffectiviteit: Waarschijnlijk rendabel zonder subsidie.

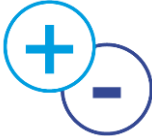
Opmerkingen: Hoge spread tussen grondstofkosten en opbrengsten van het product. De investering is gebaseerd op de kosten van een biorefinery met vergelijkbare feedstock en producten plus de kosten van een PLA-fabriek.

Factsheet | Biorizon 2 - Sugar/furans to functional bioaromatics

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Biorizon, TNO		
	TRL: 5	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2027
	Procesomschrijving: Productie van gefunctionaliseerde bioaromaten uit suiker of furanen.		
	Feedstock: Furanen en maleic anhydride: gezamenlijk 30-38 kt/j/plant	Producten: 3-methylphthalic anhydride (MPAn): 26-30 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENSCYCLUSANALYSE

	Bron informatie: Mini-LCA door CE Delft op basis van aangeleverde gegevens door Biorizon.	
	REFERENTIE	
	Feedstock was anders ingezet voor: Geen alternatieve toepassing beschouwd in LCA. ¹⁹	Vervangen product: MPAn: fossiel phthalic anhydride (PAn).
	CO ₂ -EMISSION	
	Project: 1,49 kg CO ₂ -eq./kg MPAn	Referentie: ²⁰ 2,6 kg CO ₂ -eq./kg PAn (productie) 2,2 kg CO ₂ -eq./kg PAn (end-of-life)
	Reductie: 3,1 kg CO ₂ -eq./kg MPAn 94 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project	
	Reductie op Nederlands grondgebied: 30 kt CO ₂ -eq./j toename tot 70 kt CO ₂ -eq./j reductie	
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN	
	Bio-MPAn heeft een gelijkaardig toxicologisch profiel als conventioneel PAn.	

¹⁹ Furanen en maleic anhydride worden gemaakt uit bagasse of plantenresten van maïssteelt die anders na bewerking als laagcalorisch veevoer of brandstof hadden gediend.

²⁰ 1 kg 3-methylphthalic anhydride vervangt 0,91 kg phthalic anhydride.

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investing: 64 M€

Kosteneffectiviteit: Niet vast te stellen

Opmerkingen: Zowel de grondstoffen als de producten van Biorizon Horizon 2 zijn specialty chemicals waar we geen betrouwbare openbare prijsinformatie voor hebben kunnen vinden.

Factsheet | Chaplin

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Chaplin consortium ('Collaboration in aspHalt Applications with LigniN'): Rijkswaterstaat, provincies Zuid-Holland, Noord-Brabant, Zeeland, Overijssel en Gelderland, gemeenten Bergen op Zoom en Wageningen, Dura Vermeer, H4A, NTP, Latexfalt, Roelofs Groep, TWW, Vertoro, Avantium, Praj, Biondoil, LXP, Boskalis, Universiteit van Utrecht, Asfalt Kennis Centrum (AKC), Wageningen Food and Biobased Research (WFBR), Q8 Research, TNO.		
	TRL: 6	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2023-2030
	Procesomschrijving: Gebruik van lignine als binder in asfalt ter vervanging van bitumen uit aardolie.		
	Feedstock: Lignine: 7 kt/j/plant		Producten: Lignine in asfalt: 7 kt/j/plant
	Beoogd aantal plants: 20 plants: 2x 7 kt/j in 2023, 2x 7 kt/j in 2025, 4x 7 kt/j in 2027, 12x 7 kt/j in 2030. Het opschalingspad leidt tot 50% vervanging van bitumen door lignine in 2030. Sleutelfactoren in de realisatie hiervan zijn het gecertificeerd krijgen van lignine voor alle asfaltlagen, de opschaling van 50% lignine/50% bitumen naar 100% lignine en de beschikbaarheid van voldoende duurzame lignine.		

LEVENS CYCLUSANALYSE

	Bron informatie: Bestaande LCA van de exacte route door andere partij (Khandelwal, 2019). ²¹		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: Lignine anders verbrand in Steam Explosion biorefinery.		Vervangen product: Lignine in asfalt vervangt fossiel bitumen.
	CO₂-EMISSION		
	Project: 62,7 kg CO ₂ -eq./t asfalt		Referentie: 72,2 kg CO ₂ -eq./t asfalt
	Reductie: 9,5 kg CO ₂ -eq./t asfalt 51 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project		
	Reductie op Nederlands grondgebied: 40 kt CO ₂ -eq./j reductie		

²¹ Dit betreft een verkennende LCA, die gemaakt is met beperkt beschikbare data. Er is een nieuwe, meer gedetailleerde LCA in de maak die naar verwachting in juni 2021 gereed is.

	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN
	Langdurige vastlegging van biogeen koolstof. Lagere verwerkingstemperatuur biedt mogelijkheden voor verduurzaming asfaltcentrale. Langere levensduur en lagere rolweerstand kunnen nog extra positieve effecten opleveren. Dit is nog niet bewezen maar wel een doel in de innovatie.

KOSTENEFFECTIVITEIT

	Investing: 200 k€ per plant van 7 kt/j	Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig.
	Opmerkingen: Chaplin creëert vraag naar lignine voor hoogwaardige toepassingen, wat de businesscase van biorefineries ook ten goede komt.	

Factsheet | DSD direct processing

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: DSD BV		
	TRL: 7	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2023
	Procesomschrijving: Verwerking van suikerbiet en mais tot ethanol, met voorbewerking van feedstock voor vergisting middels DSD-vacuümtechnologie.		
	Feedstock: Suikerbiet: 440 kt/j/plant Mais: 69 kt/j/plant	Producten: Ethanol: 55 kt/j/plant Groengas: 26 kt/j/plant CO ₂ : 16 kt/j/plant Digestaat: 87 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

Bron informatie: Berekening (geen LCA) door DSD BV. De CO₂-balans is door CE Delft gecorrigeerd zodat deze in lijn is met de overige projecten in dit rapport.

REFERENTIE

Feedstock was anders ingezet voor:

De teelt van suikerbiet en mais is additioneel aan de bestaande teelt. Er hoeft dus geen product vervangen te worden.

Vervangen product:

Ethanol: Fossiele benzine

Groengas: Aardgas

CO₂: Geen vervangen product

Digestaat: Kunstmest

CO₂-EMISSION

Project:

66 kt CO₂-eq. totaal grondstoffen en utilities²²

Referentie:

138 kt CO₂-eq. voor benzine

61 kt CO₂-eq. voor aardgas

78 kt CO₂-eq. voor kunstmest

Reductie: 211 kt CO₂-eq./j voor volledig project

Reductie op Nederlands grondgebied:

65 kt CO₂-eq./j toename tot 190 kt CO₂-eq./j reductie

²² Bij gebruik van 100% hernieuwbare elektriciteit is de footprint 22 kton CO₂-e.q lager. Daarnaast wordt er nog een hoeveelheid CO₂ vastgelegd in de bodem. De cijfers van de bodemvastlegging zijn nog niet definitief en zijn in deze studie niet meegenomen.

	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN
	Minder gebruik van kunstmest. Naar schatting van DSD >50% reductie van stikstof (NH₂, N₂O, NO₃, NO₂). Bietenteelt in de gewasrotatie geeft grondverbetering. Mogelijkheid tot negatieve emissies bij vastlegging CO₂.

KOSTENEFFECTIVITEIT

	Investering: 94 M€	Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig.
	Opmerkingen: -	

Factsheet | Geïntegreerde hydropyrolyse

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Meerdere bedrijven/consortia bezig met vergelijkbare projecten: Shell, Fraunhofer, Obbotec		
	TRL: 6	Concreetheid: Misschien in Delta	Realisatie: 2022
	Procesomschrijving: Verwerking van plastic/mixed biomassa middels geïntegreerde hydropyrolyse.		
	Feedstock: RDF: 50 kt/j/plant		Producten: Diesel ²³ : 8,4 kt/j/plant Syngas: 16 kt/j/plant
	Beoogd aantal plants: Meerdere opschalingsfabrieken t/m 2022, totaal 50 kton/j. Verdere opschaling met meerdere kleine plants gepland na 2022, niet meegenomen in deze studie.		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

	Bron informatie: Bestaande LCA van sterk vergelijkbare route (proxy) door CE Delft (2017).		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: RDF: verbranding in afvalenergiecentrale		Vervangen product: Diesel: fossiele diesel Syngas: syngas uit aardgas
	CO₂-EMISSION		
	Project: -1,7 kg CO ₂ -eq./kg feed (proces + vermeden producten)		Referentie: 0,1 kg CO ₂ -eq./kg feed (proces + vermeden producten)
	Reductie: 1,7 kg CO ₂ -eq./kg feed 87 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project		
	Reductie op Nederlands grondgebied: 5 tot 80 kt CO ₂ -eq./j reductie		
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN		
	Lagere zwavelemissies (SO _x) bij gebruik als scheepsdiesel.		

²³ Het dieselproduct kan mogelijk verkocht worden als 'recycled carbon fuel' onder de RED II, de details van de wetgeving zijn echter nog niet duidelijk.

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investing: 35 M€

Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig.

Opmerkingen: Inschatting van de investeringskosten is gebaseerd op een openbare kostenraming van de Shell IH²-technologie door de Amerikaanse NREL. We nemen aan dat er geen inkomsten zijn voor de verwerking van RDF.

Factsheet | Green Pellets

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Viride		
	TRL: 4	Concreetheid: Niet in Delta, maar mogelijk in Brazilië. Product wordt wel gebruikt in NL'se biorefinery van RJ Bioenergy	Realisatie: 5 x 100 kton/j in 2025, 5 x 100 kton/j in 2030 ²⁴
	Procesomschrijving: Lokale voorbehandeling van bagasse tot weerbestendige pellets die makkelijk verscheept kunnen worden als feed voor biorefineries. Dit levert een besparing van 30% op transport op.²⁵ De voorbehandeling van de feedstock in de biorefinery wordt dus effectief verplaatst naar de locatie waar de biomassa vandaan komt. De omzetting van biomassa in weerbestendige pellets met een hogere dichtheid maakt biomassa tot een commodityproduct. Deze standaardisatie verbetert de verhandelbaarheid en draagt bij aan betere prijzen en beschikbaarheid van biomassa.		
	Feedstock: Bagasse: 100 kt/j/plant		Producten: Green Pellets: 85 kt/j/plant
	Beoogd aantal plants: 5 plants in 2025, nog eens 5 plants in 2030.		

LEVENSICYCLUSANALYSE

	Bron informatie: Mini-LCA door CE Delft op basis van aangeleverde gegevens. Besparing komt volledig door 30% lager transportvolume.		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: Bagasse: Feed voor biorefinery		Vervangen product: Green Pellets: Bagasse pellets
	CO ₂ -EMISSION		
	Project: 17,2 kt CO ₂ -eq./j/plant		Referentie: 24,6 kt CO ₂ -eq./j/plant
	Reductie: 7,4 kt CO ₂ -eq./j/plant 74 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project		
	Reductie op Nederlands grondgebied: Geen invloed, zowel project als referentie geheel buiten Nederland.		

²⁴ De biorefinery van RJ Bioenergy zal gevoed worden met Green Pellets. De opschaling van Green Pellets hangt dan ook sterk samen met de opschaling van RJ Bioenergy.

²⁵ Claim van Viride, kan niet geverifieerd worden door CE Delft

	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN
	Minder NO _x /SO _x doordat er minder binnenlands vervoer en scheepstransport nodig is.

KOSTENEFFECTIVITEIT

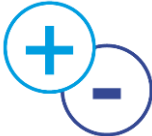
	Investing: 16 M€ per plant van 100 kt/j bagasse input.	Kosteneffectiviteit: Niet vast te stellen.
	Opmerkingen: De specificaties van de geproduceerde pellets zijn niet bekend, daarom is het niet mogelijk een productprijs op te stellen.	

Factsheet | HydroThermal Upgrading (HTU)

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: HTU BV, GPL BV, Biofuel BV, TNO		
	TRL: 7	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2023
	Procesomschrijving: Pyrolyse van natte reststromen middels Shell HTU-proces (Hydrothermal Upgrading).		
	Feedstock: Natte biomassa: 35 kt/j/plant	Producten: Lichte biocrude: 11 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 1 plant. HTU heeft de ambitie om in 2030 6 plants van 250 kt/j biomassa gerealiseerd te hebben, maar hier zijn nog geen concrete plannen voor.		

LEVENS CYCLUSANALYSE

	Bron informatie: Berekening (geen LCA) door HTU. De berekening gaat uit van vervanging van zware stookolie door lichte biocrude met dezelfde hoeveelheid energie. Er wordt geen rekening gehouden met gebruikte elektriciteit of het alternatieve gebruik van de biomassa, de daadwerkelijke emissiereductie zal dus lager liggen.	
	REFERENTIE	
	Feedstock was anders ingezet voor: Geen alternatieve toepassing voor feedstock beschouwd.	Vervangen product: Lichte biocrude: zware stookolie
	CO ₂ -EMISSION	
	Project: 0 kg CO ₂ -eq./kg feed	Referentie: 1,1 kg CO ₂ -eq./kg feed
	Reductie: 1,1 kg CO ₂ -eq./kg feed 40 kt CO ₂ -eq./j per plant	
	Reductie op Nederlands grondgebied: 0-30 kt CO ₂ -eq./j reductie	
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN	
	Niet geïdentificeerd.	

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investering: 28 M€

Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig.

Opmerkingen: We nemen aan dat er geen inkomsten zijn voor de verwerking van natte biomassa, maar dat hier ook niet voor betaald hoeft te worden.

Factsheet | Ioniqa

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Ioniqa		
	TRL: 8	Concreetheid: Waarschijnlijk in Delta	Realisatie: 2025
	Procesomschrijving: Recycling van PET door magnetische depolymerisatie.		
	Feedstock: PET: 40 kt/j/plant	Producten: BHET: 50 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENSCYCLUSANALYSE



Bron informatie: Screening-LCA CE Delft (2018b). We gaan uit van de lineaire vergelijking, die ligt het meest in lijn met de andere LCAs in deze studie. De lineaire vergelijking gaat ervan uit dat het gerecyclede product na één levenscyclus verbrand wordt. Het product van Ioniqa gaat meerdere cycli mee, dus de hier gepresenteerde besparing is conservatief ingeschat.

REFERENTIE	
Feedstock was anders ingezet voor: PET: Verbranding in afvalenergiecentrale	Vervangen product: BHET: Virgin fossiel PET
CO₂-EMISSION	
Project: -1,5 kg CO ₂ -eq./kg PET	Referentie: 1,5 kg CO ₂ -eq./kg PET
Reductie: 3,0 kg CO ₂ -eq./kg PET 148 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project	
Reductie op Nederlands grondgebied: 20-40 kt CO ₂ -eq./j reductie	
OVERIGE MILIEU-EFFECTEN	
Minder NO _x -emissies door voorkomen van fossiele productie en end-of-life-verbranding.	

KOSTENEFFECTIVITEIT

	Investerings: 37 M€	Kosteneffectiviteit: Niet vast te stellen.
	Opmerkingen: We hebben geen up-to-date en accurate prijsinformatie kunnen vinden voor gekleurd afval-PET en BHET. Ioniqa geeft aan geen subsidie nodig te hebben.	

Factsheet | Phario

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Paques, waterschappen, HVC, Innovation Quarter, provincie Zuid-Holland		
	TRL: 6	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2027
	Procesomschrijving: Phario staat voor PHA uit RIOolwater en betreft de productie van het biopolymeer PHBV uit rioolwaterslib en vetzuren.		
	Feedstock: RWZI-slib: 122 kt/j/plant	Producten: PHA: 5 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENSICYCLUSANALYSE

	Bron informatie: Bestaande cradle-to-gate LCA van sterk vergelijkbare route (proxy) door Nova Institute (2012) ²⁶ .		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: RWZI-slib: Anearobe digestatie		Vervangen product: PHA: fossiel LDPE
	CO ₂ -EMISSION		
	Project: 0,0 kg CO ₂ -eq./kg PHA		Referentie: 3,2 kg CO ₂ -eq./kg LDPE
	Reductie: 4,9 kg CO ₂ -eq./kg PHA ²⁷ 25 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project		
	Reductie op Nederlands grondgebied: 0-20 kt CO ₂ -eq./j reductie		
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN		
	Lager landgebruik ten opzichte van PHA met vetzuren uit reïnculturen. CO ₂ -emissiereductie mogelijk nog veel hoger in specifieke toepassingen (bijv. coating van meststoffen of zelfhelend beton).		

²⁶ Dit betreft een meta-analyse van bestaande LCAs. Phario gebruikt geen vetzuren uit reïnculturen, wat een voordeel is. Daarentegen wordt RWZI-slib normaliter omgezet in biogas, wat nu niet gebeurt. De verwachting is dat deze twee effecten elkaar min of meer opheffen.

²⁷ Inclusief vermeden fossiele end-of-life-emissies.

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investeringskosten: Onbekend

Kosteneffectiviteit: Niet vast te stellen.

Opmerkingen:

Zonder investeringskosten is de kosteneffectiviteit niet te bepalen.

Factsheet | PolyStyreneLoop

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: PolyStyreneLoop, ICL		
	TRL: 6	Concreetheid: Waarschijnlijk in Delta	Realisatie: 2024
	Procesomschrijving: Recycling van broomhoudend Expanded Polystyrene (EPS) met broomhoudende vlamvertragers door solvent based purification. In de toekomst is recycling van andere kunststoffen met broomhoudende vlamvertragers ook mogelijk.		
	Feedstock: EPS: 10 kt/j/plant		Producten: PS: 9,99 kt/j/plant Broom: 0,005 kt/j/plant
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

	Bron informatie: Bestaande LCA van het exacte proces door TÜV Rheinland (2019). ²⁸		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: EPS: Verbranding in afvalenergiecentrale		Vervangen product: PS: Virgin fossiel PS Broom: Virgin broom
	CO ₂ -EMISSION		
	Project: 3,4 kg CO ₂ -eq./kg EPS		Referentie: 6,5 kg CO ₂ -eq./kg EPS
	Reductie: 3,0 kg CO ₂ -eq./kg EPS 30 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project		
	Reductie op Nederlands grondgebied: 20-25 kt CO ₂ -eq./j reductie		
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN		
	Lagere impacts op zoetwater overbemesting, zomersmog, uitputting van grondstoffen, giftigheid voor mensen en giftigheid voor zoetwaterecosystemen.		

²⁸ De LCA beschouwt de complete keten van sloop van gevelisolatie tot verwerking tot nieuw polystyreen. De energie om EPS te scheiden van de overige componenten in de gevelisolatie is dus ook meegenomen.

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investering: 18 M€

Kosteneffectiviteit: Waarschijnlijk rendabel zonder subsidie.

Opmerkingen: We hebben geen kosten of opbrengsten gerekend voor het verwerkte EPS. Zowel het gerecyclede EPS als het broom kan tegen een goede prijs verkocht worden.

Factsheet | Pyrolyse Patpert Teknow

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Patpert Teknow, BeWa, Goodfuels		
	TRL: 7	Concreetheid: Zeker in Delta	Realisatie: 2021
	Procesomschrijving: Plastic afval wordt door middel van pyrolyse gedepolymeriseerd tot synthesesegas, ruwe olie en char. Het synthesesegas wordt volledig ingezet voor de eigen energiebehoefte van de installatie. De ruwe olie dient als vervanging voor aardolie en kan verder geraffineerd worden tot scheepsbrandstof of worden gebruikt als voeding voor stoomkrakers.		
	Feedstock: Waste plastics: 15 kt/j/plant		Producten: Ruwe olie: 11 kt/j/plant Char: 2 kt/j/plant
	Beoogd aantal plants: 2 plants		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

	Bron informatie: LCA van exacte route door Avans Hogeschool, in opdracht van Patpert Teknow.		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: Waste plastics: Verbranding in afvalenergiecentrale		Vervangen product: Ruwe olie: Aardolie Char: Steenkool
	CO ₂ -EMISSION		
	Project: 0,10 kg CO ₂ -eq./kg feed		Referentie: 0,66 kg CO ₂ -eq./kg feed
	Reductie: 0,56 kg CO₂-eq./kg feed 8,4 kt CO₂-eq./j per plant 17 kt CO₂-eq./j voor het volledig project		
	Reductie op Nederlands grondgebied: Niet te berekenen, LCA niet opgedeeld in levensfasen.		
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN		
	Terugwinning van metalen mogelijk.		

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investing: 20 M€

Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig

Opmerkingen: We hebben geen kosten of opbrengsten gerekend voor het verwerkte plastic. Patpert Teknow streeft ernaar om de poorttarieven voor ingenomen kunststof na afloop van de opstartfase tot een minimum te reduceren.

Factsheet | Pyrolyse Waste4ME

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Jansen Shredder Recycling BV, SABIC, Port of Moerdijk, Dow Chemical, TNO, CBM, Innomax, Van Der Kooy Pijnacker BV en anderen.		
	TRL: 7	Concreetheid: Waarschijnlijk in Delta	Realisatie: 2022
	Procesomschrijving: Verwerking van mixed plastics middels conventionele pyrolyse (Waste 4 Mobile Energy). Olie wordt verkocht voor gebruik in de chemie, het geproduceerde gas wordt deels lokaal verbrand in een gasmotor, het overschot wordt verkocht als nafta.		
	Feedstock: Afvalplastic DKR-350: 35 kt/j/plant		Producten: Pyrolyseolie: 7 kt/j/plant Gas: 447.000 GJ/j (10 kt/j/plant)
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

	Bron informatie: LCA door Valentin Contin van Waste4ME volgens ISO14044. Een meer gedetailleerde versie van deze LCA is in de maak, maar was niet gereed voor afronding van dit project.		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: Afvalplastic: Verbranding in afvalenergiecentrale		Vervangen product: Pyrolyseolie: Heavy Fuel Oil Gas: Fossiele nafta
	CO ₂ -EMISSION		
	Project: -0,44 kg CO ₂ -eq./kg feed		Referentie: 1,24 kg CO ₂ -eq./kg feed
	Reductie: 1,68 kg CO ₂ -eq./kg feed 59 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project		
	Reductie in Nederland: Niet te berekenen, LCA nog niet opgedeeld in levensfasen.		
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN		
	Minder schade aan ecosystemen en lagere impact op beschikbaarheid van hulpbronnen dan verbranding in een afvalenergiecentrale.		

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investing: 31 M€

Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig.

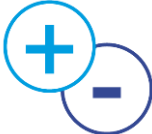
Opmerkingen: We hebben geen kosten of opbrengsten gerekend voor het verwerkte plastic. Waste4ME heeft een eigen businesscase opgesteld, die gunstige resultaten laat zien.

Factsheet | RJ Bioenergy

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: RJ Bioenergy, Raïzen		
	TRL: 8	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: Eerste plant in 2025, tweede in 2030
	Procesomschrijving: Productie van ethanol en PLA uit Braziliaanse bagasse, een restproduct uit de rietsuikerindustrie.		
	Feedstock: Green Pellets: 350 kt/j/plant	Producten: Ethanol: 58 kt/j/plant PLA: 121 kt/j/plant ²⁹	
	Beoogd aantal plants: 2 plants, 1 x 350 kt/j in 2025 en 1 x 350 kt/j in 2030 ³⁰		

LEVENS CYCLUSANALYSE

	Bron informatie: Bestaande LCA van sterk vergelijkbare route (proxy) door andere partij (Vera, et al., 2019).	
	REFERENTIE	
	Feedstock was anders ingezet voor: Bagasse: Verbranding in suikerfabriek	Vervangen product: Ethanol: Fossiele benzine Lactide: Fossiel polystyreen (PS)
	CO ₂ -EMISSION	
	Project: 1,2 kg CO ₂ -eq./kg PLA 27 g CO ₂ -eq./MJ ethanol	Referentie: 5,6 kg CO ₂ -eq./kg PS 93 g CO ₂ -eq./MJ benzine
	Reductie: 4,5 kg CO ₂ -eq./kg PLA ³¹ 66 g CO ₂ -eq./MJ ethanol 640 kt CO ₂ -eq./j per plant 1280 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project	
	Reductie op Nederlands grondgebied: 240 kt CO ₂ -eq./j toename tot 1.140 kt CO ₂ -eq./j reductie	

²⁹ We hebben aangenomen dat 1 kg PLA 1 kg polystyreen vervangt.

³⁰ De financiering en realisatie van de tweede plant is afhankelijk van de vraag naar ethanol vanuit de mobiliteit en de chemie. De huidige voorspellingen van de vraag aan het eind van de jaren '20 zijn groot: enerzijds is rol van bijmenging van ethanol in benzine onzeker door het aflopen van de RED II in 2030, anderzijds is de rol van ethanol als platformchemicalie in de biobased economy ook nog onduidelijk.

³¹ Inclusief vermeden fossiele end-of-life-emissies. Dit geldt ook voor ethanol.

	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN
	Niet geïdentificeerd.

KOSTENEFFECTIVITEIT

	Investering: 588 M€	Kosteneffectiviteit: Waarschijnlijk rendabel zonder subsidie.
	Opmerkingen: Green Pellets en RJ Bioenergy zijn gekoppelde projecten, de bagasse pellets worden door Green Pellets tegen kostprijs aan RJ Bioenergy geleverd. De investeringskosten zijn gebaseerd op een biorefinery met vergelijkbare feedstock en producten plus de kosten van een PLA-fabriek.	

Factsheet | Steelanol/Torero

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: ArcelorMittal, Lanzatech		
	TRL: 8	Concreetheid: Zeker in Delta	Realisatie: 2023
	Procesomschrijving: Torero vervangt solid fuel en fossiele steenkool door biocokes uit houtige biomassa. De biocokes worden gebruikt voor staalproductie in de hoogovens van ArcelorMittal Gent (België). Een deel van de resulterende restgassen uit de hoogovens wordt door Steelanol omgezet in ethanol middels anaërobe gasfermentatie. Deze ethanol kan fossiele benzine vervangen. De hoogovengassen zouden anders verbrand worden in een elektriciteitscentrale.		
	Feedstock: Houtige biomassa: 87 kt/j/plant		Producten: Ethanol: 65 kt/j/plant
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENSICYCLUSANALYSE

	Bron informatie: Energie- en massabalans van proces ontvangen van ArcelorMittal		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: Geen alternatieve toepassing beschouwd		Vervangen product: Ethanol: Fossiele benzine
	CO ₂ -EMISSION		
	Project: 1,5 kg CO ₂ -eq./kg ethanol ³²		Referentie: 4,0 kg CO ₂ -eq./kg ethanol ³³
	Reductie: 2,5 kg CO ₂ -eq./kg ethanol 163 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project (246 kt CO ₂ -eq./j bij gebruik van groene stroom)		
	Reductie op Nederlands grondgebied: 0-130 kt CO ₂ -eq./j reductie		
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN		
	Reductie PM-, SO _x - en NO _x -emissies tot 85%.		

³² We rekenen de volgende emissies voor het project mee: de transportemissies van de biomassa, het energieverbruik van het proces en de verminderde elektriciteitsproductie.

³³ De emissies van de referentie bestaan uit de Well-to-Wheel CO₂-emissies van de vervangen benzine en de emissies van de vervangen solid fuel en steenkool.

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investering: 165 M€

Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig.

Opmerkingen: -

Factsheet | Superkritische Watervergassing (SCW)

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: SCW-Systems, Gasunie		
	TRL: 7	Concreetheid: Mogelijk in Delta	Realisatie: 2023
	Procesomschrijving: Vergassing van afval in superkritisch water. Er kan een breed scala aan afval verwerkt worden met de SCW-technologie: RWZI-slib, GFT-afval papier of plastics. Verschillende types afval leveren een verschillende gassamenstelling. SCW Systems focust nu op maximale methaanproductie voor directe invoeding in het hogedruk gasnet als groengas. Er kan echter ook meer waterstof en CO₂ geproduceerd worden en minder methaan. Bij verwerking van plastic afval ontstaat er een aanzienlijke stroom hogere koolwaterstoffen.		
	Feedstock: RWZI slib: 150 kt/j/plant		Producten: Methaan: 35 kt/j/plant ofwel zo'n 40 miljoen Nm³/j
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENS CYCLUS ANALYSE

	Bron informatie: Mini-LCA door CE Delft op basis van gegevens aangeleverd door initiatiefnemers route (CE Delft, 2019a).		
	REFERENTIE		
	Feedstock was anders ingezet voor: RWZI-slib: verbranding in afvalenergiecentrale		Vervangen product: Methaan: fossiel aardgas
	CO ₂ -EMISSION		
	Project: 3 kg CO ₂ -eq./GJ methaan		Referentie: 75 kg CO ₂ -eq./GJ methaan
	Reductie: 72 kg CO ₂ -eq./GJ methaan 126 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project		
	Reductie op Nederlands grondgebied: 80-120 kt CO ₂ -eq./j reductie		
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN		
	Lagere afhankelijkheid van geïmporteerd gas. Mogelijkheid voor negatieve emissies bij vastlegging CO ₂ .		

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investering: 54 M€

Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig.

Opmerkingen: We hebben geen kosten of opbrengsten gerekend voor het gebruikte RWZI-slib. SCW Systems geeft aan op termijn geen subsidie nodig te hebben voor de verwerking van RWZI-slib tot groengas.

Factsheet | Waste2Chemicals

OMSCHRIJVING PROCES

	Partners: Enerkem, Nouryon, Air Liquide, Shell, Havenbedrijf Rotterdam		
	TRL: 8	Concreetheid: Waarschijnlijk in Delta	Realisatie: 2025
	Procesomschrijving: Productie methanol uit syngas door vergassing van restafval.		
	Feedstock: Huisvuil: 360 kt/j/plant	Producten: Methanol: 220 kt/j/plant	
	Beoogd aantal plants: 1 plant		

LEVENSCYCLUSANALYSE

	Bron informatie: LCA door CE Delft (2018a).	
	REFERENTIE	
	Feedstock was anders ingezet voor: Huisvuil: verbranding in afvalenergiecentrale	Vervangen product: Syngas: syngas uit aardgas
	CO ₂ -EMISSION	
	Project: 1,6 CO ₂ -eq./kg methanol ³⁴	Referentie: 2,3 kg CO ₂ -eq./kg methanol
	Reductie: 0,7 kg CO ₂ -eq./kg methanol 162 kt CO ₂ -eq./j voor volledig project, (220 kt CO ₂ -eq./j bij gebruik van groene stroom)	
	Reductie op Nederlands grondgebied: 180 kt CO ₂ -eq./j toename tot 90 kt CO ₂ -eq./j reductie	
	OVERIGE MILIEU-EFFECTEN	
	Veel lagere uitstoot van NO _x en SO _x ten opzichte van afvalverbranding.	

³⁴ We gaan ervan uit dat W2C een afvalenergiecentrale met een gemiddelde efficiëntie vervangt en de Nederlandse grid mix als elektriciteit gebruikt. Met gebruik van hernieuwbare elektriciteit komt de totale CO₂-reductie hoger uit, op 220 kt CO₂-eq./j.

KOSTENEFFECTIVITEIT



Investing: 200 M€

Kosteneffectiviteit: Mogelijk subsidie nodig

Opmerkingen: We hebben geen kosten of opbrengsten gerekend voor het verwerkte huisvuil. Waste2Chemicals geeft aan dat de investering hoger zal liggen dan de hier weergegeven 200 M€, maar dat de kosteneffectiviteit naar verwachting minder dan 100 €/t CO₂-eq. zal bedragen.

4 Kwalitatieve analyse niet-becijferde sectoren

4.1 Welke projecten hebben we niet gecijferd en waarom niet?

De door Circular Biobased Delta aangedragen projecten voor de categorieën E: Bouw, F: Infra, G: Materialen in Mobiliteit en H: Diversen³⁵ waren niet concreet genoeg om door te kunnen rekenen. In dit hoofdstuk beschrijven we deze categorieën daarom kwalitatief, en geven we waar mogelijk (kwantitatieve) voorbeelden van relevante projecten. We geven per categorie ook aan waarom het moeilijk is om deze door te rekenen. Daarnaast bespreken we Scope 3-emissies van de Circular Biobased Deltaregio.

Scope 3-emissies

Een belangrijke reden dat de in dit hoofdstuk beschreven producten lastig te kwantificeren zijn op dezelfde manier waarop de andere projecten zijn beschreven in deze studie, is dat er wel voorbeelden worden genoemd van bedrijven die hiermee bezig zijn, maar dat er niet per se sprake is van geplande (nieuwe) productielocaties in de Circular Biobased Deltaregio. Dat neemt niet weg dat categorieën in dit hoofdstuk veelbelovende producten en materialen beschrijven voor de regio. Er wordt namelijk door de provincies en gemeenten in de regio veel ingekocht van de in deze categorieën beschreven producten en materialen, zoals bouw materiaal (voor woning- utiliteits- en GWW-bouw), straatmeubilair, en op kleinere schaal meubelen en schoonmaakmiddelen. De klimaatimpact van ingekochte producten valt onder de zogeheten Scope 3-emissies. In Scope 1 en Scope 2 vallen emissies die meer direct door een organisatie zelf worden veroorzaakt, bijvoorbeeld door verwarming van kantoren of gebruik van elektriciteit.

Er komt steeds meer focus op het reduceren van de Scope 3-emissies, omdat dit een methode kan zijn om producenten van materialen en producten te stimuleren hun productie te verduurzamen. Het is in zo'n geval voor partijen binnen de regio minder interessant om te weten wat bijvoorbeeld de klimaatimpact van een productielocatie van circulaire verkeersborden is, maar relevanter om te weten wat de klimaatimpact per circulair verkeersbord is ten opzichte van een regulier verkeersbord.

4.2 Projecten uit de categorie 'E: Bouw'

De categorie Bouw betreft de inzet van biomassa in materialen (of als materiaal) voor de bouw. Voorbeelden die zijn aangedragen in deze categorie door Circular Biobased Delta zijn constructiematerialen (o.a. composieten voor beton) en isolatiemateriaal³⁶. Deze bespreken we in deze paragraaf. Er zijn voor de genoemde voorbeelden geen specifieke geplande projecten genoemd.

³⁵ Zie Paragraaf 2.1.1 voor alle categorieën binnen het projectportfolio van Circular Biobased Delta.

³⁶ Ook de voorbeelden coatings, sealings en adhesives, meubelen, textiel en schoonmaakmiddelen waren in de categorie Bouw geplaatst, maar voor de structuur van dit hoofdstuk passen deze beter onder de categorie Diversen.

Constructiematerialen

Veelgebruikte constructiematerialen in de woning- en utiliteitsbouw zijn momenteel beton (met daarin cement), klei, zand, en staal. De klimaatimpact van met name cement (en daarmee beton) en staal is erg hoog. Het is mogelijk deze materialen (deels) te vervangen met andere materialen, waarvan sommige biobased of circulair zijn.

Een voorbeeld is houtbouw. Hierin worden hele gebouwen of onderdelen van gebouwen met hout gebouwd, in plaats van met staal en beton. Of dit mogelijk is en wat de klimaatimpact van het vervangen van deze materialen met hout is, is erg projectafhankelijk. Daarom is het moeilijk om aan te geven wat de gemiddelde reductie is.

Een voorbeeld van circulaire bouwmaterialen waar door verschillende (markt)partijen onderzoek naar wordt gedaan is het recyclen van de basisbestanddelen van beton: zand, grind en cement. Dit levert zowel een reductie in primair grondstofgebruik op als een reductie van milieu-impacts.

Een ander voorbeeld zijn betoninnovaties voor met name niet-constructieve toepassingen (in woningen, maar bijvoorbeeld ook als stoeptegels), waarin CO₂ wordt opgeslagen. Dit zijn *carbon capture and utilisation (CCU)*-routes: mineralisatie van CO₂. Een voorbeeld hiervan waarvan de techniek al is bewezen (TRL 9) is Carbstone, een (niet-constructief) beton-alternatief dat is ontwikkeld door het Belgisch Orbix en VITO. Hierin worden onder andere LD-staalslakken (een afvalproduct uit de staalindustrie) als grondstof gebruikt en tijdens het productieproces wordt CO₂ opgenomen door het product. Onder andere Ruwbouw Groep is in Nederland met deze technologie bezig, als de Compensatiesteen (RuwBouw Groep, 2017).

Isolatiemateriaal

Isolatiemateriaal heeft zelf een klimaatimpact (vanwege de productie ervan), maar speelt ook een andere rol in verduurzaming: het zorgt voor energiebesparing in woningen en gebouwen, en daarmee voor CO₂-reductie. Bij het vergelijken van isolatiematerialen moet daarom niet alleen worden gekeken naar de klimaatimpact die de productie ervan met zich meebrengt, maar ook naar het gebruik. Isolatie wordt over het algemeen gemaakt uit mineralen (o.a. glaswol, steenwol), kunststof (o.a. PUR, XPS, EPS) of biobased grondstoffen (o.a. vlas, gerecycled katoen). Biobased grondstoffen hebben hierin niet per definitie de voorkeur boven andere grondstoffen; er dient per situatie gekeken te worden of het lonend is (dit heeft bijvoorbeeld ook te maken met levensduur van het materiaal en het gebouw waarin het wordt gebruikt, en de mate van isolatie die nodig is).

Illustratief voorbeeld: Nieuwe woningen van biobased materiaal

In 2019 heeft NIBE een inschatting gemaakt van de CO₂-reductie die kan worden behaald wanneer een woning niet op basis van reguliere materialen (beton, staal) wordt gebouwd, maar op basis van biobased materialen. Dit is gedaan met behulp van GPR-software (v3.4). Voor meer details over de aannames van de berekening, zie (NIBE, 2019). De berekening moet worden gezien als een inschatting.

We gaan uit van de door NIBE gedefinieerde hoekwoning (representatief voor een eengezinswoning) waarin de volgende reguliere materialen door een biobased alternatief zijn vervangen:

- Betonnen heipaal: Houten heipaal;
- Betonnen vloeren: Houtskeletbouw vloeren;
- Beton en gipsblok wanden: Grenen logs wanden/HSB dragende en woningscheidende wanden;

- Baksteen gevel, kalkzandsteen binnenblad en glaswol isolatie: Gevelelementen van stro en hout met eikenhout bekleding;
- Betonnen dakpannen: Rieten dakbedekking;
- Bitumen dakbedekking: Plantaardige dakbedekking;
- Dakisolatie: Vlaswolisolatie;
- PVC-dakgoot: Houten dakgoot;
- Baksteen straatstenen: Bamboe terreinverharding.

De klimaatimpact van de referentiewoning is: 6,43 kg CO₂-eq./j/m² (NIBE, 2019).

De klimaatimpact van de biobased woning is: 3,86 kg CO₂-eq./j/m² (NIBE, 2019).

De klimaatimpactreductie bedraagt 2,57 kg CO₂-eq./j/m².

Een eengezinswoning heeft een gemiddeld oppervlakte van 160 m² (NIBE, 2019). De CO₂-reductie voor een biobased eengezinswoning is dus 411 kg CO₂-eq./j ten opzichte van de referentiewoning.

Volgens een rapport van ABN Amro is er tot 2030 naar schatting een woningtekort van zo'n 40.500 woningen verspreid over Zuid-Holland, Zeeland en Noord-Brabant (ABN Amro, 2019). Als de helft van deze woningen eengezinswoningen betreft die biobased gebouwd zouden worden, zou dat zo'n 8 kton CO₂-eq./j schelen over de levensduur van deze woningen.

4.3 Projecten uit de categorie 'F: Infra'

De categorie Infra betreft de inzet van biomassa in materialen of als materiaal voor infrastructuur/Grond, Weg, Waterbouw (GWW)-projecten. Voorbeelden die zijn aangedragen in deze categorie door Circular Biobased Delta zijn: Biobitumen voor asfalt (Chaplin), bioasfalt (wat een combinatie van biobased en circulair lijkt te zijn: het hoogwaardig recyclen van asfalt mogelijk maken door middel van biobased componenten), en 'publieke ruimte'. Chaplin is in Hoofdstuk 3 meegenomen en bespreken we hier daarom niet.

We gaan hier in op andere innovaties voor asfalt en enkele vormen van straatmeubilair (geleiderails, verkeersborden).

Geleiderails

Een nieuwe, stalen geleiderail heeft een biobased alternatief (houten geleiderails) en een hergebruikt alternatief (gerenoveerde geleiderails). De klimaatimpactreductie van deze alternatieven ten opzichte van de nieuwe variant, is als volgt:

- gerenoveerde geleiderails: -54% (o.b.v. stalen en gerenoveerde stalen geleiderails in NIBE (2020));
- houten geleiderails: -44% (o.b.v. impact houten geleiderails in CE Delft (2020a)).

Anderen alternatieven zijn natuurlijk ook mogelijk. Dit zijn voorbeelden waar cijfers van bekend zijn. De cijfers geven aan dat zowel biobased als circulaire alternatieven voor geleiderails een klimaatimpactreductie kunnen geven.

Verkeersborden

Een nieuw, aluminium verkeersbord heeft een biobased alternatief (bamboe verkeersbord) en twee circulaire alternatieven (gerecycled of hergebruikt aluminium verkeersbord).

De klimaatimpact van deze alternatieven ten opzichte van de nieuwe variant, is als volgt:

- gerecycled aluminium verkeersbord: 6,7 kg CO₂-eq./verkeersbord, ten opzichte van 17,3 kg CO₂-eq./regulier verkeersbord;
- hergebruikt aluminium verkeersbord: 2,3 kg CO₂-eq./verkeersbord, ten opzichte van 17,3 kg CO₂-eq./regulier verkeersbord;
- bamboe verkeersbord: 6,8 kg CO₂-eq./verkeersbord, ten opzichte van 17,3 kg CO₂-eq./regulier verkeersbord.

Deze gegevens zijn afkomstig uit CE Delft (2019b). De hier weergegeven klimaatimpactgegevens van de alternatieven zijn worst case, bij een ander formaat is een lagere klimaatimpact mogelijk.

Asfaltinnovaties

Er worden momenteel verschillende alternatieven voor regulier asfalt onderzocht door verschillende partijen. Een voorbeeld is Chaplin, dat in dit onderzoek uitgebreid is beschreven, waarin fossiel bitumen wordt vervangen door biobased bitumen. Andere veelbelovende asfaltinnovaties zijn hoogwaardige recycling (een asfaltlaag die wordt gesloopt, wordt in dezelfde asfaltlaag gerecycled in plaats van in een andere asfaltlaag waar minder hoge kwaliteitseisen aan verbonden zijn), het verlengen van de levensduur van asfalt, en het produceren van asfalt bij lagere temperatuur. Combinaties zouden ook mogelijk kunnen zijn. Omdat levensduur bij asfalt erg van belang is, moet deze bij het bepalen van de klimaatimpact altijd worden meegenomen. Beheerders van asfalt in de Deltaregio kunnen innovaties van asfalt faciliteren door bijvoorbeeld proefvakken voor pilots aan te bieden. Daarnaast kan worden ingezet op het laten produceren van asfaltinnovaties in de regio, in huidige, omgebouwde of nieuw asfaltcentrales, ter vervanging van reguliere asfaltproductie in bestaande centrales.

Illustratief voorbeeld: 1 km weg in 44 jaar

Wat levert het op om 1 km provinciale weg aan te leggen met lignineasfalt, alternatieve geleiderails en alternatieve verkeersborden, in plaats van met regulier ZOAB, reguliere geleiderails en reguliere verkeersborden? **Let op, deze berekening geeft een indicatie, de afbakening van de gebruikte gegevens is niet overal gelijk.**

Aannames en bronnen:

- Aan beide kanten van de weg een geleiderail (dus 2 km rail in totaal):
 - levensduur verschillende geleiderails is hetzelfde (44 jaar - hier is de levensduur van de weg op gebaseerd);
 - bronnen: (NIBE, 2020) voor staal en gerenoveerd staal, (CE Delft, 2020a) voor hout.
- Asfalt:
 - 1 rijbaan (1 rijstrook heen, 1 rijstrook terug);
 - breedte rijstrook: 4 m (dus in totaal 8 m);
 - dikte deklaag asfalt: 0,05 m;
 - dichtheid regulier ZOAB en ZOAB met lignine: 2.500 kg/m³;
 - voor 1 km weg is daarmee 1.000 ton asfaltdeklaag nodig;
 - levensduur beide types asfalt is gelijk (12 jaar - we gaan ervan uit dat er in de 44 jaar levensduur van de weg, iedere keer lignineasfalt in plaats van regulier asfalt wordt aangelegd);

• klimaatimpact aanleg, transport en einde levensduur beide types asfalt is gelijk (hierover zijn namelijk geen gegevens bekend); • bron: factsheet Chaplin in dit rapport.
– Vier verkeersborden in totaal. • levensduur verschillende verkeersborden is hetzelfde (10 jaar - we gaan ervan uit dat er in de 44 jaar levensduur van de weg, iedere keer een alternatief verkeersbord wordt geplaatst); • bron: (CE Delft, 2019b)
Resulterende klimaatimpactreductie voor 1 km weg in 44 jaar: – lignineasfaltdeklaag i.p.v. regulier ZOAB: 35 ton CO₂-eq./km weg/44 jaar; – gerenoveerde geleiderails i.p.v. regulier stalen: 139 ton CO₂-eq./km weg/44 jaar; – houten geleiderails i.p.v. regulier stalen: 111 ton CO₂-eq./km weg/44 jaar; – hergebruikt verkeersbord i.p.v. regulier aluminium: 0.26 ton CO₂-eq./km weg/44 jaar; – gerecycled verkeersbord i.p.v. regulier aluminium: 0.19 ton CO₂-eq./km weg/44 jaar; – bamboe verkeersbord i.p.v. regulier aluminium: 0.18 ton CO₂-eq./km weg/44 jaar.
Totale klimaatimpactreductie van 1 km weg in 44 jaar: – minimaal 146 ton CO₂-eq./km weg/44 jaar (lignineasfalt, houten geleiderails, bamboe of gerecycled verkeersbord); – maximaal 174 ton CO₂-eq./km weg/44 jaar (lignineasfalt, gerenoveerde geleiderails, hergebruikt verkeersbord)
In Zuid-Holland, Noord-Brabant en Zeeland ligt totaal 1.770 km N-weg (Waar staat je provincie, 2020). Als deze wegen volgens de bovenstaande opties vernieuwd zouden worden, zou dat tussen de 260 en 310 kton CO₂-reductie opleveren verspreid over 44 jaar. Dit komt neer op 6 à 7 kton CO₂-reductie per jaar.

4.4 Projecten uit de categorie ‘G: Materialen in mobiliteit’

De categorie ‘Materialen in mobiliteit’ betreft de inzet van biomassa in materialen voor toepassingen in voertuigen. Het produceren van biobrandstoffen is al eerder beschouwd, onder Categorie B in Hoofdstuk 3, dat valt dus buiten deze categorie.

Verschillende partijen produceren biobased, lichtgewicht materialen voor de auto-industrie. Het gebruik van biomassa als grondstof voor deze vezels kan leiden tot een lagere milieu-impact over de gehele levenscyclus. Dit is met name het geval wanneer de materialen lichter kunnen worden uitgevoerd om dezelfde functionaliteit te behalen. Op deze manier wordt namelijk ook brandstofbesparing in de mobiliteitssector bereikt, wat leidt tot extra milieu-impactreductie.

4.5 Projecten uit de categorie ‘H: Diversen’

De categorie ‘Diversen’ betreft de inzet van biomassa biosurfactants, cosmetica en schoonmaakmiddelen, textiel, coating, sealing, inkten en adhesives en meubelen. Deze producten overlappen met projecten die al zijn beschreven in Hoofdstuk 3 of andere biochemische industrie, omdat daarin chemicaliën worden geproduceerd die een ingrediënt van een hier beschreven eindproduct kunnen zijn. Ook hier geldt dat zowel de productie van deze producten in de regio als het inkopen van deze producten door organisaties in de regio een klimaatimpactreductie kunnen opleveren.

Daarnaast bevat deze categorie een techniek voor het recyclen van bioplastics en biomaterialen, oftewel de combinatie van biobased en circulair.

Biosurfactants, cosmetica en schoonmaakmiddelen

Martkpartijen als Ecover, Peelpioneers en Seepje zijn voorbeelden van producenten van biobased schoonmaakmiddelen. Daarbij worden voor een deel van deze producten reststromen als grondstof gebruikt, zoals citrusschillen. Deze producten zijn allemaal op de markt. Het is afhankelijk van de (productie van de) grondstoffen voor de schoonmaakproducten of er klimaatimpactreductie is ten opzichte van fossiele schoonmaakmiddelen. Daarnaast kan het gebruik van biobased producten in deze categorie meerdere andere milieuvoordelen met zich meebrengen, zoals biologisch afbreekbaarheid en toxiciteit (ook al is dit geen gegeven).

Coatings, sealings, inkten en adhesives

Het is mogelijk om verf, coatings, inkten en lijmen biobased te produceren. Hiervoor zijn vaak meerdere biobased chemicaliën nodig om te mengen tot één biobased product. Ook in deze categorie is de herkomst van biomassa en de benodigde verwerking ervan van invloed op de vraag of een klimaatimpactreductie wordt behaald, en hoe groot deze is. Net als bij de schoonmaakmiddelen, kunnen door alternatieve grondstoffen ook andere milieu-impacts verbeteren.

Meubelen en textiel

Meubelen en textiel zijn vaak al van biomassa gemaakt, maar op de Dutch Design Week in 2019 is in het project The Growing Pavilion getoond hoe ook innovatievere biomassa gebruikt kan worden om meubels en materialen voor woningen te maken. Voorbeelden hiervan zijn schimmels en hennep. Het verschilt per innovatief materiaal hoe ver het is uitontwikkeld. Daarnaast is het erg afhankelijk van de herkomst en productiemethode van de biomassa en het materiaal wat ermee wordt vervangen, of er een klimaat-/milieu-impactreductie plaatsvindt en zo ja, hoe groot die reductie is.

Ook recycling van textiel is een innovatieve manier om de milieu-impact van bijvoorbeeld kleding of stof voor meubels te reduceren. Het is interessant om hier meer onderzoek naar te doen.

Recycling bioplastics en biomaterialen

Nieuwe plastics en materialen die op basis van biomassa worden geproduceerd, zouden ook kunnen worden gerecycled. Hier zijn verschillende partijen mee bezig. Door biobased plastics te recycleren, wordt de positieve impact ervan verder vergroot, mits de recycling zelf efficiënt genoeg is, zodat niet al te veel emissies worden veroorzaakt. Het is het meest efficiënt om direct bij de ontwikkeling van nieuwe materialen onderzoek te doen naar mogelijke recycling. De regio kan hier zowel aan de inzamelingskant als aan de technische kant in participeren.

5 Hoe hangen de projecten samen?

5.1 Waarom is de samenhang belangrijk?

Het is nodig om de onderlinge afhankelijkheden van de projecten te beschouwen, zodat we een correcte inschatting kunnen maken van de emissiereductie van meerdere projecten samen.

Het is niet vanzelfsprekend dat alle projecten tegelijkertijd gerealiseerd kunnen worden. Zo zijn er bijvoorbeeld projecten die allebei dezelfde schaarse grondstof gebruiken of allebei hetzelfde product vervangen en om die reden misschien niet allebei (volledig) gerealiseerd kunnen worden. Een voorbeeld hiervan is het verwerken van RWZI-slib: er zijn meerdere projecten die dit slib verwerken, maar de hoeveelheid beschikbaar slib is beperkt en zal bovendien niet toenemen bij een toenemende vraag naar slib. Daarnaast zijn er ook projecten die juist wel synergie opleveren, zodat realisatie van het ene project alleen kansrijk is als het andere project ook wordt uitgevoerd.

5.2 Hoe hebben we de samenhang in beeld gebracht?

De samenhang is onderzocht middels een combinatiematrix: een tabel die voor elk project aangeeft of er een relatie is met alle andere projecten. In Tabel 3 staat welke relaties we beschouwd hebben en hun symbool in de combinatiematrix.

Tabel 3 - Overzicht in beeld gebrachte relaties

Symbool	Uitleg
A	Kan samen zonder onderlinge beïnvloeding
B	Kan alleen samen, niet apart
C	Zelfde feedstock
D	Input van het ene proces is de output van het andere proces (enkel materialen, geen energie)

De combinatiematrix is weergegeven in Tabel 4. Onder de tabel bespreken we de meest opvallende onderlinge afhankelijkheden.

Tabel 4 - Combinatiematrix van alle projecten

	Alta Carbon	Avantium Ray	Bareau	Biogate Europe	Biondoil	Bioref. Suikerbiet	Biorizon 2	Chaplin	DSD	Geïnt. hydropyrolyse	Green Pellets	HTU	Ioniqa	Phario	PolyStyreneLoop	Pyrolyse Patpert Teknow	Pyrolyse Waste4ME	RJ Bioenergy	SCW	Steelanol/Torrero	Waste2Chemicals
Alta Carbon																					
Avantium Ray	A																				
Bareau	A	A																			
Biogate Europe	A	A	A																		
Biondoil	D	A	A	D																	
Bioref. Suikerbiet	A	A	A	A	A																
Biorizon 2	A	C	A	A	A	C															
Chaplin	A	A	A	A	D	A	A														
DSD	D	A	A	D	A	C	C	A													
Geïnt. hydropyrolyse	A	A	A	A	A	A	A	A	A												
Green Pellets	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A											
HTU	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A										
Ioniqa	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A									
Phario	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A								
PolyStyreneLoop	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A							
Pyrolyse Patpert Teknow	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A						
Pyrolyse Waste4ME	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	C					
RJ Bioenergy	A	A	A	D	A	A	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A				
SCW	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	A	A	A	A			
Steelanol/Torrero	A	A	A	D	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
Waste2Chemicals	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

5.3 Projecten die alleen samen gerealiseerd kunnen worden

Green Pellets en RJ Bioenergy

Green Pellets produceert weerbestendige pellets uit bagasse, een restproduct uit de (met name Braziliaanse) suikerrietindustrie. Deze pellets worden gebruikt in de biorefinery van RJ Bioenergy, die mogelijk in de Delta gerealiseerd wordt. Vanwege de lage energiedichtheid en bezwaren omtrent voedselveiligheid moet bagasse eerst verwerkt worden tot

pellets voor het getransporteerd kan worden. Verschepen van de ruwe bagasse is dus niet mogelijk.

5.4 Projecten die dezelfde feedstock gebruiken

Suikers

DSD direct processing en Biorefinery Suikerbiet maken allebei gebruik van suikerbieten. Het totaal verwerkte volume aan suikerbieten is zo'n 8 Mton per jaar. De 540 kton/j bieten die ingezet worden voor chemicaliën zijn dus zo'n 7% daarvan. Cosun Beet Company heeft toegelicht dat zij goede mogelijkheden zien om aan deze vraag te voldoen en dat bovendien het bietenareaal uitgebreid worden als de bietenprijs voor de boer gunstig is. We voorzien dus geen tekort aan inputmateriaal om deze beide projecten te realiseren. De Avantium Ray-technologie maakt glycol uit glucose. Glucose is weliswaar een suiker, maar wordt gemaakt uit zetmeel en niet uit bieten. Avantium concurreert dus niet met de bietenprojecten.

RWZI-slib

Bareau en Phario gebruiken allebei slib van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI-slib) en hun installaties worden gebouwd op de RWZI-locatie zelf. Het slib kan door Bareau worden omgezet in biomethaan of door Phario in PHA, maar het kan niet door beide processen tegelijkertijd gebruikt worden. In de Deltaregio zijn meerdere RWZI's, die per stuk kunnen kiezen voor Bareau of Phario. Beide soorten installaties kunnen dus onafhankelijk van elkaar gerealiseerd worden. Bareau kan naast RWZI-slib ook diverse andere feedstocks verwerken, bijvoorbeeld keukenafval en dierlijke mest.

Superkritische watervergassing (SCW) gebruikt ook RWZI-slib, maar maakt gebruik van een centrale installatie, waar het slib vanaf verschillende locaties naartoe wordt aangevoerd. SCW concurreert daarmee wel met Bareau en Phario, maar SCW kan ook andere feedstocks verwerken dan alleen RWZI-slib. Voorbeelden hiervan zijn agro residuen, plastics en mixed waste. De lokale beschikbaarheid van RWZI-slib is dus geen beperkende factor voor SCW. Een kleiner aanbod van slib heeft uiteraard wel een effect op de gasproductie en de CO₂-reductie.

SCW, Phario en Bareau gebruiken gezamenlijk zo'n 425 kton/j slib. De grootste slib-verbrander van Nederland, Slibverbranding Noord Brabant (SNB) in Moerdijk, verbrandde in 2019 435 kton slib (SNB, 2020). De drie projecten gebruiken dus een groot deel van het beschikbare slib.

5.5 Projecten die een keten vormen

Er zijn meerdere projecten geïdentificeerd die samen een keten kunnen vormen: het product van het ene project is de grondstof van het andere project.

Ethanolketen

Vier projecten produceren ethanol: Biondoil, DSD direct processing, RJ Bioenergy en Steelanol/Torero. Deze ethanol kan gebruikt worden als feed voor de productie van ethyleenoxide van Biogate Europe.

Lignineketen

Lignocellulose biorefineries zoals Biondoil produceren een reststroom lignine en lignine kan gebruikt worden door Chaplin. Het is echter nog niet zeker dat Chaplin de reststroom lignine van de lignocellulose biorefineries kan gebruiken. Het is namelijk mogelijk dat de kwaliteit van de lignine van de biorefineries niet hoog genoeg is voor gebruik door Chaplin.

CO₂-keten

Biondoil, DSD direct processing en HTU produceren zuivere CO₂ die gebruikt kan worden in het proces van Alta Carbon.

5.6 Sankeydiagram van de samenhang van projecten

Beschrijving

Het Sankeydiagram in Figuur 4 toont de materiaalstromen van alle projecten samen in één figuur. Dit diagram biedt een snel inzicht in de onderlinge samenhang van de projecten.

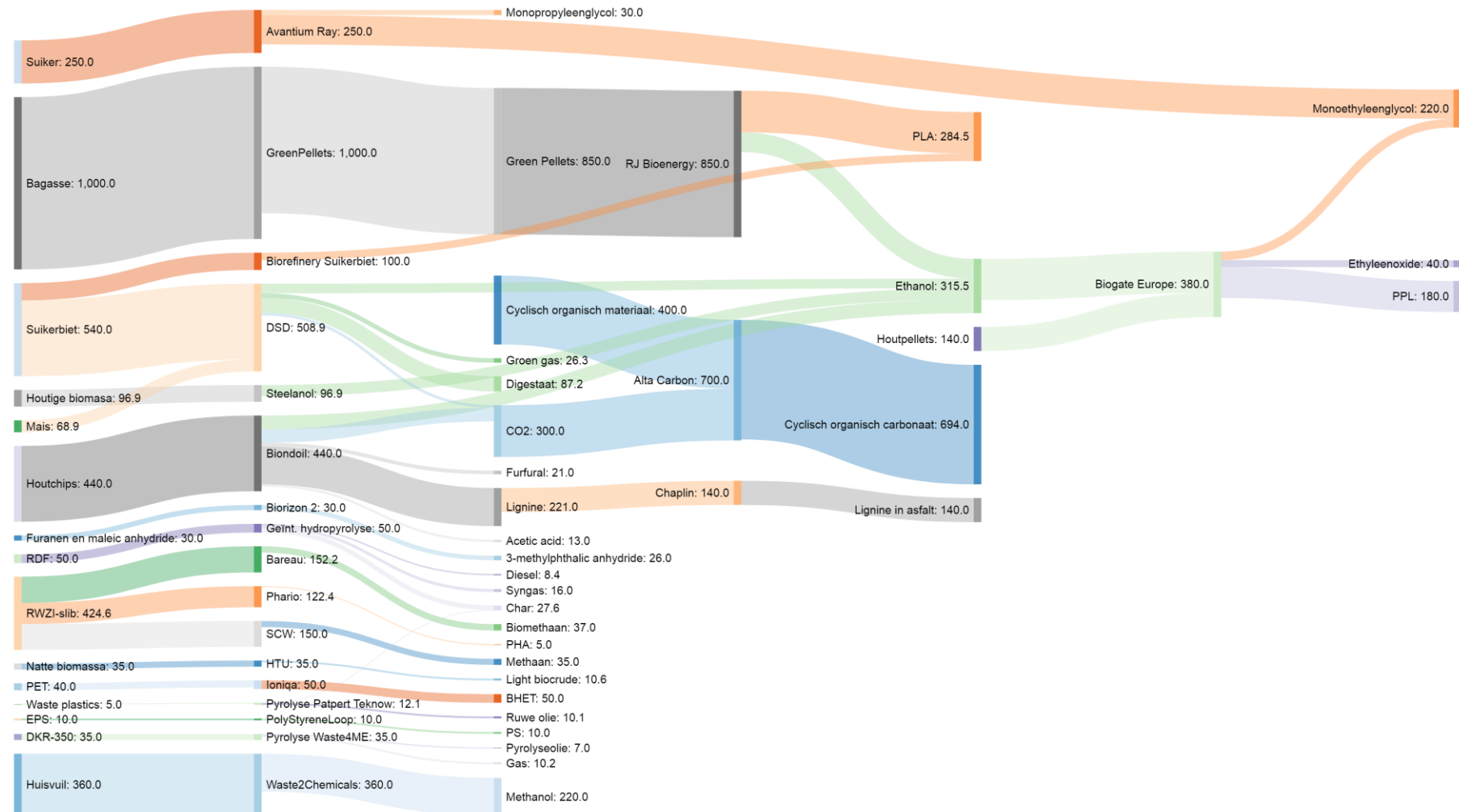
Het Sankeydiagram toont hoe de materiaalstromen binnen de Circular Biobased Delta eruit zouden zien als de verschillende fabrieken worden gerealiseerd én zoveel mogelijk gebruik maken van elkaars producten. De getoonde samenhang komt dus niet noodzakelijkerwijs overeen met de daadwerkelijke realisatie. Een installatie kan bijvoorbeeld gebruik maken van een geïmporteerde voedingsstroom in plaats van het product van een lokale fabriek.

- De materiaalstromen zijn per stof gegroepeerd en komen samen op een *node*.
- Iedere fabriek is weergegeven als een node.
- Bij iedere node staat de totale omvang van de *ingående* stromen weergegeven.
- De breedte van de pijlen geeft de omvang van de stroom weer, de getallen slaan op de massastroom in kton per jaar.
- Enkel de hoofdproducten van een installatie zijn weergegeven; de restproducten zijn achterwege gelaten. De massa van de uitgaande stromen is daarom kleiner dan de massa van de ingaande stromen.
- De massa van de ingaande en uitgaande stromen per stof komen niet per se overeen. Uit dit verschil is af te leiden hoeveel additionele feed er van buiten de regio nodig is om alle processen te voeden, of hoeveel product er overblijft voor export buiten de regio.

Belangrijke observaties

- Alle hiervoor beschreven afhankelijkheden komen terug in het diagram, vooral de ketenvorming is goed zichtbaar.
- Er ontstaat een keten van bioraffinage naar ethanol en plastics.
- De vele pyrolyseprojecten zijn meer versnipperd in het diagram. De eindproducten van de pyrolyseprojecten vinden veelal hun ingang in bestaande fossiele ketens, die niet zijn weergegeven in het Sankeydiagram omdat ze geen onderdeel uitmaken van het projectportfolio. Er ontstaat echter ook een keten waarbij nafta gemaakt wordt uit afvalplastic middels pyrolyse. Deze nafta kan weer omgezet worden naar nieuwe plastics door de nafta te kraken in een bestaande naftakraker.
- De ingaande materialen zijn vooral biomassa (bijv. hout, maïs, suikerbiet) en afval (bijv. RWZI-slib, natte biomassa, plastic afval).
- De geproduceerde stoffen zijn hoofdzakelijk basischemicaliën (bijv. methanol, glycol, ethyleenoxide) en eindproducten (bijv. PLA, PPL, carbonaat). Er worden relatief weinig brandstoffen geproduceerd.

Figuur 4 - Sankeydiagram van alle massastromen in kton/j van de beschouwde projecten gezamenlijk. Dit Sankeydiagram is gemaakt met behulp van SankeyMATIC (2020)



6 Aanzet voor een routekaart naar 10 Mton/j besparing in 2030

We hebben niet het hele projectportfolio van Circular Biobased Delta kunnen becijferen, maar de 21 onderzochte projecten geven al wel een totale potentiële CO₂-besparing van 5,4 Mton/j in 2030. Dit is meer dan de helft van het doel van de Stichting, 10 Mton/j in 2030.

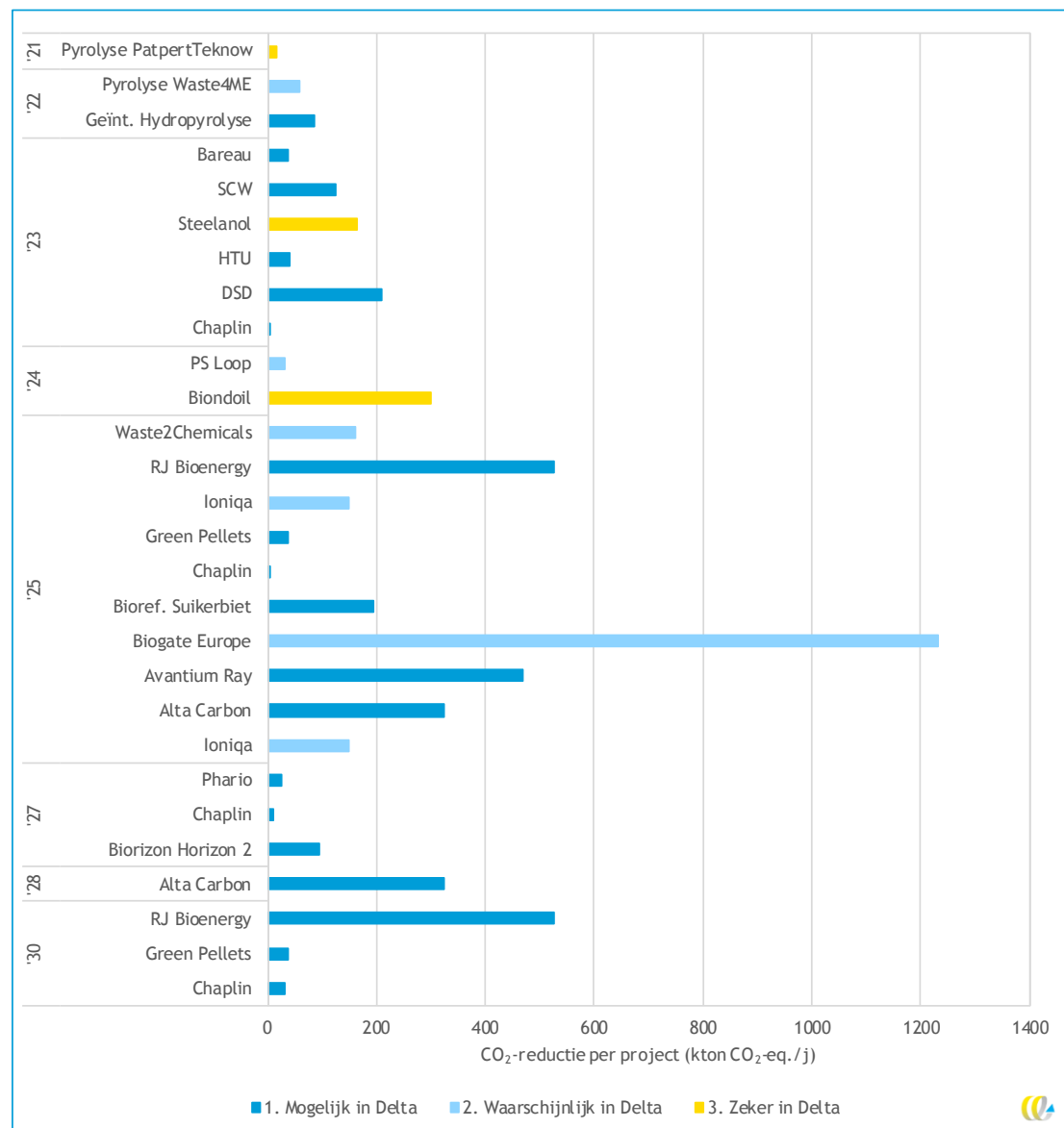
In dit hoofdstuk laten we zien wanneer ieder project gerealiseerd wordt, hoe de CO₂-reductie verloopt over de tijd en welk deel van de reductie op Nederlands grondgebied valt. Daarnaast bespreken we wanneer er geïnvesteerd moet worden en welke projecten het sterkst bijdragen aan het behalen van het reductiedoel. Tenslotte bespreken we het bredere belang van circulaire en biobased projecten en doen we een aantal aanbevelingen om tot 10 Mton/j CO₂-emissiereductie in 2030 te komen.

6.1 De CO₂-reductie van de 21 becijferde projecten tot 2030

In overleg met de initiatiefnemers is voor ieder project vastgesteld wanneer het naar verwachting gerealiseerd wordt en met welke capaciteit. In Figuur 5 is weergegeven welk project wanneer gerealiseerd wordt en wat de CO₂-reductie is per project.

Verreweg de meeste projecten zijn naar verwachting rond 2025 gereed om een (eerste) commerciële fabriek te bouwen in de Delta. Slechts enkele projecten zijn qua technologie, planning en financiering gereed om al voor 2025 op te schalen. Er zijn geen projecten die pas na 2030 technisch gereed zijn om een eerste commerciële fabriek neer te zetten. Wel is het voor veel projecten theoretisch mogelijk om verder op te schalen na 2025 door extra fabrieken bij te bouwen.

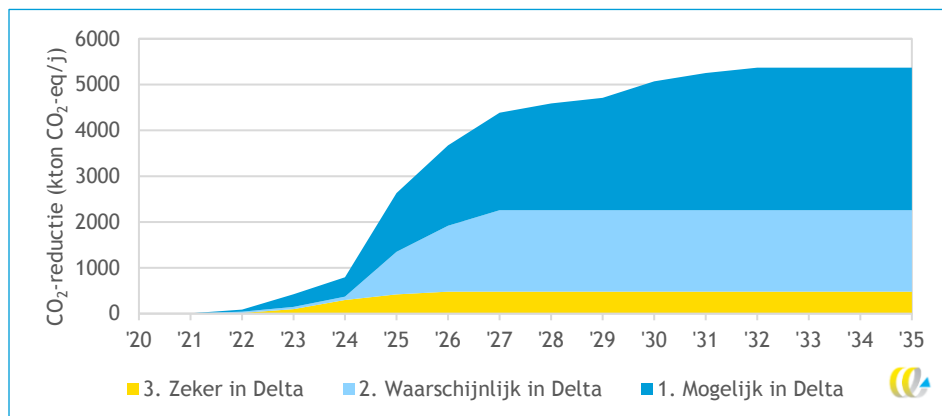
Figuur 5 - De jaarlijkse CO₂-reductie per project



De jaartallen links geven het jaar van realisatie aan en de balkjes de CO₂-reductie per project. De kleur geeft aan hoe waarschijnlijk het is dat een project in de Delta gerealiseerd wordt. Sommige projecten kunnen eventueel ook meerdere keren worden gerealiseerd.

Figuur 6 laat zien hoeveel CO₂-emissiereductie er jaarlijks wordt bereikt als deze routekaart wordt gerealiseerd. De CO₂-reductie begint vanaf 2025 duidelijk op te lopen, wanneer veel projecten een eerste grote fabriek opstarten. We hebben bij de opstart rekening gehouden met het feit dat een fabriek niet direct op volle capaciteit draait door in het eerste jaar met 50% van de CO₂-reductie te rekenen, in het tweede jaar 80% en vanaf het derde jaar 100%. De CO₂-emissiereductie van projecten die voor 2030 gerealiseerd worden kan dus nog oplopen na 2030.

Figuur 6 - Jaarlijkse CO₂-reductie van de 21 onderzochte projecten



De projecten die zeker in de Delta komen, zijn goed voor 480 kton/j CO₂-reductie zodra ze allemaal gerealiseerd zijn. De projecten die waarschijnlijk in de Delta komen voegen daar nog een 1,8 Mton/j aan toe. Het grootste deel, 3,1 Mton/j, komt van projecten die mogelijk in de Delta komen, maar nog onzeker zijn.

6.1.1 De CO₂-emissiereductie kan zowel hoger als lager uitvallen

De CO₂-reductie in de Delta kan hoger uitvallen dan hier weergegeven. Allereerst kan de opschaling van de projecten sneller gaan dan we hier aannemen. Daarnaast is de impact van de niet-becijferde projecten in deze resultaten niet meegenomen.

De opschaling van de meeste projecten is onzeker, daarnaast is het de vraag hoeveel capaciteit er in de Deltaregio gerealiseerd gaat worden. Daarom hebben we voor de meeste projecten alleen een eerste fabriek meegenomen, die vaak ook nog eens een kleinere schaalgrootte heeft dan de uiteindelijk beoogde installaties.

Zoals in Paragraaf 2.1 al besproken is, hebben we niet alle concrete projecten uit het portfolio van Circular Biobased Delta door kunnen rekenen, veelal omdat de techniek nu nog niet ver genoeg ontwikkeld is. Veel projecten zullen tot 2030 echter nog belangrijke stappen maken en kunnen wellicht eind jaren '20 wel een eerste fabriek in de Delta bouwen.

Ook de CO₂-reductie van de projecten uit de categorieën E: Bouw, F: Infra, G: Materialen in Mobiliteit en H: Diversen hebben we niet kwantitatief door kunnen rekenen. Deze projecten zullen uiteraard wel tot CO₂-reductie leiden.

De CO₂-emissiereductie in de Delta kan echter ook lager uitvallen dan in de routekaart weergegeven. Het is mogelijk dat er technische problemen optreden bij de opschaling van veelbelovende technologieën, zodat de CO₂-emissiereductie van een project later wordt gerealiseerd of in zijn geheel niet gerealiseerd wordt. Ook is het mogelijk dat de initiatiefnemers kiezen voor een locatie buiten de Delta. Voor de mondiale CO₂-emissies maakt dit geen verschil, voor de ontwikkeling van de Circular Biobased Delta wel. De routekaart laat zien wat er in theorie mogelijk is, maar de daadwerkelijke investeringsbeslissingen bepalen wat er uiteindelijk wordt gerealiseerd.

Tenslotte kan de daadwerkelijke CO₂-emissiereductie lager uitvallen door onzekerheid in de berekeningen van de LCAs. De projecten zijn nog in ontwikkeling en veel data is nog niet helemaal zeker of soms zelfs nog niet beschikbaar. Daarnaast hebben we verschillende bronnen gecombineerd, die elk hun eigen methode gebruiken. Voor sommige projecten berusten de berekeningen niet op een LCA, maar op een beperktere berekening op basis van gegevens die door de opdrachtgever verstrekt zijn en die we niet konden controleren.

6.1.2 Welk deel van de CO₂-reductie vindt in Nederland plaats?

Klimaatverandering is een mondiaal probleem en trekt zich niets aan van landsgrenzen. De CO₂-emissiereductie van de projecten is dan ook berekend voor de gehele productieketen, waar deze zich ook bevindt. Toch is het interessant om te weten in hoeverre de meegenomen projecten kunnen bijdragen aan de nationale doelen voor CO₂-emissiereductie in Nederland.

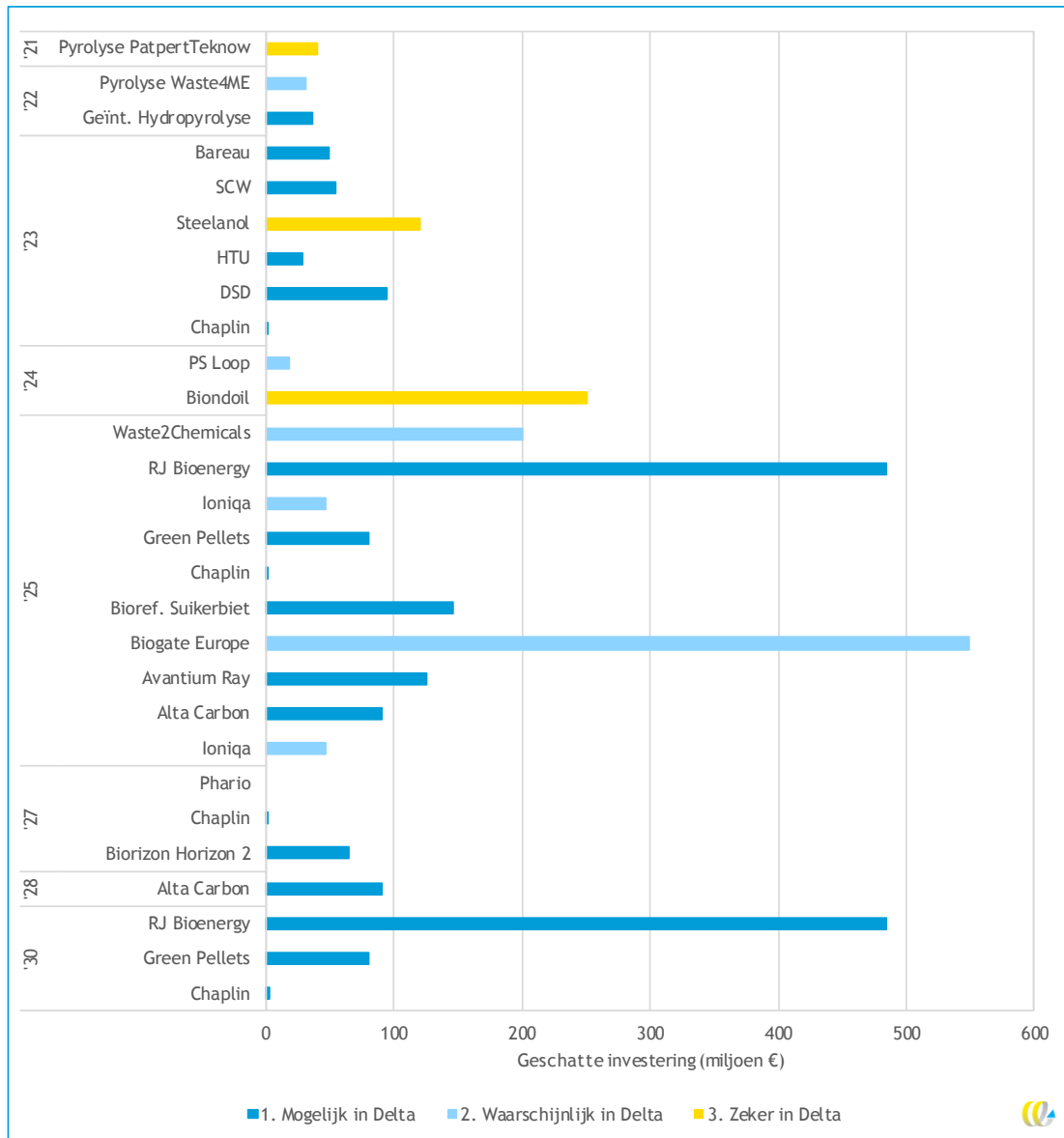
De CO₂-emissie op Nederlands grondgebied neemt in het ongunstigste geval toe met 0,7 Mton per jaar en neemt in het gunstigste geval af met 4,3 Mton per jaar. In Bijlage C leggen we verder uit hoe we aan deze schatting gekomen zijn. De schatting per project staat weergegeven op de betreffende factsheet in Hoofdstuk 3.

Een gedeelte van de CO₂-reductie van de projecten vindt dus in het buitenland plaats. Daar staat echter tegenover dat een gedeelte van de CO₂-reductie van buitenlandse projecten juist weer in Nederland plaats zal vinden.

6.2 Wanneer moet er geïnvesteerd worden?

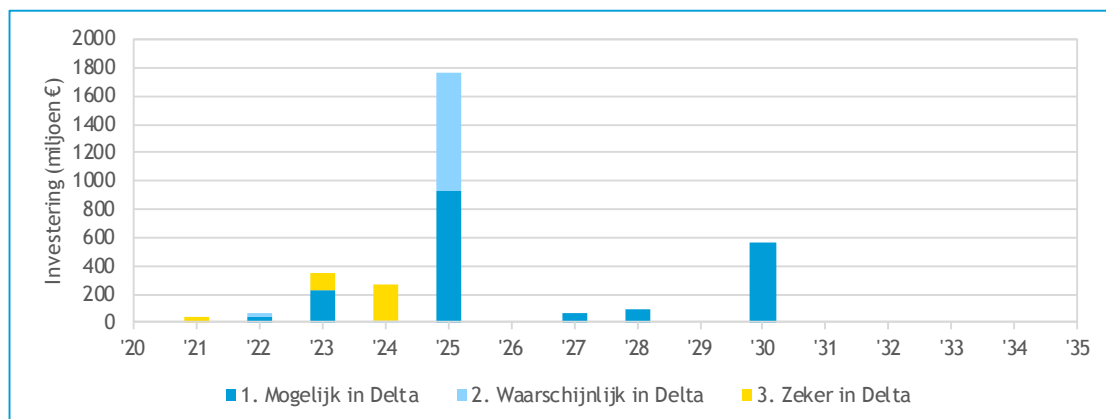
De totale benodigde investeringen bedragen zo'n 3,2 miljard euro. In Figuur 7 is de investering per project weergegeven, geordend in de tijd. Dit zijn grotendeels ruwe schattingen, van de stakeholders of CE Delft.

Figuur 7 - Benodigde investeringen per project



Figuur 8 benadrukt nog duidelijker dat er in 2025 het meest geïnvesteerd moet worden. Voor het overgrote deel van de investeringen staat nog niet vast dat ze in de Delta zullen gaan plaatsvinden: zo'n 410 miljoen euro staat vast, zo'n 890 miljoen euro is waarschijnlijk en de overige 1,9 miljard euro aan investeringen staat nog vrijwel volledig ter discussie.

Figuur 8 - Benodigde investeringen voor alle onderzochte projecten per jaar



6.3 Zijn de projecten rendabel zonder subsidie?

We hebben de kosteneffectiviteit ingeschat door een berekening te doen met zowel gunstige als ongunstige marktomstandigheden. Bij gunstige marktomstandigheden rekenen we met hoge opbrengsten en lage kosten, bij ongunstige omstandigheden andersom. Zie Paragraaf 2.3 voor meer details over de methode en Bijlage B voor de gebruikte parameters.

Van de 21 onderzochte projecten zijn er zeven waarschijnlijk rendabel zonder subsidie, tien projecten hebben mogelijk wel subsidie nodig, zie Tabel 5. We stellen dat projecten mogelijk subsidie nodig hebben als er onder gunstige omstandigheden geen onrendabele top is, maar onder ongunstige omstandigheden wel. Tenslotte hebben we van vier projecten de kosteneffectiviteit niet vast kunnen stellen omdat we geen goede prijsgegevens konden vinden. Geen enkel project is zelfs bij gunstige marktomstandigheden afhankelijk van subsidie.

Per project zal uiteindelijk beter in kaart gebracht moeten worden hoeveel subsidie er nodig is en welke subsidie het meest passend is. Onze inschatting is dat alle projecten mogelijk zelfstandig rendabel zijn bij gunstige marktomstandigheden.

Tabel 5 - Indicatie kosteneffectiviteit per project

Niet vast te stellen	Waarschijnlijk rendabel zonder subsidie	Mogelijk subsidie nodig
Biorizon Horizon 2	Alta Carbon	Bareau
Green Pellets	Avantium Ray	Biogate Europe
Ioniqa	Biondoil	Chaplin
Phario	Biorefinery Suikerbiet	DSD direct processing
	PolyStyreneLoop	Geïntegreerde hydropyrolyse
	RJ Bioenergy	HTU
	Waste2Chemicals	Pyrolyse Patpert Teknow
		Pyrolyse Waste4ME
		Steelanol
		Superkritische watervergassing

Deze inschatting van de kosteneffectiviteit is een momentopname die enkel geldig is bij de huidige stand van de techniek, wet- en regelgeving en marktomstandigheden. Projecten die nu niet rendabel zijn, kunnen gestimuleerd worden door een innovatie-, investerings- of exploitatiesubsidie. De overheid kan echter ook de marktomstandigheden zelf veranderen door bijvoorbeeld verplichtingen in te stellen voor het gebruik van circulaire en/of biobased grondstoffen, een CO₂-heffing in te stellen, accijns op fossiele producten te heffen of door vervuilende producten of processen geheel te verbieden. Ieder project zal uiteindelijk zijn eigen businesscase moeten maken, die rendabel is in het speelveld van de toekomst.

6.4 Benodigde actie en projecten met het grootste besparingspotentieel

Zo'n 60% van de investeringen en de berekende CO₂-reductie in 2030 is afkomstig van projecten die weliswaar in het project portfolio van Circular Biobased Delta zitten, maar waarvoor nog geen concrete plannen zijn om ze daadwerkelijk in de Delta te realiseren. Om het volledige reductiepotentieel in de Delta te verwezenlijken, moeten deze projecten dus nog naar de Delta gehaald worden.

Hoewel alle projecten bijdragen aan een efficiëntere en milieuvriendelijkere industrie, willen we er een aantal projecten uitlichten. De geselecteerde projecten hebben een toekomstbestendig proces, passen in de regio en hebben een grote CO₂-reductie. De volgende acht projecten vertegenwoordigen gezamenlijk 4,3 Mton/j CO₂-reductie, ofwel zo'n 80% van de CO₂-reductie van de gehele routekaart van 21 projecten:

- **De biorefineries van Biondoil, RJ Bioenergy, DSD direct processing en Biorefinery Suikerbiet** zijn een goed startpunt voor de opbouw van een biobased chemische sector in de Delta. Ze leggen de basis voor de biobased economie door een flinke productie van basischemicaliën en zijn gezamenlijk goed voor 'een wereldwijde CO₂-emissiereductie van ca. 1,8 Mton/j. In het begin zal er voornamelijk ethanol geproduceerd worden ter vervanging van fossiele benzine onder de RED II-regeling. Later kan overgeschakeld worden op de productie van andere chemicaliën of kan de ethanol ingezet worden als grondstof voor ethyleen en afgeleide producten zoals ethyleenoxide, ethyleenglycol en polyethyleen.
- **Biogate Europe** sluit goed aan op deze ethanolketen en produceert ethyleen en een aantal hiervoor genoemde afgeleiden van ethyleen. Zo zet Biogate Europe al vroeg in de tijd een stap richting meer gespecialiseerde chemicaliën om ook daar een goed alternatief te bieden voor fossiel. De fabriek van Biogate Europe is in zijn eentje goed voor 1,2 Mton/j CO₂-reductie.
- **De Avantium Ray** technologie produceert net als Biogate Europe glycol, maar doet dat direct vanaf suikers, zonder ethanol als tussenproduct. In de Delta staan meerdere fabrieken die de benodigde sucrose uit suikerbiet of glucose uit zetmeel kunnen aanleveren. De CO₂-reductie van Avantium Ray bedraagt 470 kton/j.
- **Alta Carbon Technologies** maakt cyclisch organisch carbonaat, maar doet dat met circulair gebruik van CO₂ en een veel lager energiegebruik dan het conventionele proces. De CO₂-reductie is met 2x 325 kton/j fors en het project heeft waarschijnlijk geen subsidie nodig.
- **Ionika** kan afgedankt PET efficiënt en hoogwaardig chemisch recycleren zonder kwaliteitsverlies. De CO₂-reductie is 150 kton/j en er is al een grote PET-fabrikant in de Delta gevestigd.

6.5 De Circular Biobased Delta als aanjager van een nieuwe industrie

Zoals we al in de inleiding gesteld hebben, kunnen het gebruik van duurzame biomassa als grondstof en de overstap naar circulaire ketens een belangrijke bijdrage leveren aan het behalen van de klimaatdoelen. We hebben laten zien dat deze bijdrage aanzienlijk is en in de eerste fase al op kan lopen tot maar liefst 5,4 Mton/j in 2030. Bovendien zijn veel projecten naar verwachting rendabel met een geringe subsidie en hebben enkele projecten mogelijk helemaal geen subsidie nodig.

Het belang van de projecten van de Circular Biobased Delta moet echter breder gezien worden dan de vraag de CO₂-emissiereductie en de kosten. Het is namelijk ook prima mogelijk om de klimaatdoelen te voldoen door te investeren in de huidige industrie, die grotendeels fossiel en lineair is en tegen een aantrekkelijke prijs veel CO₂-emissies kan besparen. Investeren in fossiel en lineair draagt echter niet bij aan de beoogde transitie naar circulaire ketens die duurzame biomassa als grondstof gebruiken. Een investering in een circulaire en biobased industrie draagt bij aan een toekomstbestendige industrie die de komende decennia een waardevolle bijdrage aan de economie en de werkgelegenheid levert.

6.6 Het verdere pad naar 10 Mton/j CO₂-emissiereductie in de Delta

De projecten van de Circular Biobased Delta zijn een ferme stap richting een circulaire en biobased industrie. Tegelijkertijd is de realisatie van de projecten uit de routekaart eigenlijk pas het begin van zowel de Circular Biobased Delta als ook de transitie van de gehele Nederlandse industrie.

Om de 10 Mton per jaar CO₂-emissiereductie in 2030 te realiseren in de Delta adviseren we Circular Biobased Delta allereerst om in te zetten op de realisatie van de 21 projecten uit deze studie. De conclusies in paragraaf 6.4 kunnen daarbij de juiste focus geven. Dit biedt kansen om met een relatief beperkt aantal projecten het grootste gedeelte van de reductie te realiseren. Het is belangrijk om de techniek versneld te ontwikkelen en dan toe te werken naar realisatie, waarbij Stichting Circular Biobased Delta bijvoorbeeld kan helpen bij het bouwen van consortia, het rondkrijgen van de businesscase en de aanvraag van financiering en subsidies.

Met deze 21 projecten komen wij uit op 5.4 Mton/jr reductie, dat is nog onvoldoende om de 10 Mton/jr reductiedoelstelling te halen. De resterende 4,6 Mton per jaar CO₂-emissiereductie kan deels ingevuld worden door de niet becijferde projecten concreter te maken en verder uit te werken. Het is voor deze projecten zaak om toe te werken naar een concreet voorstel, waarbij helder is welke partijen betrokken zijn, hoe het productieproces werkt, wat de grondstoffen en producten zijn en wanneer het op welke schaal gerealiseerd zou kunnen gaan worden. Met deze informatie kan dan de CO₂-emissiereductie door-gerekend worden en kan er een businesscase opgesteld worden. Daarna kan het project richting realisatie kan met de hierboven beschreven stappen.

Een ander deel van de resterende opgave kan ingevuld worden door projecten waar Circular Biobased Delta niet bij betrokken is, maar die wel gerealiseerd worden in de Delta regio. Dit zijn bijvoorbeeld de projecten die het Haven Industrieel Complex (HIC) Rotterdam ontwikkelt met Innovation Quarter. Voor andere clusters is het aan te raden een dergelijk gestructureerd programma op te zetten, zodat de ontwikkeling van projecten meer structuur krijgt en de gezamenlijke bijdrage en synergieën beter zichtbaar worden.

Tenslotte moet het projectportfolio waarschijnlijk worden aangevuld met nieuwe projecten. Het is aan te raden om bij het acquireren ook nadrukkelijk te kijken of er projecten van buitenlandse initiatiefnemers naar de Delta gehaald kunnen worden.

We achten het ook niet al reëel om aan te nemen dat alle aangedragen projecten uiteindelijk gerealiseerd worden. Om de mate van zekerheid dat de 10 Mton per jaar CO₂-emissiereductie bereikt wordt te vergroten, is het verstandig om een portfolio op te bouwen dat goed is voor méér dan 10 Mton per jaar.

Bibliografie

- ABN Amro, 2019. *Stand van de bouw*. [Online]
Available at: <https://insights.abnamro.nl/download/132496/>
[Geopend 04 11 2020].
- Anderson, J., 2009. Determining Manufacturing Costs. *Chemical Engineering Progress*, Volume January 2009, pp. 27-31.
- ArcelorMittal, 2018. *Steelanol - Fueling a sustainable future*. [Online]
Available at: <https://www.ocelarskaunie.cz/wp-content/uploads/2018/06/Wim-Van-der-Stricht.pdf>
[Geopend 21 09 2020].
- Avantium, 2019. *About Ray Technology*. [Online]
Available at: <https://www.avantium.com/wp-content/uploads/2019/11/20191107-Press-kit-Avantium-celebrates-the-opening-of-MEG-demonstration-plant-final.pdf>
[Geopend 18 09 2020].
- CBS, 2015. *Afvalwaterzuivering bij bedrijven; regio's, '93-'15*. [Online]
Available at:
<https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80433ned/table?ts=1605162122037>
[Geopend 12 11 2020].
- CBS, 2020. *Zuivering van stedelijk afvalwater; per provincie en stroomgebiedsdistrict*. [Online]
Available at: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/7477?q=inwonerequivalent>
[Geopend 10 11 2020].
- CE Delft, 2014. *LCA-resultaten van geleiderails*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2017. *Innovatie afvalverwerkingstechnieken doorgelicht*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018a. *LCA for W2C Rotterdam (vertrouwelijk)*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2018b. *Samenvatting LCA Ioniqa*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2019a. *CO2-balansen groengasketens*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2019b. *Ontwikkeling van de VNPF Duurzaamheidsindex Verkeersborden*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2019c. *Verkenning Chemische Recycling*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2020a. *Cat. 3 LCA-rapport voor houten geleiderails*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2020b. *Innovatieve GFE afval verwaardingsprocessen*, Delft: CE Delft.
- de Crom, B., van Diepen, J. & Scholten, J., 2020. Excellent environmental performance of beet sugar production in the Netherlands. *Sugar Industry*, Volume 145, pp. 161-165.
- EC, 2014. *Horizon 2020 - Work Programme 2014-2015 Annex G: Technology Readiness Levels (TRL)*. [Online]
Available at:
https://ec.europa.eu/research/participants/data/ref/h2020/wp/2014_2015/annexes/h2020-wp1415-annex-g-trl_en.pdf
[Geopend 22 09 2020].



Experiment Krewerd, 2019. *Investeringskostenraming Krewerd energieneutraal 2021*. [Online]
Available at: <https://www.experimentkrewerd.nl/wp-content/uploads/2019/10/Kostenraming-Krewerd-Samen-Energie-Neutraal.pdf>
[Geopend 04 11 2020].

Khandelwal, M., 2019. *Carbon footprint of Lignin modified Asphalt mix*, Utrecht: Universiteit Utrecht.

Klimaatmonitor, 2020. *Klimaatmonitor database*. [Online]
Available at: <https://klimaatmonitor.databank.nl/Jive>
[Geopend 20 09 2020].

NIBE, 2019. *Potentie van biobased materialen in de bouw*, Bussum: NIBE.

NIBE, 2020. *Categorie 3 LCA's wegmeubilair : Stalen geleiderails & gerenoveerde stalen geleiderail*, Bussum: NIBE Research.

Nova Institute, 2012. *Bio-based plastics convince with high climate protection potential and low use of fossil resources*. [Online]
Available at: http://nova-institut.de/pdf/12-03-05_pr_meta-analysis_bio-based_polymers_nova-institute.pdf
[Geopend 29 09 2020].

PBL, 2020. *Conceptadvies SDE++ 2021 Algemeen*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

RuwBouw Groep, 2017. *Element (magazine)*. [Online]
Available at: https://www.ruwbouw.nl/wp-content/uploads/617.088-DRBG-Element-November_LR.pdf
[Geopend 2020].

SankeyMATIC, 2020. *SankeyMATIC*. [Online]
Available at: <http://sankeymatic.com/>
[Geopend 22 09 2020].

SER, 2020. *Biomassa in balans - Een duurzaamheidskader voor hoogwaardige inzet van biograndstoffen*, Den Haag: Sociaal-Economische Raad.

SNB, 2020. *Jaarverslag 2019*. [Online]
Available at: https://www.snb.nl/wp-content/uploads/2020/05/SNB_jaarverslag_2019.pdf
[Geopend 24 09 2020].

TU Delft, 2020. *e-Refinery*. [Online]
Available at: <https://www.tudelft.nl/e-refinery/>
[Geopend 24 09 2020].

TüV Rheinland, 2019. *Life Cycle Assessment for End of Life Treatment of Expandable Polystyrene (EPS) from External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS)*, Köln: TüV Rheinland.

van Veen, M., 2020. *Identifying the Greenhouse Gas Reduction Potential of Autogenerative High Pressure Digestion*, Utrecht: Universiteit Utrecht.

Vera, I. et al., 2019. A carbon footprint assessment of multi-output biorefineries with international biomass supply: a case study for the Netherlands. *Biofuels, Bioproducts & Biorefining*, Volume 14, pp. 198-224.

Waar staat je provincie, 2020. *Weglengte*. [Online]
Available at:

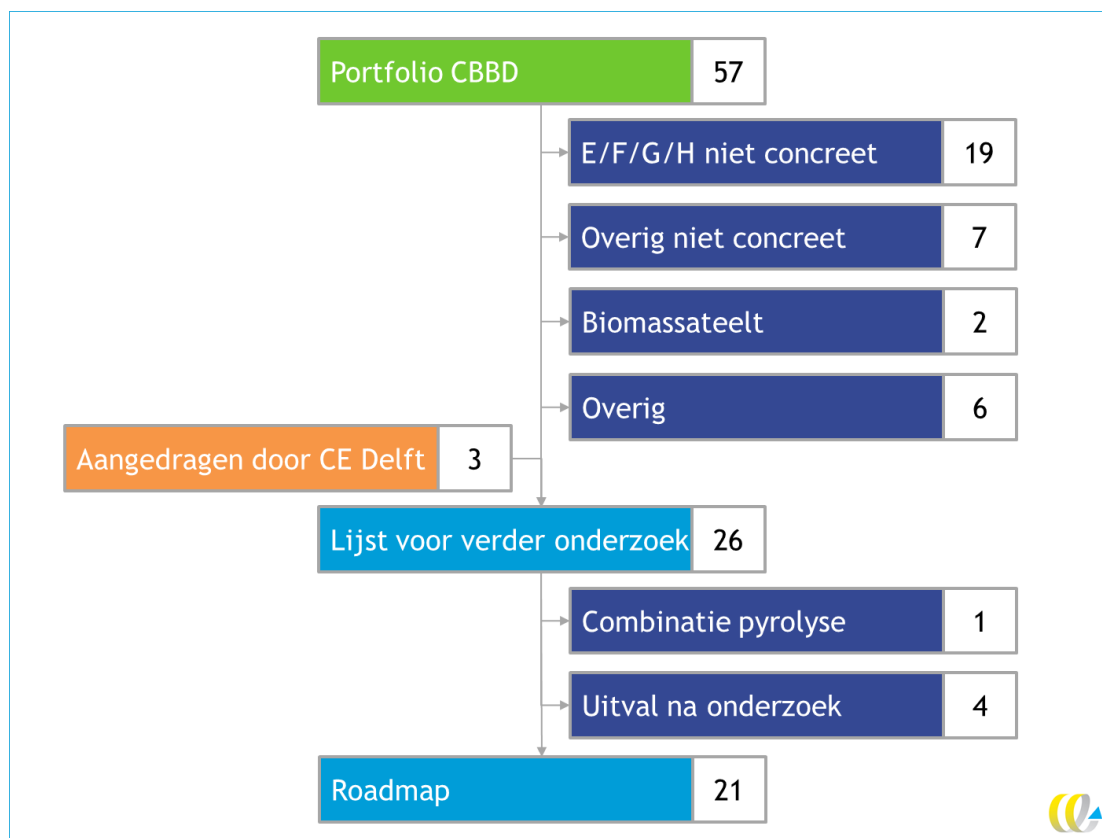


<http://www.waarstaatjeprovincie.nl/Paginas/Verkeer%20en%20vervoer/Weglengte.aspx>
[Geopend 30 10 2020].

A Selectie projecten

De aanpak van de selectie van de projecten wordt samengevat in Figuur 9.

Figuur 9 - Aanpak selectie van projecten



In de volgende paragrafen worden de niet meegenomen projecten in meer detail beschreven.

A.1 Categorie E/F/G/H

De projecten uit de categorieën E: Bouw, F: Infra, G: Mobiliteit en H: Miscellaneous³⁷ zijn niet kwantitatief meegenomen omdat deze projecten op twee na niet concreet genoeg zijn om aan te rekenen. Daarnaast betreft het een veelheid aan zeer uiteenlopende producten en productieroutes, met ieder slechts een beperkt potentieel voor CO₂-reductie. Deze categorieën zijn daarom kwalitatief behandeld in Hoofdstuk 4.

³⁷ Zie Paragraaf 2.1.1 voor alle categorieën binnen het projectportfolio van Circular Biobased Delta.

A.2 Niet meegenomen projecten

Na uitsluiting van projecten uit de categorieën E/F/G/H zijn er nog 38 projecten over. Om diverse redenen zijn hier nog een aantal projecten van uitgesloten:

Tabel 6 - Overzicht uitgesloten projecten

Projectnaam	Reden uitsluiting
Groene Chemie HIC	Geen specifiek project gedefinieerd
Other, tbd	Geen specifiek project gedefinieerd
Other, tbd	Geen specifiek project gedefinieerd
e-Refinery	Geen specifiek project gedefinieerd
Diverse projecten	Geen specifiek project gedefinieerd
Other, tbd	Geen specifiek project gedefinieerd
Precisielandbouw	Biomassateelt
Biomassa van gedegenerende gronden	Biomassateelt
Etheen uit stookgas	Niet biobased of circulair
Waterstof uit vergassing van getorrificeerde biomassa	Laagwaardig gebruik, niet volgens ladder cascadering
FDCA Avantium	Elders al gerealiseerd
Redefinery	Geschrapt door initiatiefnemers
RJ Bioenergy	Variant op houtpellets vervangen door bagasse pellets
DSD direct processing	Dubbel vermeld

Hieronder lichten we enkele projecten in meer detail toe.

A.2.1 Groene Chemie HIC

Dit project betreft eigenlijk een ‘mandje’ aan projecten binnen het havenindustriële complex (HIC) Rotterdam, die verder niet voldoende gespecificeerd waren om mee te kunnen nemen.

A.2.2 e-Refinery

e-Refinery is een onderzoeksprogramma van de TU Delft dat onderzoekt hoe de brandstoffen en chemicaliën van de toekomst gemaakt kunnen worden middels elektrolyse (TU Delft, 2020). Dit project is niet onderzocht omdat het een onderzoeksprogramma betreft, zonder concrete case om door te rekenen.

A.2.3 Chemicals uit suikerbieten

Uit de suikers en reststromen van suikerbieten kunnen groene chemicaliën gemaakt worden. Er is echter niet omschreven over welk product het precies gaat, daarom is dit project in eerste instantie uitgesloten. Later is in overleg met suikerbietenverwerker Cosun Biobased besloten om als voorbeeldproject de productie van PLA uit 100 kton/j suikerbieten mee te nemen.

A.2.4 Precisielandbouw

Precisielandbouw betreft het zo nauwkeurig en efficiënt mogelijk bedrijven van landbouw met behulp van technologie. Hierbij wordt gestreefd naar een maximale opbrengst met een minimale dosering aan voedingsstoffen.

Het concept van precisielandbouw is te breed om aan te rekenen. Daarnaast betreft het de verbouwing van biomassa's, wat voor deze studie buiten de scope valt.

A.2.5 Meer biomassa van gedegenereerde gronden

Gedegenereerde gronden zijn door erosie of te intensieve landbouw zodanig aangetast dat ze ongeschikt zijn voor de meeste voedselgewassen. Deze grond kan echter wel geschikt zijn om bomen en grassen op te planten, die vervolgens weer gebruikt kunnen worden om materialen of chemicaliën van te maken.

Het concept van meer biomassa van gedegenereerde gronden is te breed om aan te rekenen. Daarnaast betreft het de verbouwing van biomassastromen, wat voor deze studie buiten de scope valt.

A.2.6 Etheen uit stookgas

Etheen uit stookgas betreft het omzetten van methaan uit de restgassen van naftakrakers in etheen. Deze route is niet meegenomen omdat het vooral een efficiencyverbetering van een fossiel proces is, zonder een sterke circulaire of biobased component. Daarnaast betreft het een onderzoeksroute op de Brightlands Campus Chemelot. Toepassing in de Delta is dus nog ver weg.

A.2.7 Waterstof uit vergassing van getorrificeerde biomassa

In het brigh₂ project wordt waterstof geproduceerd door vergassing van getorrificeerde biomassa. Vergassing van 50 MW getorrificeerde biomassa levert 6-6,5 kton groene waterstof op en 95 kton biogene CO₂. Waterstofproductie is een relatief laagwaardige toepassing van biomassa vergeleken met veel andere projecten in het portfolio van Circular Biobased Delta. Daarnaast kan waterstof in de toekomst goedkoop en CO₂-neutraal geproduceerd worden door elektrolyse van water met CO₂-neutrale elektriciteit.

A.3 Aangedragen door CE Delft

Om het portfolio verder aan te vullen, heeft CE Delft in overleg met Circular Biobased Delta een aantal projecten aangedragen.

Tabel 7 - Projecten die aangedragen zijn door CE Delft

Projectnaam	Reden aandragen
Ionika	Circulaire route zonder kwaliteitsverlies en een gering energieverbruik
PolyStyreneLoop	Circulaire route zonder kwaliteitsverlies en een gering energieverbruik
HTU	Hoogwaardige verwaarding van natte reststromen

A.4 Combinatie pyrolyse

Veel van de meegenomen projecten maken gebruik van pyrolyseprocessen, waarbij een aantal projecten onderling sterk vergelijkbaar zijn. In overleg met Circular Biobased Delta hebben we niet alle initiatiefnemers gecontacteerd, maar de projecten waar mogelijk slim gebundeld. We nemen de volgende pyrolyseprojecten mee:

1. Conventionele pyrolyse van gemixte plastics:
 - Pyrolyse Patpert Teknow;
 - Pyrolyse Waste4ME.
2. Geïntegreerde hydrolyse van gemixt plastic en papier (proxy).
3. Shell HTU-technologie voor natte organische reststromen.

Voor conventionele pyrolyse beschouwen we twee werkelijke projecten. Voor geïntegreerde hydrolyse nemen we de capaciteit van alle projecten samen en kennen we die dezelfde CO₂-reductie en kosten toe op basis van een algemeen geldige LCA. Voor Shell HTU beschouwen we wel het daadwerkelijke project.

‘Gewone’ hydrolyse wordt niet meegenomen. Dit is een conventioneel pyrolyseproces waarbij het dieselproduct wordt nabehandeld met extern aangeleverde waterstof zodat dit voldoet aan de geldende brandstofsspecificaties. Voor een feedstock van plastics is deze nabehandeling niet nodig om aan de specificaties te voldoen. Voor een feedstock met (gedeeltelijk) biomassa kan het hydrolyseproces vanwege de hoge kosten (en milieu-impact) van de externe waterstof niet concurreren met geïntegreerde hydrolyse.

A.5 Projecten die na verder onderzoek zijn afgefallen

Enkele projecten zijn in eerste instantie wel meegenomen, maar bleken na verder onderzoek om uiteenlopende redenen niet geschikt voor opname in de routekaart.

A.5.1 Pulp2Value

De verwaarding van suikerbietenpulp tot (specialty) chemicals en andere hoogwaardige producten is nog volop in ontwikkeling. Initiatiefnemer Cosun Biobased gaf aan (nog) niet bereid te zijn om zijn medewerking te verlenen aan dit project.

A.5.2 Aquatische biomassa

De verbouwing van aquatische biomassa staat nog in de kinderschoenen. Na contact met de Hogeschool Zeeland en het Koninklijk Nederlands Instituut voor Onderzoek der Zee (NIOZ) bleek zowel de verbouwing als de verwaarding van aquatische biomassa in Nederland zich nog in het stadium van fundamenteel onderzoek te bevinden. Het is nog onduidelijk welke omvang de verbouwing van zeewier zou kunnen bereiken en welke producten er uit zeewier gehaald kunnen worden. De verwachte bijdrage aan CO₂-reductie in de Deltaregio voor 2030 is dan ook vrijwel nihil.

A.5.3 Biorizon Horizon 1 - Thermochemical processes

Horizon 1 van het Biorizon programma beoogt de productie van aromatenrijke stromen uit lage kwaliteit lignine door middel van een robuust en breed inzetbaar thermochemisch proces. Deze technologie is nog sterk in ontwikkeling en er is nog onvoldoende informatie beschikbaar over de prestaties van het proces en het energieverbruik om uitspraken te kunnen doen over de CO₂-reductie.

A.5.4 Biorizon Horizon 3 - Lignin to bioaromatics

Biorizon Horizon 3 gebruikt hoogwaardige lignine en produceert middels een katalytische omzetting direct aromaten uit de lignine. De technologie is echter nog niet ontwikkeld genoeg om hier mee te nemen, er is nog onvoldoende informatie beschikbaar om de CO₂-reductie en kosten te kunnen bepalen.

A.5.5 Synova

Synova is de commerciële partij die de OLGA/MILENA-pyrolysetechniek van TNO verkoopt. Deze technologie is nog in ontwikkeling en kan ingezet worden om vele verschillende eindproducten te maken. TNO en Synova hebben aangegeven in dit stadium nog niet te kunnen meewerken aan het project.

B Details methode kosten-effectiviteit

B.1 Opzet van de berekening

De kosteneffectiviteit wordt berekend als de onrendabele top gedeeld door de CO₂-emissiereductie en wordt uitgedrukt in €/t CO₂.

$$\text{Kosteneffectiviteit [€/t CO}_2\text{]} = \frac{\text{Onrendabele top [€]}}{\text{CO}_2 \text{ reductie [t CO}_2\text{]}}$$

De onrendabele top wordt bepaald door de som van alle opbrengsten af te trekken van de som van alle kosten.

$$\text{Onrendabele top} = \sum \text{opbrengsten} - \sum \text{kosten}$$

Voor alle kosten en opbrengsten rekenen we met een gunstige en een ongunstige waarde. De maximale onrendabele top wordt gevormd door de lage inschatting van de opbrengsten minus de hoge inschatting van de kosten. Voor de minimale onrendabele top gebruiken we juist de hoge inschatting van de kosten en lage inschatting van de opbrengsten.

B.2 Details per kostenpost

In Tabel 8 staan de aannames per kostenpost, na de tabel volgt een korte toelichting.

Tabel 8 - Aannames kosteneffectiviteit per kostenpost

Post	Bron	Laag	Hoog
Investeringskosten	Via initiatiefnemers	Nominaal -10%	Nominaal +30%
WACC	SDE++	5,9%	
Levensduur	SDE++	15 jaar	
Restwaarde	SDE++	0%	
Operationele kosten incl. energie	(Anderson, 2009)	5% van investering	10% van investering

De jaarlijkse kapitaallasten worden gevormd door de investeringskosten, de weighed average cost of capital (WACC), de veronderstelde levensduur en de restwaarde. Voor de WACC, de levensduur en de restwaarde volgen we de aannames in het conceptadvies SDE++ 2021 (PBL, 2020).

De jaarlijkse operationele kosten zijn geschat op 5-10% van de investeringskosten (Anderson, 2009). De operationele kosten omvatten onderhoud, energiegebruik en administratie. Arbeid is niet begijferd.

CE Delft heeft geen toegang tot een database met grondstofprijzen, zoals diverse markt-onderzoeksbureaus tegen betaling aanbieden. De prijzen van de grondstoffen en producten zijn dan ook bepaald op basis van historische data, inschattingen uit ander onderzoek en de actuele prijzen zoals aangeboden op alibaba.com. Omdat de data uit veel verschillende

bronnen komen, zijn de prijzen niet op hetzelfde moment gebaseerd. De ene prijsschatting kan dus gebaseerd zijn op een hoge olieprijs, een andere prijsschatting juist op een lage olieprijs. We nemen dan ook zowel een waarde aan de onderkant van het bereik als een waarde aan de bovenkant van het bereik om de effecten van deze spreiding te dempen.

C Welk deel van de CO₂-reductie valt in Nederland?

C.1 Waarom maakt het uit waar de CO₂-reductie terecht komt?

Het is niet vanzelfsprekend dat projecten die over hun levenscyclus zorgen voor een reductie van de CO₂-emissies ook zorgen voor lagere CO₂-uitstoot op Nederlands grondgebied. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de fabriek van het nieuwe product in Nederland gebouwd wordt, maar het vervangen product in het buitenland geproduceerd wordt. Als beide producten op de wereldmarkt verkocht worden, kan deze situatie leiden tot een *toename* van de uitstoot op Nederlands grondgebied doordat de productie effectief van het buitenland naar Nederland verplaatst wordt.

In het Klimaatakkoord heeft Nederland doelen gesteld voor de CO₂-reductie in 2030 op haar eigen grondgebied. Iedere sector heeft een reductiedoel van een vast aantal tonnen CO₂ gekregen. Dit doel blijft hetzelfde ongeacht de ontwikkeling van een sector. Als een sector groeit, moet de CO₂-uitstoot per hoeveelheid geproduceerd product dus sterker gereduceerd worden. Op dezelfde manier moet eventuele extra uitstoot van nieuwe fabrieken ook gecompenseerd worden. Nieuwkomers hebben dus invloed op de inspanning die de bestaande industrie moet leveren. Door dit goed in kaart te brengen, kan de overheid tijdig bijsturen om de klimaatdoelen te halen.

C.2 Hoe hebben we de locatie van de CO₂-reductie bepaald?

Ieder project maakt een of meerdere producten. De CO₂-reductie is bepaald door een referentieproduct te beschouwen. We hebben de levenscyclus van ieder project opgedeeld in drie fases voor zowel het product als het referentieproduct:

- winning van de grondstoffen;
- productie van het product zelf;
- behandeling aan het einde van de levensduur.

Aan de hand van de LCA stellen we vast hoeveel de emissies bedragen voor iedere fase. We gebruiken een verdeling van 20%/40%/40% over de levensfasen als de LCA de verdeling niet in voldoende detail beschrijft.

Vervolgens bekijken we per fase waar de activiteiten hoofdzakelijk plaatsvinden, waarbij we een keuze maken tussen de locaties Nederland, buitenland en de globale markt. Afhankelijk van de gekozen locatie rekenen we een deel van de emissies toe aan Nederland, waarbij we voor de wereldmarkt een bandbreedte hanteren:

Locatie	Emissie op NL grondgebied
In Nederland	100%
In het buitenland	0%
Op de wereldmarkt	0%-100%

Tenslotte kunnen we een bandbreedte bepalen voor de netto reductie op Nederlands grondgebied. Dit doen we door voor zowel het nieuwe project als de referentie de minimale of de maximale waarde van de uitstoot op Nederlands grondgebied te nemen. Dit resulteert in twee schattingen van de emissiereductie op Nederlands grondgebied, die samen de bandbreedte vormen.

C.3 Hoeveel bedraagt de CO₂-reductie op Nederlands grondgebied?

De CO₂-emissie op Nederlands grondgebied neemt in het ongunstigste geval toe met 0,7 Mton per jaar en neemt in het gunstigste geval af met 4,3 Mton per jaar. De maximale afname van 4,3 Mton/j is lager dan de reductie van de routekaart. Dit was te verwachten, de reductie van de routekaart zou enkel gehaald worden als de volledige keten van zowel het nieuwe product als het referentieproduct geheel op Nederlands grondgebied zou liggen.