



Verkenning uitsorteren en recyclen van bioplastic PLA

Analyse van kosten, baten en CO₂-
emissiereductie voor PLA van
consumentenverpakkingen



Verkenning uitsorteren en recyclen van bioplastic PLA

Analyse van kosten, baten en CO₂-emissiereductie voor PLA van consumentenverpakkingen

Dit rapport is geschreven door:
Geert Bergsma
Reinier van der Veen
Martijn Broeren

Dit project wordt door CE Delft uitgevoerd vanuit het Syntero-consortium

Delft, CE Delft, september 2019

Publicatienummer: 19.2R82.055

Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Geert Bergsma (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.

SYNTERO

MUCONSULT • URHAHN • VINU • BUREAU BUITEN • SEO • CE-DELFT • ARUP • 4CAST • SIGNIFICANCE • STERK CONSULTING • TO70



Samenvatting

Bioplastics passen goed in een circulaire economie, met name als ze aan het eind van hun levensduur zoveel mogelijk gerecycled worden (CE Delft, 2017a). Sommige bioplastics, zoals bio-PET en bio-PE, worden op dit moment al gedeeltelijk gerecycled. Zij worden ook uitgesorteerd uit het kunststof consumentenafval voor recycling. De bioplastic PLA (polymelkzuur) die als derde bioplastic in volume gebruikt wordt als verpakkingsmateriaal, wordt nog niet uitgesorteerd voor recycling. In dit onderzoek is verkend of dit mogelijk is en wat hiervan de kosten, de baten en milieuvoordelen zouden zijn. De verkenning richt zich op de bioplastic PLA in het kunststof verpakkingsafval van consumenten in Nederland, nu en in 2030.

De focus op PLA in deze analyse betekent niet dat PLA beter of duurzamer zou zijn dan bio-PE of bio-PET of nog andere biokunststoffen. Deze focus is puur gekozen omdat PLA de grootste bioplastic op de verpakkingenmarkt is die nu nog niet uitgesorteerd wordt voor recycling. In dit onderzoek is geen vergelijking gemaakt van verschillende bioplastics maar is gekeken naar een toename van PLA en andere biokunststoffen volgens huidige marktverdeling.

PLA-volume in de markt nu en in 2030

We schatten in dat het aandeel PLA in kunststof verpakkingsafval van huishoudens op het moment 0,1 à 0,4% bedraagt op basis van opgaven van fabrikanten en meting van afval. PLA-producent Total Corbion schat in dat PLA een marktaandeel van 10 tot 20% in 2030 zou kunnen innemen van verpakkingen die geen fles of flacon zijn. In de totale consumentenverpakkingenmarkt zou het gaan om 7 tot 15%. De transitieagenda kunststoffen, gemaakt in het kader van het Rijksbrede programma voor de circulaire economie, mikt op 15% virgin bioplastics in 2030. Vertaald met het aandeel van PLA nu in de verpakkingenmarkt en rekening houdend met onzekerheden geeft dat een toekomstbeeld van 1 à 8,5% PLA in de verpakkingenmarkt in 2030.

Uitsorteren van PLA met NIR-installaties

PLA kan met een NIR-installatie (Near InfraRed) worden uitgesorteerd. Verpakkingen worden daarbij optisch herkend op een band en na herkenning uit de afvalstroom geblazen. Een proef met Duits afval komt op een uitsorteerrendement van 55%, maar hier werd gebruik gemaakt van lastig sorteerbare verpakkingen en suboptimale systeeminstellingen. NIR-leverancier TOMRA noemt een sorteerrandement voor 3D-PLA van 80-85%. Deze cijfers zouden met Nederlands afval getoetst kunnen worden middels een sorteerproef met een bronscheider, een nascheider en een techniekleverancier.

Mechanisch of chemische recycling van PLA en klimaatvoordeel

De uitgesorteerde PLA kan zowel mechanisch als chemisch worden gerecycled. Mechanische recycling van PLA wordt al toegepast op specifieke bedrijfsafvalstromen die vrij schoon zijn. Chemische recycling wordt door Total Corbion in Thailand al toegepast op productieafval. Beide routes leiden tot een vermindering van de wereldwijde klimaatimpact



van ca. 1,1 kg CO₂-eq. per kg afgedankt PLA, ten opzichte van verbranding in afval-energiecentrales.

Kosten en baten

In een analyse van de rentabiliteit van PLA-sortering zijn de investeringskosten van een PLA-sortersysteem en operationele kosten van PLA-sortering ingeschat in dialoog met een aantal huidige sorteerdere. Daarnaast is in dialoog met PLA-producenten ingeschat hoeveel uitgesorteerd PLA-materiaal zou kunnen opleveren als dit (chemisch) weer wordt omgezet in nieuw PLA. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen 3D-PLA (bakjes) en 2D-PLA (folie). Op basis van een gemiddelde scheidingsinstallatie met een verwerkingscapaciteit van 50 kton kunststof verpakingsafval zijn hiermee de netto contante waarde, terugverdiendtijd en de onrendabele top berekend voor verschillende percentages PLA in het kunststof verpakingsafval. Dit leverde de volgende uitkomsten op:

- Bij het huidige aandeel van 0,1-0,4% PLA in de verpakkingenmix is het uitsorteren van PLA niet economisch rendabel.
- Uitsorteren van 3D-PLA (bakjes en schaalpjes) is economisch rendabeler dan uitsorteren van 2D-PLA (folies).
- Als de groei van PLA-verpakkingen zich zou concentreren op 3D-PLA dan wordt, afhankelijk van vooral de marktprijs van melkzuur, het uitsorteren rendabel bij 1 à 5% PLA in de verpakkingenmix. De extra kosten voor sortering kunnen dan betaald worden uit de opbrengsten van het verkopen van uitgesorteerd PLA.
- Bij een optimistisch aandeel van 10% PLA in de verpakkingenmarkt is PLA-recycling voor sorteerdere en recyclere economisch aantrekkelijk vanwege de relatief hoge opbrengsten. De CO₂-eq.-reductie van recycling van PLA bedraagt dan ongeveer 16 kton/jaar ten opzichte van verbranding in afvalenergiecentrales (AEC's).

Deze analyse moet nadrukkelijk gezien worden als een eerste verkenning waarbij er gerekend is met een gemiddelde sortersituatie. Bij verschillende sorteerdere zal de situatie positief of negatief kunnen afwijken.

Beleidsconclusies

Om 15% bioplastics in 2030 te behalen is het waarschijnlijk ook (tijdelijk) nodig om bioplastics te stimuleren. Daarnaast is het te overwegen om bijvoorbeeld bij 2% PLA in de verpakkingenmarkt ook uitsortering en recycling van PLA te stimuleren. In de verpakkingenmarkt biedt het bestaande Afvalfonds Verpakkingen hiervoor goede mogelijkheden, omdat zij een administratie beheert van alle verpakkingen op de Nederlandse markt en ook de producentenverantwoordelijkheidsbijdragen int. Zo is het denkbaar dat de overheid (tijdelijk) een lager tarief voor bioplastics financiert. Daarbij zou het tarief voor bioplastics die gerecycled kunnen worden verschillen van degene waarvoor dat niet geldt. Dit sluit aan bij het beleid van het afvalfonds dat voor goed recyclebare verpakkingen vanaf 2019 een lager tarief hanteert. Op deze manier zou de overheid met weinig uitvoeringskosten in de verpakkingenmarkt bioplastics kunnen stimuleren.

Voor wat betreft het stimuleren van uitsorteren van bioplastics bij sorteerdere ligt een (tijdelijke) subsidieregeling voor sorteerbebedrijven voor de aanschaf van aanvullende sorteerinstallaties voor de hand. Een subsidie via het Afvalfonds daarvoor is ook mogelijk, maar indirecter. Dan zou het gaan om een (tijdelijke) premie op het sorteertarief wanneer PLA uitgesorteerd wordt. Aan de andere kant pleit voor een regeling via het Afvalfonds dat een deel van de sorteerdere in het buitenland zit en het subsidiëren van bebedrijven in het buitenland vragen oproept.



Aanbevelingen

- Voer in samenwerking met een bronscheider (bijvoorbeeld SUEZ) en een nascheider (bijvoorbeeld Omrin) en een techniekleverancier (bijvoorbeeld TOMRA) in de loop van 2019 een aantal tests uit met uitsorteeropstellingen ingesteld op PLA om meer inzicht te krijgen in het daadwerkelijk uitsorteren van PLA uit Nederlands afval (zie Bijlage B).
- Verken de optie om 2D-PLA uit te sorteren in een aparte foliesorteerinstallatie. Deze optie is niet meegenomen in deze studie, maar is mogelijk goedkoper en effectiever dan uitsortering in een kunststofsorteerinstallatie.
- Treed in overleg met het transitieteam kunststoffen om de doelstelling voor 15% biokunststoffen voor 2030 te voorzien van een roadmap met tussendoelen en een inschatting van verdeling over toepassingen (verpakkingen, andere toepassingen) en materialen.
- Sluit aan bij de bovenstaande roadmap aan met beleidsinstrumenten die de gewenste toename van bioplastics stimuleren bijvoorbeeld in samenwerking met het Afvalfonds en voeg daar bij toename van PLA in de verpakkingenmarkt tot ongeveer 2% een stimulans voor sorteerdere aan toe.
- Verken samen met het Afvalfonds Verpakkingen de gewenste combinatie van stimulering van soorten materialen en van recyclebaarheid in de verpakkingenmarkt.
- Analyseer bij daadwerkelijk invoeren van sortering en recycling van PLA uit huishoudelijk kunststofafval de verschillen tussen verschillende sorteerdere zodat het invoeringsplan aansluit bij zoveel mogelijk sorteersituaties.
- Treed in overleg met de Duitse overheid en het Duitse DSD-sorteersysteem met het doel te verkennen of een gezamenlijk systeem voor Nederland en Duitsland mogelijk is. Dit zou niet alleen schaalvoordelen geven maar zou ook het probleem oplossen dat dit afval niet uitgesorteerd wordt.
- Wellicht komen er in de toekomst andere sorteermethoden dan Near Infrared op de markt. Het is aan te bevelen hierbij gelijk de vraag te stellen of PLA ook eenvoudig is af te scheiden met deze methoden.

1 Introductie

1.1 Aanleiding en doelstelling

Uit eerder onderzoek van CE Delft naar de inpassing van bioplastics in een circulaire economie (CE Delft, 2017a) volgt dat bioplastics goed passen in een circulaire economie, vooral als ze zoveel mogelijk gerecycled worden. Recycling zorgt doorgaans voor lagere milieu-impacts dan composteren of verbranden. Sommige bioplastics zoals bio-PET en bio-PE worden voor een behoorlijk deel al gerecycled, terwijl andere bioplastics zoals PLA¹ op dit moment nog heel weinig worden gerecycled. PLA-afval uit bedrijven kan bijvoorbeeld al beperkt gerecycled worden², terwijl er voor PLA-afval van consumenten op dit moment geen recyclingroute voor handen is.

De analyse van CE Delft geeft ook aan dat recycling plastics ingebed moeten zijn in een complete circulaire aanpak voor (bio)plastics. Deze zou, voor zowel bioplastics als fossiele plastics, moeten bestaan uit:

- preventie: zo min mogelijk materiaal gebruiken;
- hergebruik: kunststofproducten en verpakkingen liefst meerdere malen gebruiken (zie bijvoorbeeld kunststof pallets);
- recycling: kunststofafval zoveel mogelijk recyclen;
- substitutie: fossiele plastics vervangen door bioplastics gemaakt uit duurzaam geproduceerde grondstoffen met lage klimaatimpact;
- zwerfafval voorkomen: voor zwerfafvalgevoelige producten die een grote kans hebben om in het milieu terecht te komen kiezen voor herontwerp, financiële premies voor retour (bijvoorbeeld statiegeld) of andere specifieke acties.

Dit onderzoek richt zich op het verkennen van de recyclingmogelijkheden voor consumentenafval van PLA. PLA is een bioplastic dat gemaakt wordt uit biologisch materiaal en dat daarmee biobased genoemd wordt. Daarnaast is het biologisch afbreekbaar in industriële composteerinstallaties en kan het daarmee biodegradeerbaar genoemd worden. Minder bekend is dat PLA ook gerecycled kan worden (zonder het dus af te breken), wat mogelijk milieuvordelen oplevert ten opzichte van biologisch afbreken.

Het doel van deze studie is om te verkennen of PLA-consumentenafval uitgesorteerd en gerecycled zou moeten worden. Dit wordt gedaan door de technische mogelijkheden te inventariseren, en te kijken onder welke omstandigheden het uitsorteren en recyclen financieel aantrekkelijk is. Daarnaast wordt gekeken naar de mogelijke milieubaten van PLA-recycling door de klimaatimpact van verschillende verwerkingsroutes voor afgedankt PLA-consumentenafval te vergelijken. Door de analyses van de kosten en klimaatimpact te combineren wordt een eerste inschatting van de kosteneffectiviteit van CO₂-eq.-reductie berekend. Tot slot worden conclusies getrokken, wordt gerelateerd aan het beleid en worden aanbevelingen gedaan voor vervolg.

¹ Polymelkzuur ofwel polylactide. 'PLA' is een afkorting van het Engelse 'polylactic acid'.

² Bijvoorbeeld door [Galactic](#).

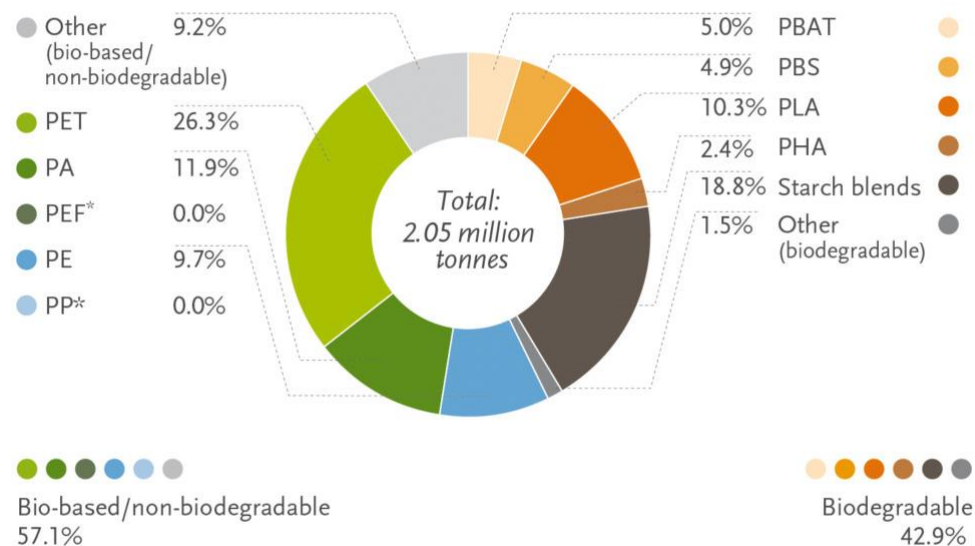


1.2 Onderbouwing focus op PLA

Naast PLA zijn er ook andere biobased en biologisch afbreekbare plastics in productie en ontwikkeling. Figuur 1 geeft een overzicht van de wereldwijde productiecapaciteit. Het huidige recyclesysteem in Nederland is alleen geschikt om bioplastics die lijken op fossiele plastics (zoals bio-PE en bio-PET) uit te sorteren en te recyclen. bio-PET is op dit moment de grootste bioplastic naar marktaandeel (ca. 26% in 2017) en wordt vooral ingezet in PET-flessen. Omdat bio-PET chemisch identiek is aan fossiel PET, kan het verwerkt worden in bestaande recyclingsystemen voor PET. Een nadeel van bio-PET is dat het maar gedeeltelijk biobased is (ca. 30%), en dus ook nog deels uit aardolie geproduceerd wordt. Ook bio-PE, dat 10% van de bioplastics markt inneemt, kan als folie of andere verpakkingen via bestaande systemen worden gerecycled.

Figuur 1 - Wereldwijde productiecapaciteit van biobased en biologisch afbreekbare plastics in 2017 naar kunststoftype

Global production capacities of bioplastics 2017 (by material type)



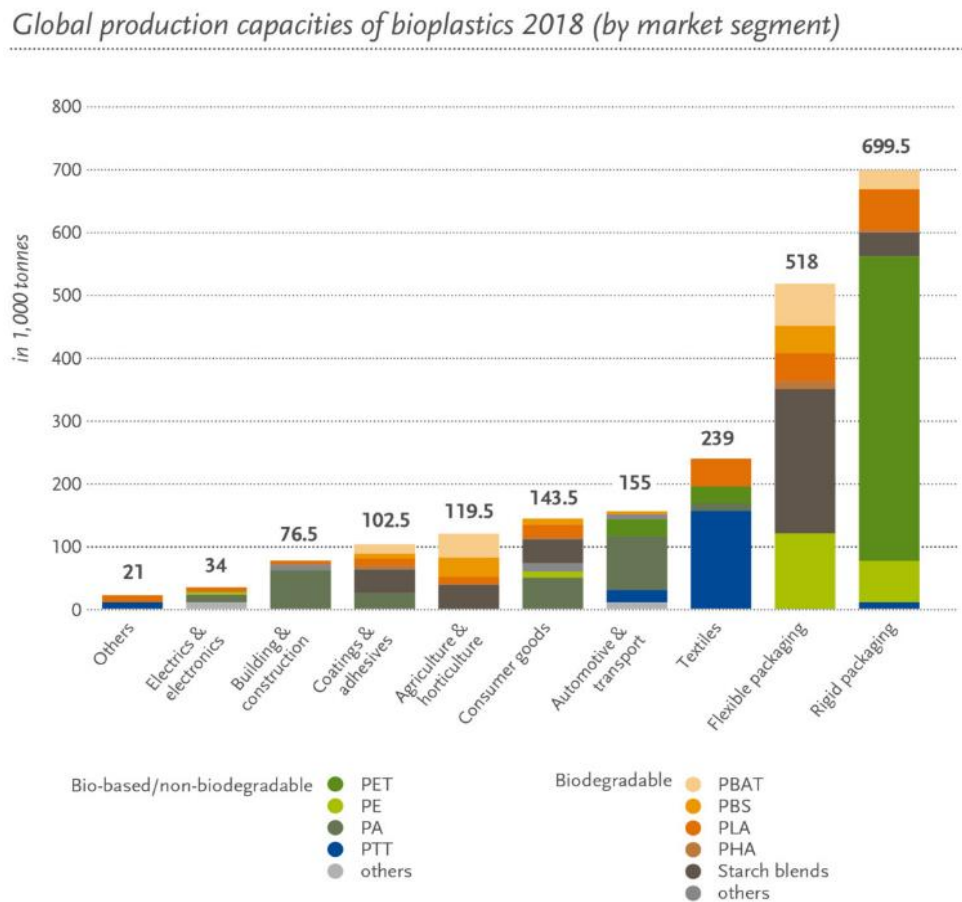
*Bio-based PP and PEF are currently in development and predicted to be available in commercial scale in 2020.

Source: European Bioplastics, nova-Institute (2017).

More information: www.bio-based.eu/markets and www.european-bioplastics.org/market

Eén van de meest voorkomende soorten bioplastics op de verpakkingenmarkt die nog niet gerecycled wordt, is PLA. Dit materiaal wordt toegepast voor vormvaste verpakkingen (ook wel rigid of 3D genoemd), en in mindere mate voor folies (ook wel 2D genoemd), zoals geïllustreerd in Figuur 2. Met name voor de vormvaste verpakkingen is het mogelijk om het aandeel bioplastic verpakkingen dat gerecycled wordt te verhogen wanneer PLA ook uitgesorteerd zou worden voor recycling. In het vervolg zou dit ook kunnen gelden voor zetmeel blends.

Figuur 2 - Wereldwijde productiecapaciteit van biobased en biologisch afbreekbare plastics in 2017 naar marktsegment



Bron: Website European Bioplastics.

De focus op PLA in deze analyse betekent niet dat PLA beter of duurzamer zou zijn dan bio-PE of bio-PET of nog andere biokunststoffen. Deze focus is puur gekozen omdat PLA de grootste bioplastic op de verpakkingenmarkt is die nu nog niet uitgesorteerd wordt voor recycling.

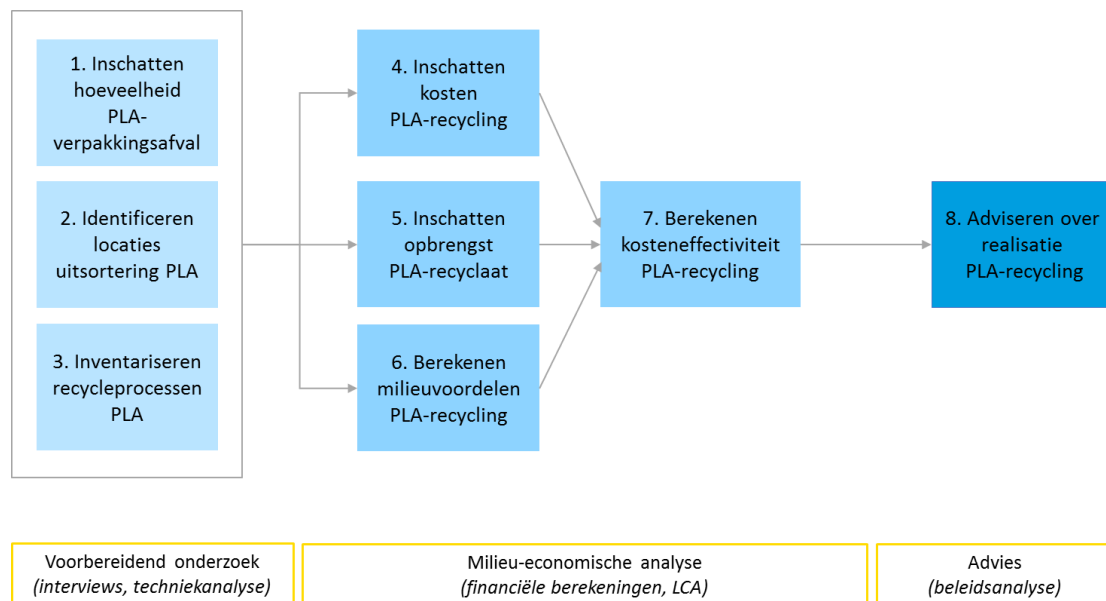
1.3 Onderzoeksaanpak

Het project bestaat uit de volgende stappen:

1. Inschatten van de hoeveelheid PLA die jaarlijks in verpakkingen wordt gebruikt voor Nederlandse huishoudens.
2. Identificeren van de locaties van uitsortering van Nederlands kunststof verpakkingsafval.
3. Inventariseren van de recycleprocessen (uitsorteer- en verwerkingsproces) van PLA.
4. Inschatten van de kosten van PLA-recycling.
5. Inschatten van de opbrengst van uitgesorteerd PLA.
6. Berekenen van de klimaatimpact van PLA-recycling.
7. Berekenen van de kosteneffectiviteit van het invoeren van PLA-recycling.
8. Adviseren over realisatie van PLA-recycling.

Figuur 3 illustreert de samenhang tussen de onderzoekstappen. De eerste drie stappen bereiden voor op de verkenning van kosten en baten van PLA-recycling, en vormen samen de inventarisatie (Hoofdstuk 2). Met behulp van deze informatie schatten we de economische kosten en baten in van het uitsorteren en recycelen (Hoofdstuk 3), en vergelijken we de klimaatimpact van verschillende verwerkingsroutes voor afgedankt PLA (Hoofdstuk 4). Uit de economische en milieukundige analyses wordt de kosteneffectiviteit van CO₂-reductie door PLA-recycling bepaald (Hoofdstuk 5). Tot slot vatten we de resultaten samen, schetsen we een langetermijnbeeld, trekken we voorlopige (beleids)conclusies en geven we advies over het al dan niet (versneld) realiseren van het uitsorteren en recycelen van PLA (Hoofdstuk 6).

Figuur 3 - Onderzoeksaanpak



2 Inventarisatie

2.1 Technologiebeschrijving en systeemafbakening

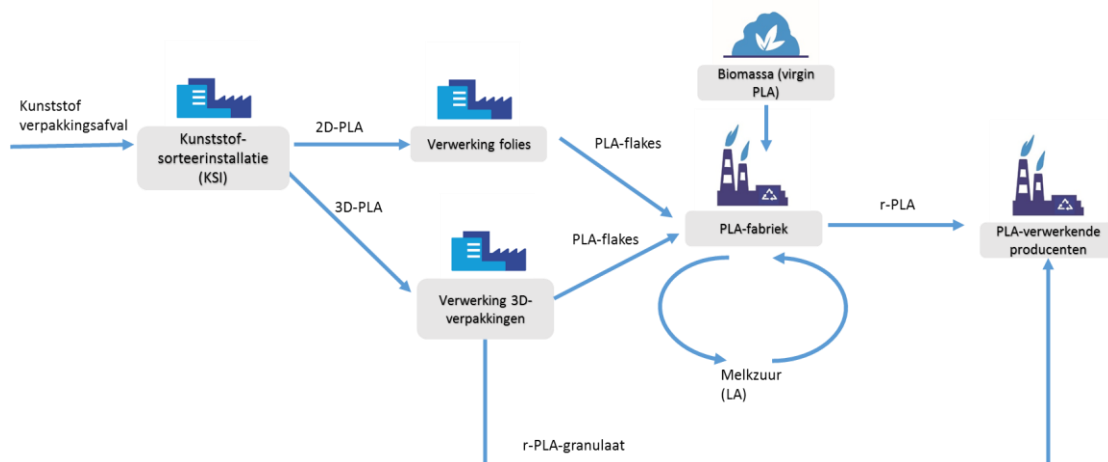
De verkenning richt zich op de bioplastic PLA in het kunststof verpakkingsafval van consumenten in Nederland, nu en in 2030.

Een belangrijk onderscheid bestaat tussen folies (2D) en rigide (3D) verpakkingen. Deze typen verpakkingen worden van elkaar gescheiden in de kunststofsorteerinstallatie (KSI), en worden apart verwerkt. In de KSI worden 2D-verpakkingen vroeg in het sorteerproces uitgesorteerd. Om zowel 2D-PLA als 3D-PLA te scheiden zijn dan ook meerdere NIR-installaties nodig. In deze verkenning voeren we daarom een aparte analyse van deze twee stromen uit.

De focus ligt echter op 3D-PLA. Deze stroom levert namelijk meer massa op (omdat een 3D-verpakking zwaarder is) en is gemakkelijker uit te sorteren. Ook zijn 2D-PLA-verpakkingen meer gericht op afdanking via de GFT-route, omdat ze extra voedselresten in de GFT-bak zouden kunnen realiseren.

In Figuur 4 is de relevante keten voor PLA-sortering en -recycling geïllustreerd.

Figuur 4 - Keten van PLA-sortering en -recycling



Kunststof verpakkingsafval wordt ofwel door de consument gescheiden via de PMD³-route (bronscheiding), ofwel bij de sorteerder (nascheiding). In geval van nascheiding scheidt de sorteerder eerst een kunststofstroom af van het ingezamelde restafval. Daarna wordt deze kunststofstroom op een vergelijkbare wijze gesorteerd als het PMD-afval. Sommige KSI's verwerken zowel brongescheiden als nagescheiden afval. Ca. 87% van het kunststof verpakkingsafval van Nederlandse huishoudens dat uiteindelijk gerecycled wordt, is afkomstig van een bronscheidingsstelsel (KIDV, 2017).

³ Apart ingezamelde plastics, metalen en drankkartonnen.

Dit onderscheid is beperkt relevant voor deze verkenning, omdat de bron scheiding en nascheiding soortgelijke kunststofstromen opleveren.

Wanneer zowel 2D-PLA als 3D-PLA uitgesorteerd worden, zal dit aparte stromen opleveren. De 2D-PLA kan tot flakes worden verwerkt in een verwerkingsinstallatie voor folies; de 3D-PLA in een verwerkingsinstallatie voor 3D-verpakkingen. Deze materialen kunnen vervolgens naar een recycler die mechanisch dit materiaal verder verbeterd net zoals dat gaat met PP, PET en PE. Beide typen PLA-flakes kunnen ook via chemische recycling worden omgevormd tot PLA-bouwstoffen zoals melkzuur (lactic acid; LA) of lactide, en tezamen met virgin LA uit biomassa worden gepolymeriseerd tot PLA. De PLA kan vervolgens worden gebruikt door PLA-verwerkende producenten om bijv. nieuwe PLA-verpakkingen van te maken. Melkzuur zelf kan ook verhandeld worden, en gebruikt worden voor andere toepassingen. We kijken hier echter specifiek naar de recycling tot nieuw PLA omdat dat meer bijdraagt aan het sluiten van de kringloop.

De conversie van gesorteerd PLA tot melkzuur is een vorm van chemische recycling. Een alternatief is mechanische recycling, waarbij uitgesorteerd PLA wordt verwerkt tot regranulaat (korrels), die weer kunnen worden gebruikt door producenten van verschillende typen producten. Wanneer er teveel vervuilende stoffen in het regranulaat zitten, kan dit ervoor zorgen dat de mechanische eigenschappen verslechteren ten opzichte van virgin PLA. Zo geeft Fraunhofer (2018) aan dat de trekkracht kan verminderen. Bij chemische recycling kunnen verontreinigingen gemakkelijker worden afgescheiden. Meer informatie volgt in Paragraaf 2.4.

Sorteren en verwerken van kunststof verpakkingsafval vindt soms plaats op dezelfde locatie (door hetzelfde bedrijf), en soms op verschillende locaties. In het laatste geval moet het uitgesorteerde PLA worden vervoerd naar de verwerker. PLA-synthese-installaties zijn grote fabrieken van internationale PLA-producenten. Het kan daarom nodig zijn om de PLA-flakes over grote afstanden te vervoeren.

2.2 Hoeveelheid PLA nu en in 2030

Huidige hoeveelheid

Het is niet exact bekend wat het huidige aandeel PLA is in het kunststof verpakkingsafval van consumenten in Nederland. Wereldwijd bedroeg de wereldwijde productiecapaciteit voor bioplastics ca. 0,5% van de totale plasticsproductie in 2017⁴, maar dit omvat meer dan alleen verpakkingen.

Binnen de markten voor rigide en flexibele verpakkingen van bioplastics is het marktaandeel van PLA zo'n 10% (Figuur 2). Binnen de rigide verpakkingen maakt dit PLA de meest gebruikte biologisch afbreekbare materiaalsoort.

⁴ De productiecapaciteit voor bioplastics bedroeg in 2017 ca. 2,05 miljoen ton per jaar (Paragraaf 1.2; data European Bioplastics), terwijl de globale productiecapaciteit voor plastics op 348 miljoen ton geschat werd (PlasticsEurope, 2018).



We schatten in dat het aandeel PLA in kunststof verpakkingsafval van huishoudens op het moment ongeveer 0,1 à 0,4% bedraagt. Volgens een schatting van de fabrikanten komt er jaarlijks ongeveer 1 kton op de markt (Holland Bioplastics, 2018) en de hoeveelheid kunststof verpakkingsafval van consumenten in Nederland is ongeveer 250 kton per jaar⁵. De resultaten van enkele recente sorteeranyses van de Wageningen Universiteit geven echter aan dat het aandeel PLA mogelijk dichterbij de 0,1% ligt (WUR, 2017). Beide analyses bevatten onzekerheid dus het echte aandeel zal waarschijnlijk tussen deze twee percentages liggen.

Hoeveelheid in 2030

PLA-producent Total Corbion (2018) schat in dat PLA een marktaandeel van 10 tot 20% zou kunnen innemen van die verpakkingen die geen fles of flacon zijn. Volgens KIDV (2017) is het aandeel flessen en flacons in Nederlandse verpakkingenmix van kunststof ongeveer 12%, exclusief de statiegeldflessen die ongeveer 10% van de huishoudelijke kunststof verpakkingen beslaan. Ongeveer 75% (100-12-10- marge 3) van de verpakkingen zou daarmee in principe van PLA gemaakt kunnen worden. Volgens de PLA-fabrikant is een marktaandeel van (10 à 20% * 75% =) 7 à 15% van de kunststof verpakkingenmarkt denkbaar.

De transitieagenda circulaire economie voor kunststoffen (2018)⁶ geeft als streven aan dat er in 2030 370 kton aan bioplastics⁷ wordt gebruikt door consumenten en bedrijven in Nederland, wat overeenkomt met 15% van de totale markt voor plastics. Naast verpakkingen gaat het hier ook om andere producten. Op het moment wordt ca. 40% van alle kunststoffen gebruikt voor verpakkingen. Voor bioplastics zien we wereldwijd echter dat ca. 1,2 miljoen ton van de totale productie van 2,1 miljoen ton in verpakkingen gebruikt wordt (Figuur 2). Dit betekent dat ca. 60% van de bioplastics in verpakkingen wordt toegepast. Als we daarnaast aannemen dat het marktaandeel van PLA binnen de bioplastics verpakkingen stabiel blijft op 10%, betekent het streefbeeld uit de transitieagenda dat er in 2030 zo'n (370 [kton bioplastics/jaar] * 60% [aandeel verpakkingen in totale bioplastics] * 10% [aandeel PLA in verpakkingen] =) 22 kton PLA per jaar gebruikt zou worden in verpakkingen.

De transitieagenda schat daarnaast in dat Nederlandse consumenten en bedrijven in 2030 jaarlijks 2460 kton kunststof gebruiken. Als, zoals nu, 40% daarvan verpakkingen zijn, komt 22 kton/jaar overeen met een PLA-percentage van 2,2% in verpakkingen.

Als de focus van het 15% bioplastics-doel in de transitieagenda nog meer op verpakkingen zou liggen (stel 90% in plaats van 60%) dan zou het PLA-percentage nog wat hoger kunnen liggen – rond de 3,3%. Als het marktaandeel van PLA nog iets hoger zou zijn dan is dus een marktaandeel van 5% denkbaar. Als de focus echter minder op verpakkingen zou liggen en het marktaandeel van PLA daalt dan zou het PLA-percentage ook lager kunnen uitkomen – in de orde van 1%. Als beeld schatten we het PLA-aandeel dat hoort bij het 15% doel daarmee op 1 à 5% van de consumentenverpakkingen.

⁵ Volgens het Afvalfonds Verpakkingen is in 2017 ca. 512 kton kunststof verpakkingsmateriaal op de markt gebracht voor gebruik door huishoudens en bedrijven (Afvalfonds Verpakkingen, 2018). Zo'n 50 tot 62% van de verpakkingen wordt gebruikt door consumenten (KIDV, 2017), wat neerkomt op zo'n 256 tot 317 kton per jaar.

⁶ [Transitieagenda Kunststoffen](#)

⁷ Het gaat hierbij om *virgin* biobased plastics. Het totale aandeel biobased plastics kan hoger zijn als via mechanische of chemische recycling ook biobased plastics geproduceerd gaan worden.



Als PLA grootschalig uitgesorteerd en gerecycled zou gaan worden uit de verpakkingen stroom dan komt er ook een recycalaat PLA-stroom beschikbaar die geschaard kan worden onder de doelstelling voor recycalaat in de transitieagenda. Met een denkbare toename van het recycling percentage van kunststof in 2030 naar 70% (België rapporteert nu al 80% en Nederland nu ca. 50%). Zou het betekenen dat het totaal marktaandeel van PLA (virgin en (chemisch)recycalaat) $5\% \times 1,7 = 8,5\%$ zou kunnen zijn.

2.3 Sorteerlocaties

In Tabel 1 staat een overzicht van locaties van sorteerinstallaties waar momenteel kunststof verpakkingsafval van Nederlandse consumenten wordt uitgesorteerd. Er zijn ook nog plannen voor enkele nieuwe installaties (Attero, 2018).

De sorteerinstallaties verwerken ieder ongeveer 20 tot 30 kton kunststof verpakkingen per jaar volgens Thoden van Velzen (WUR, 2014), maar er zijn meerdere KSI's met een hogere verwerkingscapaciteit (zie Tabel 1). De daadwerkelijke doorvoer van kunststoffen is echter 'iets lager', omdat de PMD-stromen ook metaal en drankenkartons en verontreinigingen bevatten (Rebel ; Partners for Innovation, 2018). Ook de kunststofmix uit nascheidingsafval bevat verontreinigingen, waardoor de doorvoer van huishoudelijke kunststof verpakkingen in KSI's lager is dan de verwerkingscapaciteit aangeeft.

In een analyse van PMD-afval in verschillende gemeentes, gepresenteerd in Eureco en WUR (2017), werd gevonden dat het aandeel van metaal en drankenkartons in PMD-afval ca. 15% is. Omdat er ook kunststof stoorverpakkingen, niet-verpakkingen en andere materialen in de PMD-stroom zitten, was het gevonden aandeel kunststof verpakkingen 61% (Eureco en WUR, 2017). In de kunststofmix die uit nagescheiden afval wordt gehaald was in een analyse van KplusV (2011) het aandeel vervuilende reststoffen 11-14%.

Tabel 1 - Locaties waar Nederlands kunststof verpakkingsafval van consumenten wordt gesorteerd

Sorteerlocatie ¹	Sorteerproces ¹	Capaciteit (kton/jaar) ²
Omrin Oudehaske	Nascheiding, bronscheiding	65
Attero Wijster	Nascheiding, bronscheiding	50
Attero Groningen	Nascheiding	
HVC Alkmaar	Nascheiding	-5
AEB Amsterdam	Nascheiding	-10
AVR Rotterdam	Nascheiding	-10
SUEZ Rotterdam	Bronscheiding	100
SUEZ Ochtendung (DE)	Bronscheiding	
Schonmackers Kerpen (DE)	Bronscheiding	
Schonmackers Kempen (DE)	Bronscheiding	
Augustin Meppen (DE)	Bronscheiding	
EGN Krefeld (DE)	Bronscheiding	
Tönsmeier Porta Westfalica (DE)	Bronscheiding	50

Bronnen: ¹: Attero (2018), ²: Rebel en Partners for Innovation (2018).

In de economische analyse van PLA-sortering (Hoofdstuk 3) verkennen we de rentabiliteit van de investering in een PLA-sorteersysteem vanuit het perspectief van een enkele KSI. Omdat zo'n investering in grotere KSI's eerder rendabel zal zijn – en we willen uitzoeken of zo'n investering überhaupt rendabel kan zijn – gaan we daar uit van een grote KSI met een



doorvoer van huishoudelijk kunststof verpakkingsafval van 50 kton per jaar. Dit correspondeert ongeveer met een verwerkingscapaciteit van 65 kton per jaar. In de gevoeligheidsanalyse (Paragraaf 3.5) wordt bekeken hoe sterk de rentabiliteit wordt beïnvloed door de jaarlijks doorgevoerde hoeveelheid huishoudelijk kunststof verpakkingsafval.

2.4 Processen PLA-recycling

2.4.1 Sorteren

Zowel 2D- als 3D-verpakkingen kunnen in principe met een NIR-installatie worden uitgesorteerd, maar voor folies is dit een stuk lastiger.

Sortersystemen

KSI's met een verwerkingscapaciteit van 20-30 kton/jaar kunnen ca. 2-3,5 ton kunststof verpakkingsafval per uur verwerken. De installaties gebruiken alle een soortgelijk proces: voorbehandeling, folie-afscheiding, NIR-sortering, handmatige controle op verontreinigingen (door zogenaamde 'handpickers'), opslag in bunkers en samenpersing tot balen (WUR, 2014).

Verschillende KSI's hebben verschillende combinaties van sorteerstappen (technieken), hebben één of twee sorteerlijnen, verwerken restafval (nascheiding) en/of PMD en doen soms ook aan verwerking op dezelfde locatie.

Het afscheiden van folies kan uitgevoerd worden met een ballistische scheider of met een windzifter en de mate van handmatige controle verschilt ook per KSI (WUR, 2014).

Sortersysteem voor PLA

PLA kan met een NIR-installatie worden uitgesorteerd. Figuur 5 laat zien waaruit zo'n sortersysteem is opgebouwd en hoe deze werkt. De installatie maakt gebruik van een infraroodscanner en een detectiesysteem, waarmee het materiaal van een verpakking op de band kan worden geïdentificeerd. Iedere kunststofsoort heeft namelijk een uniek lichtintensiteitspatroon. Een NIR-scanner staat meestal ingesteld op identificatie van een specifieke kunststof (WRAP, 2008). Met een luchtstoot kunnen vervolgens verpakkingen van het positief geïdentificeerde materiaal op een aparte band of in een aparte bunker worden geschoten.

3D-PLA kan worden uitgesorteerd met een enkele NIR-installatie vlak voor of na het uitsorteren van PE, PP en PET (die ook met een NIR-installatie worden uitgesorteerd). 2D-PLA uitsorteren vergt zeer waarschijnlijk twee NIR-installaties. Nadat de folies zijn gescheiden in grote en kleine folies, kan met NIR-installaties de PLA uit beide stromen worden gehaald.

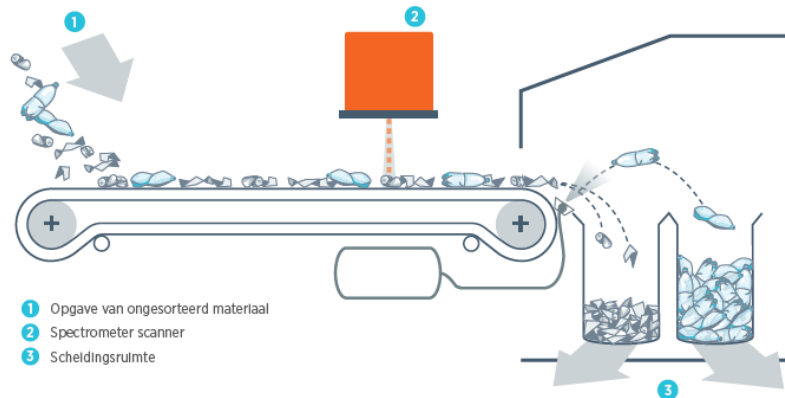
Het uitsorteren van folies is een stuk gecompliceerder dan het uitsorteren van vormvaste verpakkingen, en vindt daarom vaak in aparte installaties plaats waar in meerdere stappen verschillende foliematerialen van elkaar worden gescheiden. Mogelijk kan PLA in zulke folie-sorteerinstallaties goedkoper worden gescheiden, bijvoorbeeld op basis van soortelijk gewicht⁸ Deze sorteermogelijkheid voor 2D-PLA is niet meegenomen in deze verkenning.

⁸ Persoonlijke communicatie, de heer Vooijs namens Holland Bioplastic, februari 2019.



De ene locatie heeft meer ruimte voor een extra NIR-installatie, transportband en bunker dan de ander. Of een extra bunker nodig is, is wel de vraag. Sorteerders gaven aan dat een extra handpicker nodig zal zijn om een PLA-stroom van goede kwaliteit te verkrijgen (Attero, 2018; Omrin, 2018; SUEZ, 2018).

Figuur 5 - Illustratie van een NIR-installatie



Bron: (TOMRA Sorting, 2017).

Sorteerrendement

Het sorteerrendement geeft aan hoeveel gewichtsprocent van de PLA dat via de KSI binnenkomt effectief wordt uitgesorteerd met het PLA-sorteersysteem. Hoewel PLA-sortering in de praktijk nog niet plaatsvindt, zijn er wel al enkele sorteerproeven uitgevoerd.

Bij de PLA-sorteerproef die is uitgevoerd door KNOTEN WEIMAR werd 8% 3D-PLA-verpakkingsafval, bestaande uit transparante bekers, dessertbekers en vorken (zie Figuur 6) bijgemengd bij kunststof consumentenverpakkingsafval. In de proef werden vier NIR-installaties ingesteld op PLA, wat een sorteerrendement opleverde van 55%. De rest kwam terecht in andere stromen, volgens de verdeling weergegeven in Tabel 2. Hierbij moet opgemerkt worden dat PLA-bekers aan elkaar waren geplakt, die vanwege een te hoog gewicht niet konden worden uitgesorteerd (TU Chemnitz, 2017). Ook waren de NIR-installaties niet optimaal afgestemd op de scheiding van PLA, waardoor de luchtblazer soms te traag was. Verder kwamen veel vorken niet op de band terecht, omdat ze zo klein waren dat ze door de zeef vielen, en prikten de vorken in folies (KNOTEN WEIMAR, 2017).

Er zijn dus meerdere redenen om aan te nemen dat het sorteerrendement van PLA hoger kan liggen dan in de sorteerproef van KNOTEN WEIMAR is gebleken, zeker als het PLA-materiaal ook veel niet-transparante bakjes en schaaltes bevat. TOMRA (2018) geeft aan dat het sorteerrendement voor 3D-PLA 80-85% is, en dat het sorteerrendement voor 2D-PLA enkele procenten lager ligt.

Figuur 6 - PLA-materiaal in de sorteerproef van KNOTEN WEIMAR



Bron: (TU Chemnitz, 2017).

Tabel 2 - Verdeling PLA over afvalstromen in de sorteerproef van KNOTEN WEIMAR

Afvalstroom	Hoeveelheid PLA (kg)	Percentage van PLA in stroom
Lichte fractie	10	6,2%
Refuse-derived fuel	59	36,8%
Zware fractie	3,5	2,2%
Folies	0	0%
PLA	88	54,8%
Totaal	160	100%

Bron: (TU Chemnitz, 2017).

Kwaliteit PLA

De kwaliteit van het uitgesorteerde 3D-PLA (dat wil zeggen het massapercentage PLA in de uitgesorteerde PLA-stroom) in de sorteerproef van KNOTEN WEIMAR was direct na uitsorteren 70%. Na vermaling en windsifting van de PLA-stroom, waarbij met name stof werd verwijderd, was dit verhoogd tot 73%, en na wassen en dichtheidsscheiding was de 3D-PLA-kwaliteit 80% (KNOTEN WEIMAR, 2017).

Een sorteerproef uitgevoerd met Brits huishoudelijk kunststof verpakkingsmateriaal door WRAP (2008) leverde een veel hogere 3D-PLA-kwaliteit op van 97%, bij een doorvoer van 3 ton per uur. Volgens TOMRA (2018) levert uitsorteren van 3D-PLA met een NIR-installatie een kwaliteit boven de 90% op. Twee Britse sorteerproeven door WRAP (2008) leverde een kwaliteit van 79 en 86% op. TOMRA (2018) schat in dat de 2D-PLA-kwaliteit een paar procent lager is dan de 3D-PLA-kwaliteit, omdat folies moeilijker zijn uit te schieten, onder andere omdat folies meer bewegen op de band.

TOMRA verwacht dat de PLA-kwaliteit maar beperkt zal worden beïnvloed door eventuele toename van andere bioplastics in het afval, wanneer het sorteerprogramma van de NIR-installatie goed is ingesteld (TOMRA, 2018).

Kwaliteit andere monostromen

De in Nederland geldende specificaties voor sorteerproducten gemaakt van kunststof verpakkingen (DKR-specificaties) bepalen het maximale aandeel van verontreinigingen in de kunststof monostromen die uit een KSI komen (zie Tabel 3). Het percentage PLA dat in deze monostromen terecht komt moet dus in ieder geval lager zijn dan deze maximale aandelen.

Tabel 3 - Maximaal toegestane verontreiniging in kunststof monostromen

Sorteerproduct	Maximum aandeel verontreinigingen volgens DKR-specificatie
PET	2%
PE	6%
PP	6%
Folie	8%
Mengkunststof (MKS)	10%

Bron: Thoden van Velzen (WUR, 2014).

Verontreinigingstests in het Duitse PLA-project leverden op dat tot 3 massaprocent PLA in PP-recycalaat en tot 10 massaprocent in PS-regranulaat geen negatief effect hadden op de eigenschappen van de monostromen (Hiebel, et al., 2017). Uit literatuuronderzoek van Alaerts et al., (2018) blijkt dat meer dan 0,1% PLA in de PET-monostroom kan leiden tot vertroebeling en verkleuring van gerecycled PET en dat meer dan 2% PLA-samenklontering van flakes en aanslag in de drooginstallatie kan veroorzaken. Aan de andere kant geeft (Alaerts, et al., 2018) ook aan dat PET-recycling door nog veel lagere PVC-percentages (0,005%) verstoord kan worden en dat middels goed afgestelde NIR-installaties deze PVC-vervuiling voorkomen kan worden in de praktijk.

Met een NIR-installatie kan 85-96% van het PVC gescheiden worden (Alaerts, et al., 2018). Over het sorteersresultaat van NIR-installaties voor PLA worden verschillende resultaten gerapporteerd tussen de 86 en 99,6%. Dit is vergelijkbaar met het sorteerrendement van PVC. Aangezien het mogelijk is om <0,005% PVC-percentages in de PET-stroom te krijgen met behulp van een NIR-installatie, is het denkbaar dat het ook mogelijk is om <0,1% PLA in de PET monostroom te krijgen. In hoeverre dit in de praktijk mogelijk is spreekt (Alaerts, et al., 2018) zich niet over uit. Hierbij is een goede afstelling van de NIR-installaties om PVC- en PLA-vervuiling uit de PET-stroom te houden is dus cruciaal.

Resultaten van uitgevoerde sorteertests geven dus nog geen goed beeld van het percentage PLA dat in andere monostromen terecht komt. Met een PLA-sorteerproef bij een KSI zou dit kunnen worden onderzocht.

2.4.2 Recyclen

De recyclingstappen voor uitgesorteerd PLA zijn hetzelfde als die voor andere kunststofstromen.

Uitgesorteerd PLA kan worden verwerkt tot flakes of regranulaat/korrels. Voor chemische recycling is het voldoende om PLA te versnipperen tot flakes; voor mechanische recycling worden de flakes verder verwerkt tot regranulaat. Bij mechanische scheiding geldt net als bij andere kunststoffen de eis dat PLA als monomateriaal wordt toegepast in verpakkingen. Bij chemische scheiding is een beperkte combinatie met andere kunststoffen geen beperking.

De verwerking tot flakes begint met het malen van het kunststofafval tot kleine stukjes van ong. 10 tot 12 millimeter. Een mogelijke voorgaande stap is het shredderen, tot kunststof-fracties van ongeveer 15 tot 20 centimeter. Hierna wordt het maalgoed mogelijk gewassen, verder gesorteerd (gezuiverd), en gedroogd (NRK Recycling, 2014).



Mechanische recycling

De hoofdstap bij verdere verwerking tot regranulaat (in geval van mechanische recycling) is smeltzuiveren. De flakes worden gesmolten en de gesmolten massa wordt door een kleine opening geperst, waarbij filters vervuiling verwijderen. Zo ontstaan kunststoflierten die worden gekoeld en dan in kleine korrels (regranulaat) worden gehakt.

Bij folies worden de flakes vaak nog geagglomereerd (compact gemaakt) voor het smeltzuiveren, wat tot een hogere kwaliteit regranulaat leidt (NRK Recycling, 2014).

Mechanische recycling van PLA wordt al toegepast op specifieke bedrijfsafvalstromen die vrij schoon zijn.

Chemische recycling

Uitgesorteerd PLA kan gedepolymeriseerd worden tot PLA-grondstoffen zoals melkzuur of lactide, waarna deze weer in het PLA-productieproces kunnen worden ingevoegd.

Het proces van depolymerisatie is relatief energiezuinig (Total Corbion, 2018).

Verontreinigingen in de uitgesorteerde PLA-stroom zijn een probleem vanwege de afvalstroom die dit genereert en de lagere LA-opbrengst, wat suggereert dat een lagere kwaliteit van de uitgesorteerde PLA-stroom niet een onoverkomelijk probleem is (Total Corbion, 2018), zeker als het percentage PLA in de input boven de 90% ligt.



3 Verkenning kosten en opbrengsten

In dit hoofdstuk verkennen we de rentabiliteit van uitsortering van PLA door kunststof-sorteerders op basis van de economische kosten en opbrengsten van de investering in een PLA-sorteersysteem. We gaan in deze economische analyse ervan uit dat de PLA wordt gerecycled tot melkzuur (LA) en in het PLA-productieproces terechtkomt.

Hoewel in deze analyse zowel de investering in een 3D-PLA-sorteersysteem als de investering in een 2D-sorteersysteem in een KSI worden verkend, ligt de nadruk op 3D-PLA. Dit omdat 3D-PLA gemakkelijker en goedkoper is uit te sorteren in een KSI dan 2D-PLA, terwijl 2D-PLA mogelijk (zie Paragraaf 3.6) effectiever kan worden uitgesorteerd in een foliesorteerinstallatie.

We presenteren de opzet (Paragraaf 3.1), inputs (Paragraaf 3.2), aannames (Paragraaf 3.3) en de resultaten (Paragraaf 3.4) van de economische analyse van PLA-sortering, gevolgd door een gevoeligheidsanalyse (Paragraaf 3.5). Paragraaf 3.6 bevat de conclusie van deze deelanalyse.

De beschrijving van de kosten van PLA-sortering, de kosten van PLA-recycling (om de betalingsbereidheid voor uitgesorteerd PLA in te schatten) en de opbrengsten van uitgesorteerd PLA zijn te vinden in Bijlage A.

3.1 Opzet analyse

De analyse dient om de winstgevendheid te berekenen van de investering in PLA-sortering door sorteerders van huishoudelijk kunststof verpakkingsafval. We zijn daarbij met name geïnteresseerd in hoe deze winstgevendheid wordt beïnvloed door het gewichtspercentage van PLA in het kunststof verpakkingsafval (hier 'PLA-percentage'). Daarnaast willen we weten wat de hoogte van een overheidssubsidie per € per ton uitgesorteerd puur PLA (hier 'subsidie') zou moeten zijn om de onrendabele top van de investering af te dekken.

De analyse kijkt vanuit het perspectief van een sorteerder met een KSI. Daarbij worden drie cases meegenomen:

1. Investering in een sorteersysteem voor 3D-PLA.
2. Investering in een sorteersysteem voor 2D-PLA.
3. Investering in beide (3D-PLA + 2D-PLA).

Omdat 3D-PLA en 2D-PLA op verschillende punten in het sorteerproces moeten worden uitgesorteerd zijn aparte installaties nodig, waardoor de kosten van de laatste case ongeveer gelijk zijn aan de som van die van de eerste twee cases⁹.

De drie belangrijkste resultaten van de economische analyse zijn:

1. De *netto contante waarde (NCW)* van de investering in het PLA-sorteersysteem (in €).
2. De *terugverdiëntijd* van de investering (in jaren).
3. De *subsidie* die nodig is in geval van een onrendabele investering (in €/ton 100% PLA).

⁹ De kosten van tijdelijke stilstand van de KSI vormt daarop de belangrijkste uitzondering.



De **netto contante waarde** geeft de winstgevendheid van de investering aan. Het is de som van de inkomsten en uitgaven gedurende de economische levensduur, waarbij rekening wordt gehouden met het feit dat bedragen die nu worden uitgegeven of ontvangen niet dezelfde waarde hebben als bedragen die over een aantal jaar worden uitgegeven of ontvangen (de *tijds waarde* van geld), en met het risico dat gerelateerd is aan de investering. De NCW wordt berekend met de formule waarbij K_t de netto kasstroom

$$NCW = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1+d)^t}$$

(inkomsten min uitgaven) in het jaar t is, T de economische levensduur en d de disconteringsvoet. Bij een positieve NCW wordt de investering rendabel geacht; er wordt waarde gecreëerd.

De **terugverdiëntijd** wordt bepaald door de investeringskosten (CAPEX) te delen door de winst per jaar. Hierbij wordt geen rekening gehouden met de tijds waarde van geld; de kosten en uitgaven in een specifiek jaar worden dus niet verdisconteerd.

Als de NCW negatief is, is de **subsidie** gelijk aan de NCW gedeeld door de hoeveelheid 100% PLA die gedurende de economische levensduur wordt uitgesorteerd, en vermenigvuldigd met -1. Dit komt overeen met de (verdisconteerde) extra inkomsten die nodig zouden zijn om de NCW op nul te laten uitkomen, wat betekent dat de investering zichzelf terugverdient maar geen winst oplevert. Als de NCW positief is, is de benodigde subsidie nul.

De bovenstaande resultaten worden berekend voor verschillende PLA-percentages. In de berekening wordt ervan uitgegaan dat de verkoopprijs van uitgesorteerd PLA gelijk is aan de betalingsbereidheid van de verwerker, en indirect de PLA-producent (zie Paragraaf A.3). Dit is de hoogst mogelijke prijs die de sorteerder zou kunnen krijgen. Als de investering niet rendabel is bij deze prijs, dan is duidelijk dat er onder de aangenomen condities geen gunstige businesscase is. Hoe hoger de (positieve) NCW, hoe zekerder we kunnen stellen dat er een goede businesscase is.

Voor bovenstaande resultaten wordt een *ondergrens* en een *bovengrens* berekend, die voortkomen uit de ondergrenzen en bovengrenzen (ranges) van de verschillende kosten en opbrengsten. De ondergrens van de outputs wordt berekend door uit te gaan van hoogste kostenwaarden en laagste inkomstenwaarden, en vertegenwoordigt dus het meest pessimistische scenario, waarbij alle financiële waarden het meest ongunstig zijn. De bovengrens van de outputs wordt berekend op basis van de meest gunstige financiële waarden.

3.2 Inputwaarden

De inputwaarden voor de economische analyse staan in Tabel 4 en Tabel 5. Een toelichting op de inschatting van de kosten en opbrengsten van PLA-sortering en -recycling is te vinden in Bijlage A. De variabelen die specifiek voor deze analyse moeten worden bepaald, worden hieronder behandeld.



Tabel 4 - Inputwaarden economische analyse - PLA-sortering

Inputvariabele	Waarde 3D-PLA	Waarde 2D-PLA
Aandeel 3D-PLA/2D-PLA op totale hoeveelheid PLA	60%	40%
Sorteerrendement	80-85%	75-80%
Kwaliteit van uitgesorteerd PLA	90-97%	80-90%
Aantal NIR-installaties	1	2
Aantal transportbanden	1	2
Aantal bunkers	1	1
Aantal handpickers	1	2
Inputvariabele	Waarde	
Doorvoer kunststof verpakkingen in KSI	50 kton/jaar	
Investeringskosten NIR-installatie	€ 200.000-300.000	
Investeringskosten transportband	€ 20.000-40.000	
Investeringskosten bunker	€ 50.000-100.000	
Investeringskosten utilities	€ 40.000-80.000	
Periode van onderbreking sorteerproces	1 week	
Gemiddelde sorteervergoeding	150 €/ton	
Onvoorziene kosten (percentage van totale CAPEX)	5-10% (€)	
Energiekosten	4,4-6,1 €/ton	
Onderhoudskosten (percentage van totale CAPEX)	5-10% (€/jaar)	
Arbeidskosten één handpicker voor 24 uur per dag (ploegendienst)	150.000-275.000 €/jaar	
Economische levensduur (van sorteersysteem)	10 jaar	
Verdisconteringsvoet	8% (per jaar)	

Op basis van de informatie in Paragraaf 2.4.1 stellen we het *sorteerrendement* van 3D-PLA op 80-85% en de *kwaliteit van uitgesorteerd PLA* op 90-97%. Voor 2D-PLA nemen we een sorteerrendement van 75-80% en een PLA-kwaliteit van 80-90% aan.

De *verhouding tussen 3D-PLA en 2D-PLA* is een grove aanname. We weten immers niet hoe het gebruik van PLA als verpakkingsmateriaal zich gaat ontwikkelen. Ook de huidige verhouding is niet bekend. Omdat het hier gaat om een gewichtsverhouding en 3D-verpakkingen relatief zwaar zijn, en omdat 3D-PLA gemakkelijker is te sorteren en recycleren, verwachten we dat het aandeel 3D-PLA groter is.

Voor 3D-PLA is er maar één NIR-installatie, band, bunker en handpicker nodig, omdat het hier maar één afvalstroom hoeft te worden gesorteerd.

We nemen aan dat de componenten in het sorteersysteem voor 2D-PLA bestaan uit twee NIR-installaties, twee transportbanden, één bunker, en dat er twee *handpickers* nodig zijn. Grote en kleine folies worden vroeg in het sorteerproces van elkaar gescheiden, dus als er zowel grote PLA-folies als kleine PLA-folies in het kunststofafval zitten, en we deze beide fracties willen uitsorteren, zijn er twee NIR-installaties en banden nodig. We nemen hieraan dat de handpickers vereist zijn om een hoge PLA-kwaliteit te behalen, en dat beide 2D-PLA-fracties in dezelfde bunker terechtkomen.

De *doorvoer van kunststofverpakkingen in de KSI* wordt gesteld op 50 kiloton huishoudelijk kunststof verpakkingsafval per jaar. De verwerkingscapaciteit van de KSI is dan groter, aangezien zich ook andere materialen in de invoerstromen bevinden. Gelet op de percentages andere materialen zoals gevonden in analyses van afvalstromen correspondeert een doorvoer van 50 kton huishoudelijke kunststofverpakkingen per jaar met een verwerkingscapaciteit van ~65 kton/jaar. Dit is de capaciteit van een grote KSI.

Zie Paragraaf 2.3. Sorteerders noemen een afschrijvingsperiode van een NIR-sorteerinstallatie van tien jaar. In de investeringsberekening nemen we daarom een *economische levensduur* van tien jaar aan. Verder stellen we de *verdisconteringsvoet* op 8% (per jaar). Deze waarde wordt vaak gebruikt voor investeringen in nieuwe systemen. Omdat NIR een bestaande technologie is, en de uitsortering van PLA al met succes is getest, is deze waarde waarschijnlijk aan de hoge kant.

Tabel 5 - Inputwaarden economische analyse - PLA-recycling

Inputvariabele	Waarde
Marktprijs melkzuur (LA)	1.000-1.500 \$/ton
Wisselkoers dollar-euro	1,14 \$/€
Benodigde hoeveelheid LA voor PLA	1,3 ton LA/ton puur PLA
Transportkosten naar PLA-fabriek	100 \$/ton verontreiniging PLA
Proceskosten	200 \$/ton verontreiniging PLA
Residukosten	50-100 €/ton verontreiniging
Winstmarge PLA-producent	15-20%
Kosten vermalen tot flakes, wassen en drogen	200-250 €/ton verontreiniging PLA
Winstmarge verwerker	5-10%
Transportkosten	0,06-0,08 €/ton verontreiniging PLA/km
Transportafstand	100-200 km

De *winstmarge van de PLA-producent* op de recycling van PLA-flakes wordt gesteld op 15-20%. Daarnaast nemen we een *winstmarge van de verwerker* van 5-10% aan. Het verwerken van uitgesorteerd PLA kan met bestaande systemen, is een bekend en relatief simpel proces, en er is concurrentie tussen verwerkers. Het recyclen van uitgesorteerd PLA is een nieuw en complex proces, met in het begin nog relatief weinig concurrentie. Daarom nemen we een hogere winstmarge aan voor de PLA-producent.

De *totale transportafstand* die wordt afgelegd voor het vervoeren van balen uitgesorteerd PLA (van de sorteerder naar de verwerker), plus van PLA-flakes (van de verwerker naar de haven) stellen we op 100 tot 200 kilometer. We nemen hier aan dat het vervoerde gewicht hetzelfde is bij beide ritten.

3.3 Aannames

Naast de aangenomen inputwaarden zoals weergegeven in Tabel 4 en Tabel 5 hebben we voor de economische analyse nog de volgende aannames gedaan:

- De sorteerder verkoopt uitgesorteerd PLA aan een verwerker, die het PLA verwerkt tot flakes en verkoopt aan een PLA-producent. De verkoopprijs van uitgesorteerd PLA is gelijk aan de betalingsbereidheid van de verwerker, en indirect de PLA-producent. Deze betalingsbereidheid wordt berekend op basis van de marktprijs van melkzuur en de kosten van de PLA-producent/recycler en de verwerker (zie Paragraaf A.3). We nemen aan dat het Afvalfonds Verpakkingen geen sorteervergoeding geeft aan gemeenten voor het uitsorteren van PLA, en dat de sorteerder dus geen vergoeding van gemeenten ontvangt. Wel is aangenomen dat de mogelijkheid van verkoop van uitgesorteerd PLA is afgestemd met het Afvalfonds.
- De aangenomen samenstelling van het huishoudelijk kunststof verpakkingsafval voor Nederland geldt ook voor de KSI waarvoor de businesscase van PLA-sortering wordt berekend.



- De recyclingkosten en verkoopprijs van gerecycled PLA zijn hetzelfde bij recycling van 3D-PLA als bij 2D-PLA. De betalingsbereidheid is als gevolg hiervan ook hetzelfde.
- 2D-PLA-sortering wordt uitgevoerd in de KSI, met behulp van NIR-technologie.
- Al het uitgesorteerd PLA dat binnenkomt bij de verwerker wordt doorgevoerd naar de PLA-producent, en al het PLA dat binnenkomt bij de PLA-producent wordt omgezet in nieuw PLA. Er gaat dus geen PLA-materiaal verloren bij deze twee partijen.
- Het PLA in verpakkingen vervangt geen andere monostromen, waardoor er geen gedeelde inkomsten door vervanging van PLA van andere monostromen zijn. (In de gevoeligheidsanalyse in Paragraaf 3.5 wordt het effect van gedeelde inkomsten bestudeerd.)
- De restwaarde van het PLA-sorteersysteem aan het einde van de economische levensduur is nul. Dit is een conservatieve aanname.
- De KSI heeft voldoende ruimte om de PLA-sorteersystemen in te bouwen. Er zijn hooguit kleine aanpassingen aan bestaande installaties nodig om deze systemen in te passen, en de kosten die hiermee gemoeid zijn worden afgedekt door de post ‘onvoorziene kosten’.

3.4 Resultaten

De netto contante waarde, terugverdiëntijd en subsidie zijn berekend voor PLA-percentages van 1 tot 10%, uitgaande van de inputwaardes uit Tabel 4 en Tabel 5. Opgemerkt moet worden dat deze percentages de totale hoeveelheid PLA betreffen, ofwel de som van 3D-PLA en 2D-PLA. De aangenomen verhouding van 60% 3D-PLA en 40% 2D-PLA van het totale PLA-materiaal betekent dus dat de percentages 3D-PLA en 2D-PLA *ten opzichte van de totale hoeveelheid huishoudelijk kunststof verpakkingsafval* lager zijn. Deze percentages staan in Tabel 6.

Tabel 6 - Percentages totale PLA-hoeveelheid, 3D-PLA en 2D-PLA, alle ten opzichte van de totale hoeveelheid huishoudelijk kunststof verpakkingsafval

PLA-percentage in huishoudelijke kunststof verpakkingen	3D-PLA-percentage	2D-PLA-percentage
1,0%	0,6%	0,4%
2,0%	1,2%	0,8%
3,0%	1,8%	1,2%
4,0%	2,4%	1,6%
5,0%	3,0%	2,0%
6,0%	3,6%	2,4%
7,0%	4,2%	2,8%
8,0%	4,8%	3,2%
9,0%	5,4%	3,6%
10,0%	6,0%	4,0%

Netto contante waarde

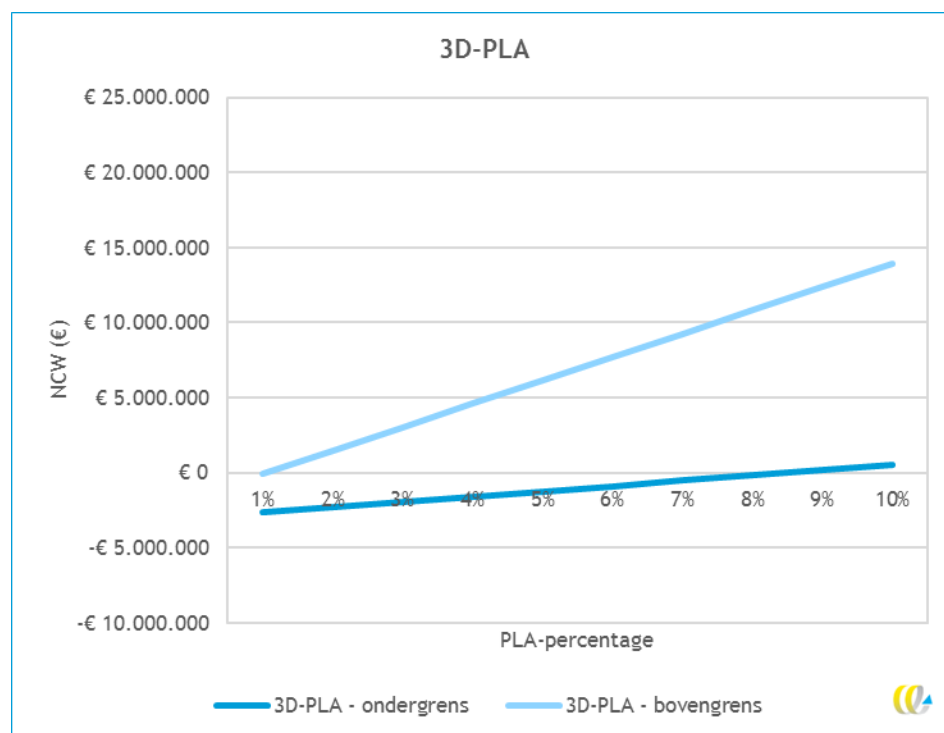
In Tabel 7 staan de netto contante waardes (in M€) van de investering van de sorteerder in uitsortering van 3D-PLA, 2D-PLA of beide, voor de verschillende PLA-percentages, en in de vorm van een range (ondergrens plus bovengrens; zie Paragraaf 3.1). Dezelfde resultaten zijn grafisch weergegeven in Figuur 7.

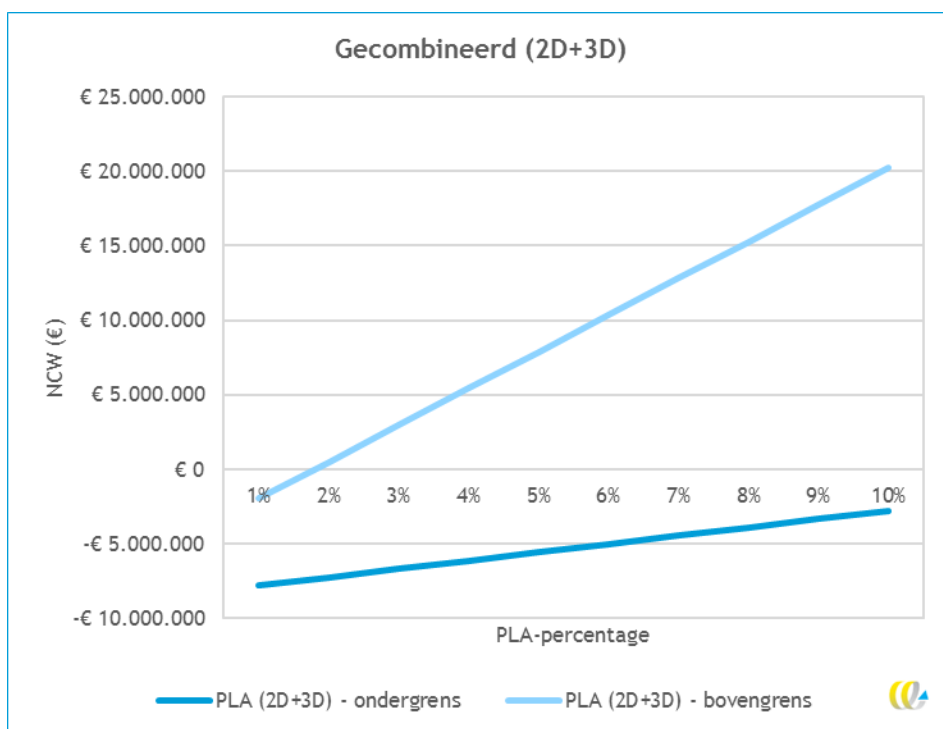
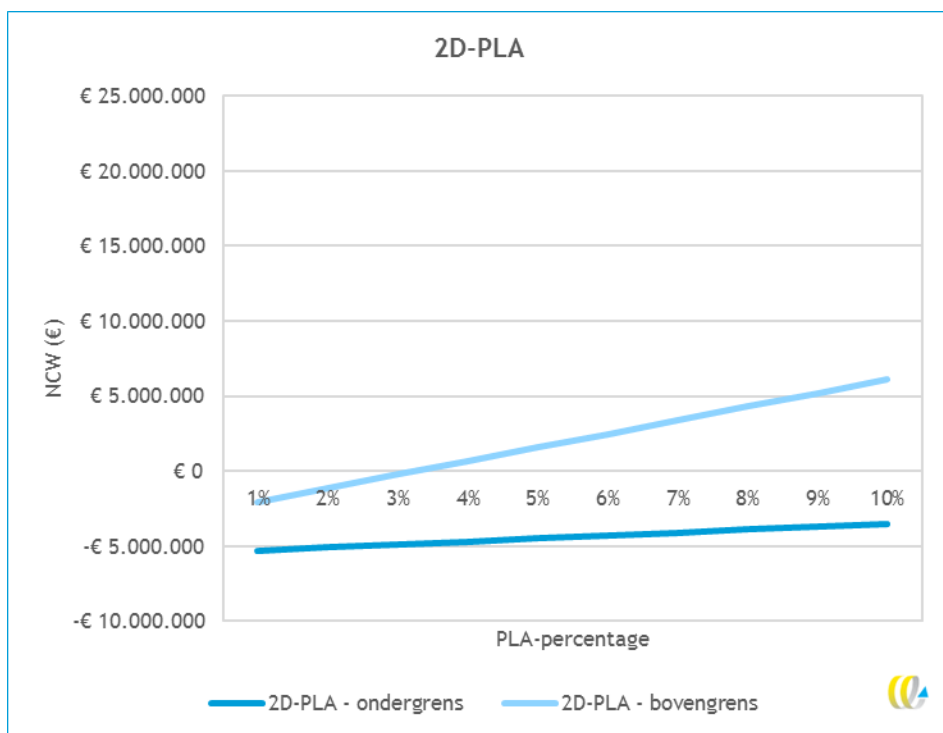


Tabel 7 - Netto contante waarde van investering in PLA-sortering bij verschillende PLA-percentages (miljoen €)

PLA-percentage	3D-PLA		2D-PLA		Gecombineerd (3D+2D)	
	Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens
1%	-2,7	-0,1	-5,3	-2,0	-7,8	-2,0
2%	-2,3	1,5	-5,1	-1,1	-7,2	0,5
3%	-2,0	3,0	-4,9	-0,2	-6,7	3,0
4%	-1,6	4,6	-4,7	0,7	-6,1	5,4
5%	-1,2	6,2	-4,5	1,6	-5,6	7,9
6%	-0,9	7,7	-4,3	2,5	-5,0	10,3
7%	-0,5	9,3	-4,1	3,4	-4,5	12,8
8%	-0,2	10,8	-3,9	4,3	-3,9	15,3
9%	0,2	12,4	-3,7	5,2	-3,4	17,7
10%	0,5	13,9	-3,5	6,1	-2,8	20,2

Figuur 7 - Netto contante waarde bij verschillende PLA-percentages voor investering in uitsortering van 3D-PLA (boven), 2D-PLA (midden), of beide (onder)





Figuur 7 laat zien dat de NCW toeneemt bij een hoger PLA-percentage. Dit komt doordat er dan meer PLA wordt uitgesorteerd en verkocht door de sorteerder, waardoor de investeringen zich sneller terugverdienen. De spreiding van de NCW is echter dermate groot dat het break-even-point van de investering (dus een NCW-waarde van nul) voor een groot deel binnen het PLA-percentage-interval van 1 t/m 10% valt.

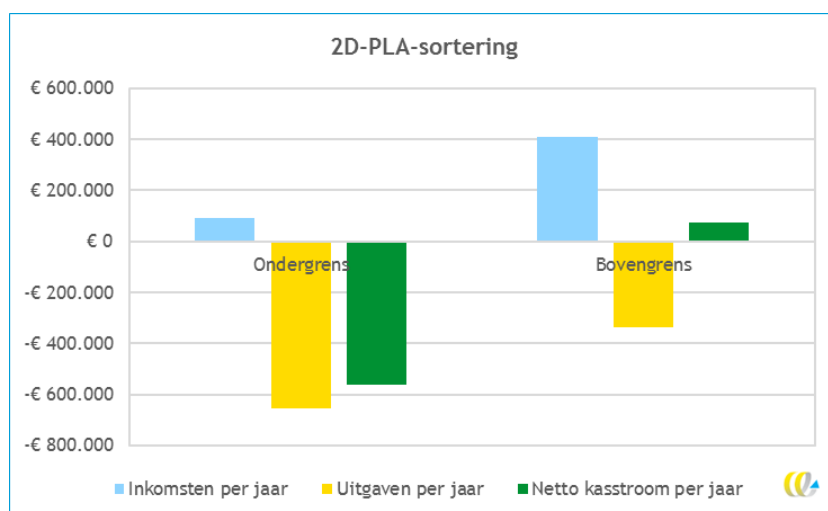
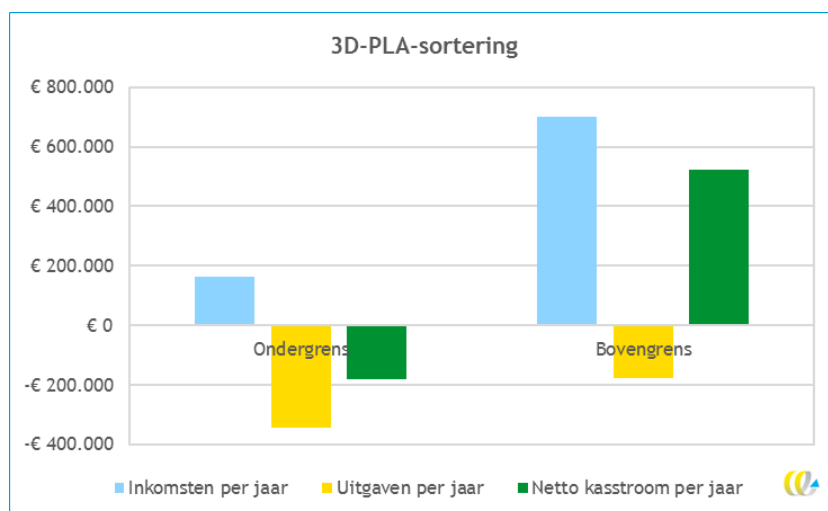
De winstgevendheid is het grootst bij 3D-PLA, waar de NCW positief wordt bij een PLA-percentage van 2-9% (wat overeenkomt met 1,2-5,4% 3D-PLA t.o.v. de totale hoeveelheid kunststofafval). De NCW van 2D-PLA is minder gunstig, en wordt positief bij PLA-percentages van ca. 4-28% (1,6-11,2% 2D-PLA). Dit heeft zijn oorsprong in het grotere aantal benodigde systeemcomponenten, het lagere aandeel 2D-PLA, en het lagere sorteerrendement (in vergelijking met 3D-PLA).

De combinatie van 3D-PLA en 2D-PLA leidt zoals verwacht tot een NCW die ongeveer gelijk is aan de som van de afzonderlijke waarden van investering in 3D-PLA en 2D-PLA. De range is hier een stuk wijder, en te zien is dat er een soort kruissubsidiëring kan plaatsvinden, waarbij een winstgevend 3D-PLA-sorteersysteem het verlies van 2D-PLA-sortering compenseert.

Bijdrage van kosten en opbrengsten aan netto contante waardes

Figuur 8 illustreert hoe de ondergrens en de bovengrens van de NCW's van 3D-PLA-sortering en 2D-PLA-sortering variëren als gevolg van de onzekerheden in kosten en opbrengsten.

Figuur 8 - Inkomsten en uitgaven PLA-sortering bij een PLA-percentage van 3% (1,8% 3D-PLA en 1,2% 2D-PLA)



De totale investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX), de inkomsten en de NCW voor de drie cases bij 3% PLA staan in Tabel 8. Zoals ook in Bijlage A te zien is, zijn de totale investeringskosten laag vergeleken bij de totale operationele kosten over tien jaar. De operationele kosten nemen tenminste 80% van de alle kosten in.

De case van 3D-PLA laat zien dat de investering in het sorteersysteem meerdere malen wordt terugverdiend wanneer uitgegaan wordt van de bovengrens van de betalingsbereidheid van de verwerker (in dit geval meer dan zes keer). Voor 3D-PLA is de marginale kostprijs¹⁰ € 240-530 per ton puur PLA. De betalingsbereidheid moet (bij een PLA-percentage van 3%) € 340-710 per ton zijn om break-even te draaien. Dit komt neer op een winstmarge van 34-42%. De betalingsbereidheid van de verwerker is echter € 250-940 per ton. Deze range is wijder dan de 'break-even-range' (in geval van een 3D-PLA-percentage van 1,8%), wat laat zien dat de rentabiliteit van PLA-sortering sterk afhankelijk is van de betalingsbereidheid. De grote range in de betalingsbereidheid wordt vooral veroorzaakt door die van de LA-marktprijs. Als de LA-marktprijs boven de € 1.500/ton komt, wordt de investering in 3D-PLA-sortering ook bij de ondergrens (hoge waarden) van de verschillende kostenposten rendabel.

Tabel 8 - Investeringskosten (CAPEX), operationele kosten (OPEX), inkomsten en netto contante waarde voor de drie investeringscases bij een PLA-percentage van 3% (M€) over de economische levensduur van tien jaar

	3D-PLA		2D-PLA		Gecombineerd (3D+2D)	
	Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens
NIR-installaties	0,30	0,20	0,60	0,40	0,90	0,60
Transportbanden	0,04	0,02	0,08	0,04	0,12	0,06
Bunkers	0,10	0,05	0,10	0,05	0,20	0,10
Utilities	0,08	0,04	0,08	0,04	0,16	0,08
Gederfde inkomsten stilstand	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
Onvoorziene kosten	0,07	0,02	0,10	0,03	0,17	0,06
Totaal CAPEX	0,73	0,48	1,10	0,71	1,69	1,04
Energie	0,04	0,03	0,03	0,02	0,07	0,05
Onderhoud	0,66	0,23	1,00	0,34	1,67	0,56
Arbeid	2,75	1,50	5,50	3,00	8,25	4,50
Totaal OPEX	3,46	1,76	6,53	3,36	9,99	5,12
Totaal inkomsten	1,64	7,00	0,91	4,07	2,55	11,07
NCW	-1,95	3,04	-4,88	-0,23	-6,68	2,95

Noot: De CAPEX, OPEX en inkomsten betreffen geen netto contante waarden.

Terugverdientijd

De terugverdientijd van de investering in PLA-sortering voor verschillende PLA-percentages is weergegeven in Tabel 9. We zien hier hetzelfde beeld als bij de netto contante waarde. De investering in 2D-PLA-sortering heeft in het geheel genomen een duidelijk lagere terugverdientijd dan 3D-PLA-sortering, en de terugverdientijd van gecombineerde investering zit tussen beide andere cases in. Ook voor deze indicator is er een groot verschil tussen de ondergrens en de bovengrens. Bij 2D-PLA-sortering kan de investering binnen tien jaar worden terugverdiend vanaf een 2D-PLA-percentage van 1,2%, als de kosten en inkomsten gunstig uitvallen (bovengrens). Bij 3D-PLA-sortering kan de investering vanaf

¹⁰ De marginale kostprijs omvat alleen de variabele kosten van PLA-sortering. De investeringskosten zitten hier dus niet in.

0,6% 3D-PLA al worden terugverdiend binnen tien jaar, maar ook in geval van ongunstige kosten en inkomsten kan de investering worden terugverdiend, vanaf een 3D-PLA-percentage van 4,8%¹¹. Een opvallende uitkomst is dat, bij een 3D-PLA-percentage van 1,8% of hoger, de investering in 3D-PLA-sortering al binnen een jaar kan worden terugverdiend (bovengrens).

Tabel 9 - Terugverdientijd van PLA-sortering bij verschillende PLA-percentages

PLA-percentage	3D-PLA		2D-PLA		Gecombineerd (3D+2D)	
	Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens
1%	-	8,0	-	-	-	-
2%	-	1,6	-	-	-	4,6
3%	-	0,9	-	9,9	-	1,7
4%	-	0,6	-	3,4	-	1,1
5%	-	0,5	-	2,1	-	0,8
6%	-	0,4	-	1,5	-	0,6
7%	23,7	0,3	-	1,2	-	0,5
8%	8,7	0,3	-	0,9	-	0,4
9%	5,3	0,2	-	0,8	-	0,4
10%	3,8	0,2	-	0,7	-	0,3

Subsidie

De subsidie die nodig is om de onrendabele top van de investering in PLA-sortering af te dekken staat in Tabel 10, voor verschillende PLA-percentages en cases. Figuur 9 is de grafische weergave hiervan.

Tabel 10 - Subsidie benodigd om de investering in PLA-sortering rendabel te maken (€/ton puur PLA)

PLA-percentage	3D-PLA		2D-PLA		Gecombineerd (3D+2D)	
	Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens	Ondergrens	Bovengrens
1%	€ 1.839	€ 47	€ 6.547	€ 2.112	€ 3.456	€ 752
2%	€ 796	€ 0	€ 3.151	€ 587	€ 1.605	€ 0
3%	€ 449	€ 0	€ 2.019	€ 79	€ 988	€ 0
4%	€ 275	€ 0	€ 1.453	€ 0	€ 680	€ 0
5%	€ 171	€ 0	€ 1.113	€ 0	€ 494	€ 0
6%	€ 101	€ 0	€ 887	€ 0	€ 371	€ 0
7%	€ 52	€ 0	€ 725	€ 0	€ 283	€ 0
8%	€ 14	€ 0	€ 604	€ 0	€ 217	€ 0
9%	€ 0	€ 0	€ 509	€ 0	€ 165	€ 0
10%	€ 0	€ 0	€ 434	€ 0	€ 124	€ 0

¹¹ De percentages wijken enigszins af van de percentages met een positieve netto contante waarde. Dit komt doordat bij de berekening van de terugverdientijd geen rekening is gehouden met de contante waarde van inkomsten en uitgave. De percentages gegeven voor de NCW zijn daarom leidend.

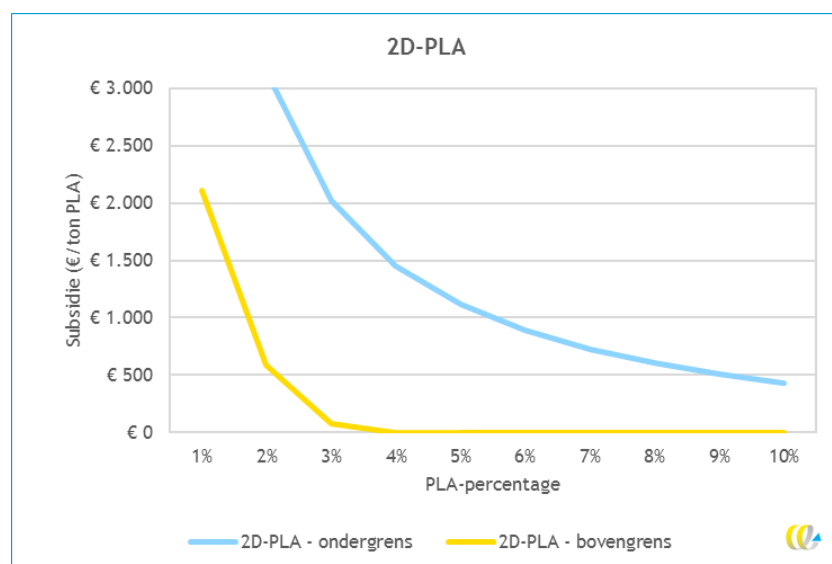
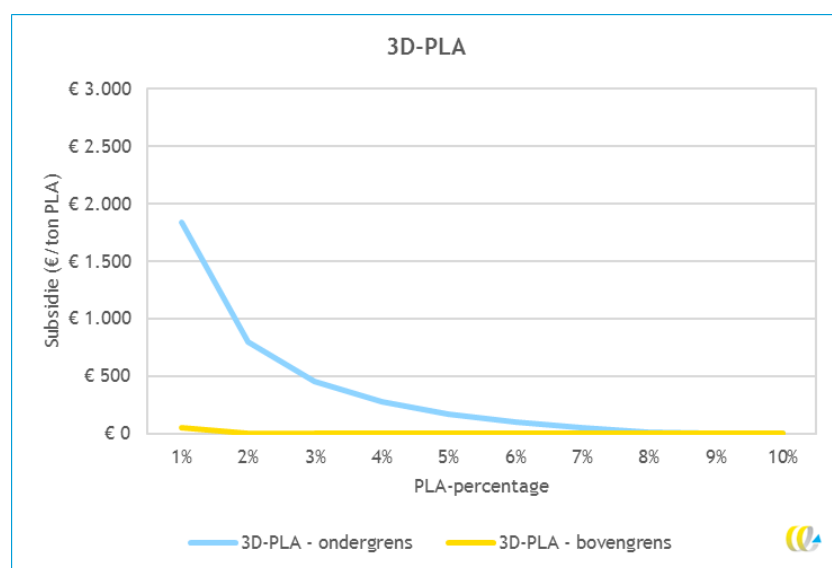


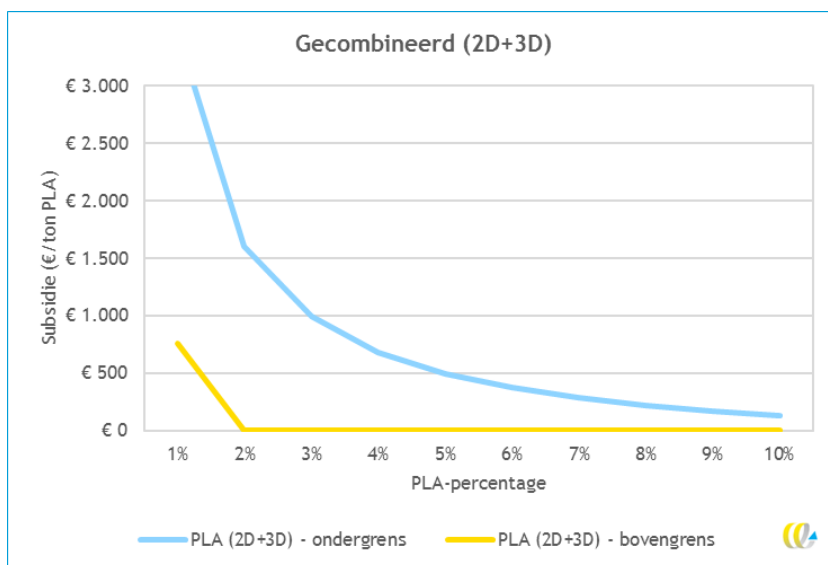
De subsidie kan zeer hoog uitpakken bij een PLA-percentage van 1% of lager, maar als dit percentage verder oploopt zakt de benodigde subsidie snel. Dit geldt met name voor 3D-PLA. Zo daalt de subsidie bij toename van het PLA-percentage van 1% naar 3% PLA met € 50-1.390/ton voor 3D-PLA en met € 2.030-4.530/ton voor 2D-PLA.

Zodra de NCW positief wordt, is er geen subsidie nodig. Bij 3D-PLA is dit vanaf 1,1% PLA (0,66% 3D-PLA) en bij 2D-PLA vanaf 3,3% PLA (1,3% 2D-PLA).

In Hoofdstuk 5 wordt de onrendabele top gekoppeld aan de verwachte milieuwinst van het uitsorteren en recyclen van PLA.

Figuur 9 - Onrendabele top bij verschillende PLA-percentages voor investering in uitsortering van 3D-PLA (boven), 2D-PLA (midden), of beide (onder) (Kosteneffectiviteit in €/ton CO₂ ligt 10% lager (zie Hoofdstuk 5))



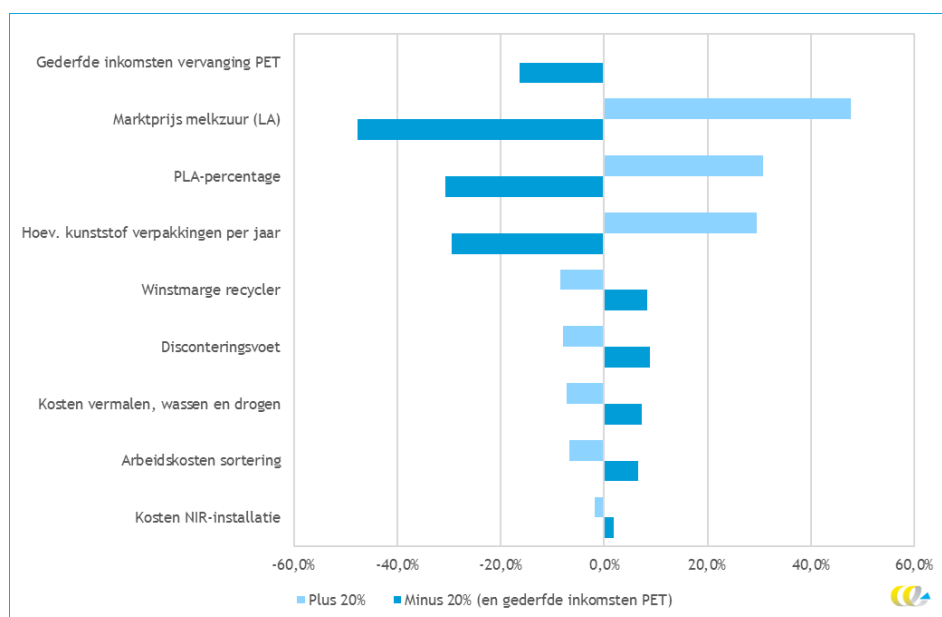


3.5 Gevoeligheidsanalyse

Om te bekijken hoe sterk de winstgevendheid van de investering in PLA-sortering afhankelijk is van de waarde van belangrijke kostenposten en andere variabelen, hebben we een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. In Figuur 10 zijn de resultaten van deze analyse te zien voor de bovengrens van 3D-PLA-sortering, voor negen inputvariabelen. Hierbij zijn de waarden van de inputvariabelen steeds zowel met 20% opgehoogd als met 20% verminderd ten opzichte van het referentiescenario, waarin uit is gegaan van een PLA-percentage van 3% (ofwel een 3D-PLA-percentage van 1,8%) en van de waarden zoals gegeven in Paragraaf 3.2. Uitzondering is de gedeerde inkomsten van vervanging van PET door PLA, omdat in het referentiescenario deze kostenpost niet was meegenomen.

Om een inschatting te maken van de mogelijke gedeerde inkomsten van vervanging van PET door PLA nemen we aan dat 100% van het 3D-PLA-materiaal PET vervangt en dat de inkomsten van uitgesorteerd PET € 100-200/ton bedragen (CE Delft, 2017b). Onder deze aannames zijn de gedeerde inkomsten ca. € 74.000-130.000 per jaar, ofwel 27-30% van de totale operationele kosten.

Figuur 10 - Gevoeligheidsanalyse van netto contante waarde van 3D-PLA-sortering, voor bovengrens (gunstige kosten en opbrengsten), en 1,8% 3D-PLA: 20% verandering van belangrijke inputvariabelen



Uit Figuur 10 kunnen we opmaken dat de belangrijke kostenposten die een effect hebben op de rentabiliteit van de investering in 3D-PLA-sortering een relatief klein effect hebben, aangezien de relatieve verandering in de NCW een stuk lager is dan de relatieve verandering van de kostenwaarde. Dit geldt voor de kosten van de NIR-installatie, de arbeidskosten, de kosten van vermalen, wassen en drogen van PLA-flakes en de winstmarge van de recycler. Een veel groter effect hebben de variabelen die de inkomsten voor de investeerder (sorteerder) bepalen: de hoeveelheid huishoudelijk kunststof verpakkingafval per jaar dat de KSI binnenkomt, het percentage van deze hoeveelheid dat van PLA is, en de marktprijs van melkzuur (LA). Bij deze drie variabelen verandert de NCW met meer dan 20%. De grootste invloed heeft de LA-marktprijs.

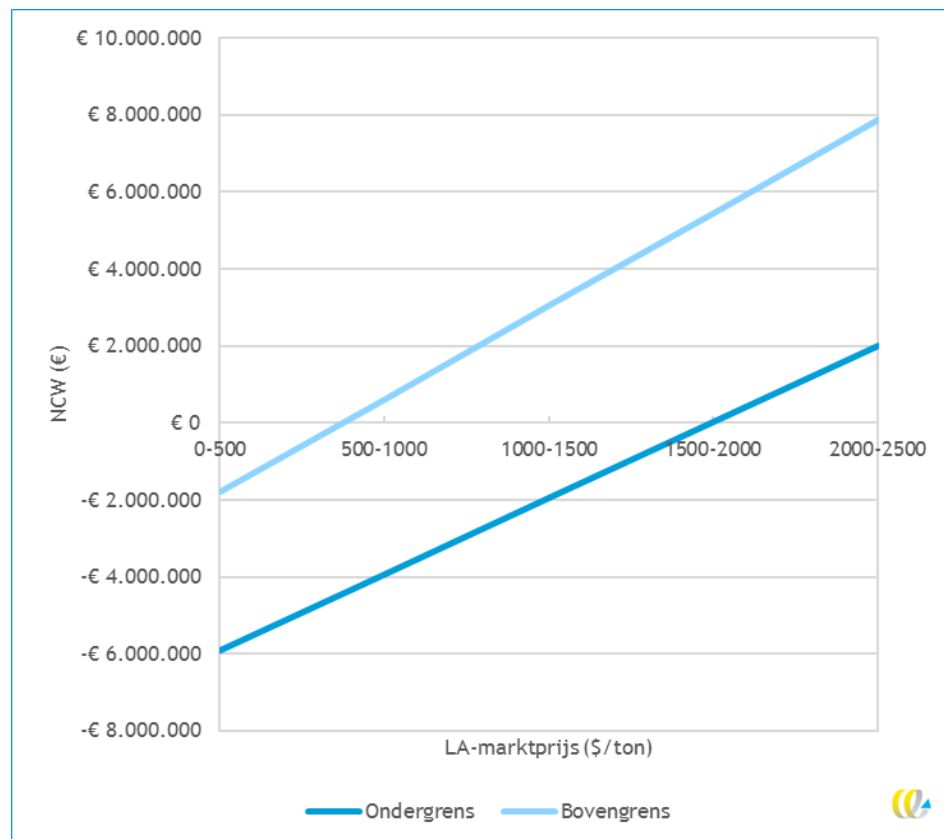
De gedeerde inkomsten van vervanging van PET door PLA leiden tot een ca. 16% lagere NCW. Dit heeft dus – gegeven bovengenoemde aannames – een groter effect dan ‘kostenvariabelen’, maar een kleiner effect dan de ‘inkomstenvariabelen’.

Het is ook interessant om de invloed van de LA-marktprijs op de NCW te bekijken. Dit hebben we gedaan voor de investering in 3D-PLA-sortering, uitgaande van het referentiescenario (waarin de LA-marktprijs \$ 1.000-1.500 per ton bedroeg), en waarbij het verschil tussen de ondergrens en de bovengrens van de LA-marktprijs op \$ 500 per ton is gehouden (zie Figuur 11). Hieruit wordt duidelijk dat de NCW een lineair verband heeft met de LA-marktprijs. Voor iedere 100 \$/ton toename (afname) van de LA-marktprijs gaat de NCW ca. € 483.000 omhoog (omlaag). Hierbij moet in gedachte worden gehouden dat is aangenomen dat de prijs die de sorteerder voor uitgesorteerd PLA krijgt gelijk is aan de betalingsbereidheid van de verwerker, dus dat de stijging in marktwaarde van PLA bij de sorteerder terecht komt. Desalniettemin laat dit duidelijk zien hoe sterk de rentabiliteit van PLA-sortering afhangt van de marktprijs van melkzuur.

Voor de businesscase van 3D-PLA-sortering (niet getoond) geldt dat de NCW positief wordt bij ca. \$ 900-1.500 per ton LA (bij 1,8% 3D-PLA), voor 2D-PLA-sortering is dit 1.600-3.200 \$/ton (bij 1,2% 2D-PLA), en voor de gecombineerde investering (3D-PLA-plus 2D-PLA) 1.100-2.100 \$/ton (bij 3% PLA). Bij hogere PLA-percentages zijn de benodigde marktprijzen lager.

Een soortgelijk lineair evenredig verband bestaat er ook tussen de NCW enerzijds en het PLA-percentage en de hoeveelheid verpakkingsafval in de KSI per jaar anderzijds. Hoe groter de KSI en hoe hoger het PLA-percentage, hoe hoger de rentabiliteit van PLA-sortering.

Figuur 11 - Invloed van LA-marktprijs op netto contante waarde van 3D-PLA-sortering, uitgaande van referentiescenario (1,8% 3D-PLA)



3.6 Deelconclusie

Resultaten

De economische analyse laat zien dat de investering door kunststofsorteerders in 3D-PLA-sortering winstgevend kan worden bij een 3D-PLA-percentage in het huishoudelijk kunststof verpakkingsafval van 1-5%, en dat 2D-PLA-sortering winstgevend kan worden bij een 2D-PLA-percentage van 1,5-11%. Voor de gecombineerde case (2D+3D) is een PLA-percentage van 2-16% nodig, uitgaande van een verhouding van 60% 3D-PLA en 40% 2D-PLA. De marktprijs van melkzuur heeft een sterke invloed op de resultaten. Als deze prijs hoger uitvalt dan de aangenomen \$ 1.500-2.000 per ton LA, kan PLA-sortering rendabel worden bij lagere PLA-percentages en vice versa.

Bij een 3D-PLA-percentage van 1,8% of hoger kan de investering in 3D-PLA-sortering in het gunstigste geval (bovengrens) al binnen een jaar worden terugverdiend. In het ongunstigste geval (ondergrens) is dan nog een subsidie nodig van € 450 per ton 3D-PLA om de investering rendabel te maken.

Omdat voor de investering in 2D-PLA-sortering meer systeemcomponenten nodig zijn en het sorteerrendement van 2D-PLA lager is dan dat van 3D-PLA, vallen de netto contante waardes lager uit en de terugverdiertijden en eventueel benodigde subsidies hoger. De aantrekkelijkheid van investering in uitsortering van beide typen PLA ligt hier tussenin. Een verlies op de investering in 2D-PLA-sortering zou dan gecompenseerd worden door de winst op 3D-PLA-sortering.

In de huidige situatie is het PLA-percentage in het huishoudelijk kunststof verpakkingsafval kleiner dan 0,4%. Uit de resultaten van de economische analyses blijkt dat de investering in PLA-sortering dan nog niet rendabel is. Als het geschetste beeld van een PLA-percentage van 1-5% in 2030 (zie Paragraaf 2.2) uitkomt en de verhouding 60% 3D-PLA en 40% 2D-PLA ongeveer klopt, dan kan de investering in sortering van PLA al rendabel zijn in 2030. Als de kosten en opbrengsten ongunstig uitvallen (ondergrens) is dan nog een subsidie nodig van € 50-1.850 per ton 3D-PLA, en € 2.100-6.500 per ton 2D-PLA. De hoogte van de subsidie hangt sterk af van de hoeveelheid PLA in het kunststofafval, de verwerkingscapaciteit van de KSI en de marktprijs van melkzuur.

Interpretatie

Bij de interpretatie van deze uitkomsten moeten de inputwaarden (Paragraaf 3.2) en de aannames (Paragraaf 3.3) worden meegewogen. Zo zal de rentabiliteit minder gunstig zijn als de investeringskosten voor de sorteerder hoger uitvallen. De gevoeligheidsanalyse (Paragraaf 3.5) helpt bij de interpretatie van de resultaten. Hieruit kan onder andere worden opgemaakt dat de rentabiliteit van PLA-sortering sterker afhangt van de onzekerheden in de markt (PLA-percentage, melkzuurprijs) dan die van de kosten.

De economische analyse is uitgevoerd voor een specifieke KSI. Het is mogelijk dat enkele KSI's geen ruimte hebben voor de plaatsing van een PLA-sorteersysteem, en daarom zeer hoge kosten zouden moeten maken om zo'n systeem in te passen. Verder hebben KSI's verschillende groottes. Kleinere KSI's zullen minder PLA verwerken en dus lagere inkomsten kunnen genereren, en grotere KS's juist hogere. Daarnaast zullen Duitse KSI's die Nederlands huishoudelijk afval verwerken ook Duits afval verwerken en zodoende minder PLA sorteren (ervan uitgaande dat het PLA-percentage in Duitsland niet toeneemt), waardoor de investering in PLA-sortering voor deze KSI's veel minder snel rendabel zal zijn. De investering in 2D-PLA-sortering kan rendabeler worden als 2D-PLA wordt uitgesorteerd in een sorteerinstallatie voor folies, omdat hier verschillende foliestromen effectiever kunnen worden gescheiden met behulp van verschillende sorteertechnieken. Deze optie is in deze verkenning niet bestudeerd. Nader onderzoek is nodig om de technische en economische haalbaarheid van deze optie in kaart te brengen.

4 Klimaatimpact PLA-recycling

4.1 Doel

In dit onderdeel van het onderzoek wordt onderzocht of het uitsorteren en recyclen van PLA-producten milieukundig te prefereren is en hoe groot het eventuele milieuvoordeel is. Het doel is om te bepalen of het uitsorteren en recyclen van PLA leidt tot een lagere klimaatimpact dan het verbranden van PLA. We bepalen daartoe de klimaatimpact van het verwerken van PLA-afval via vier verschillende routes:

1. Verbranding in een afvalenergiecentrale (AEC), waarbij elektriciteit en warmte geproduceerd wordt.
2. Compostering.
3. Mechanische recycling.
4. Chemische recycling.

Hierbij is verbranding in een AEC gekozen als referentie, omdat dit de meest waarschijnlijke bestemming van PLA-verpakkingsafval is wanneer dit niet uitgesorteerd wordt.

De klimaatimpact wordt uitgedrukt in kg CO₂-equivalenten (CO₂-eq.) en geeft aan in hoeverre een product, proces of dienst bijdraagt aan klimaatverandering. Door de klimaatimpact van verwerking via (mechanische of chemische) recycling te vergelijken met verbranding wordt duidelijk in hoeverre het uitsorteren en recyclen van PLA kan bijdragen aan het verminderen van de wereldwijde klimaatimpact. Daarnaast kan hiermee de kosteneffectiviteit van CO₂-reductie worden geschat (zie ook Hoofdstuk 5).

4.2 Methode

Er wordt gebruik gemaakt van levenscyclusanalyse (LCA), een methode waarmee op systeemniveau de milieueffecten van een product, proces of dienst bepaald kunnen worden. Omdat er voor zover bekend op het moment nog geen afgedankt PLA wordt gerecycled, wordt gebruik gemaakt van eerder indicatief onderzoek van de milieueffecten van PLA-recycling en modellering door CE Delft. Het betreft hierdoor een *screening LCA*-studie.

4.2.1 Functionele eenheid

De klimaatimpact wordt uitgedrukt per functionele eenheid, die gelijk is voor alle vergeleken systemen. In deze studie is de functionele eenheid: de verwerking van 1 kg afgedankte PLA-verpakkingen van consumenten.



4.2.2 Afbakening en methodologische keuzes

De afbakening van de analyse wordt schematisch weergegeven in Figuur 12. De belangrijkste keuzes omtrent de afbakening van de studie en de methodologie worden hierna kort toegelicht:

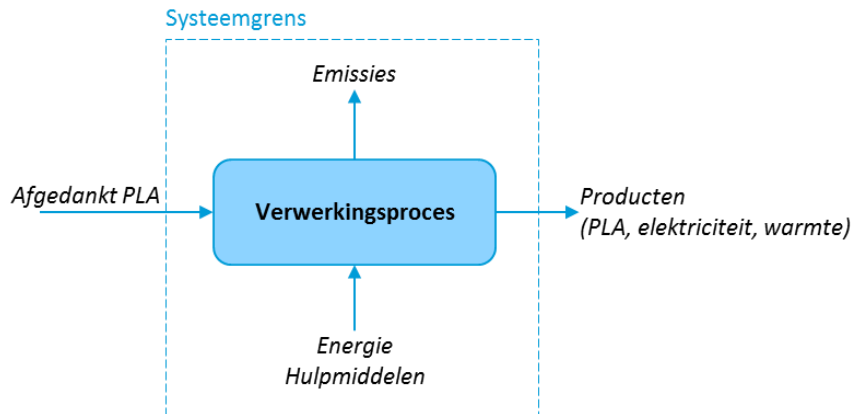
- Uitgangspunt is om de klimaatimpact van de verwerkingsprocessen in Nederland in de huidige situatie te bepalen¹². Dit betekent dat waar relevant/mogelijk bijvoorbeeld gerekend wordt met de Nederlandse elektriciteitsmix, de gemiddelde Nederlandse energie-efficiëntie van AEC's, etc.
- Het afgedankte PLA dat verwerkt wordt is beschikbaar zonder bijbehorende klimaat-impact, omdat het een afvalproduct betreft.
- Sommige van de onderzochte verwerkingsprocessen voor PLA-afval leveren nieuwe nuttige producten op, zoals elektriciteit en warmte bij verbranding in een AEC, of gerecycled PLA in het geval van mechanische of chemische recycling. In deze gevallen wordt systeemuitbreiding (substitutie) toegepast om hier rekening mee te houden. Dit houdt in dat wordt aangenomen dat conventionele productieprocessen (voor bijvoorbeeld elektriciteit, warmte of PLA-productie) vermeden worden, en dat de klimaatimpact van deze processen dus in mindering gebracht wordt. Voor PLA is hierbij gerekend met de meest recente LCA-studie (Vink & Davies, 2015).
- De uitstoot van biogene CO₂-uitstoot wordt meegeteld, evenals de opname van CO₂ uit de atmosfeer bij het telen van biomassa. Dit betekent dat de verbranding van PLA leidt tot een CO₂-emissie die geteld wordt (1,83 kg CO₂/kg PLA). Daarnaast wordt bij recyclingsprocessen die de productie van virgin PLA vermijden rekening gehouden met het feit dat de virgin PLA-productie ook geleid zou hebben tot de opname van CO₂ (ook 1,83 kg CO₂/kg PLA). Deze keuze heeft geen invloed op het klimaatvoordeel dat recycling kan realiseren ten opzichte van verbranding in een AEC¹³.
- De klimaatimpact van de productie van machines en installaties wordt niet meegenomen. Deze aspecten leveren voor (chemische) processen doorgaans een zeer kleine bijdrage aan de totale klimaatimpact.

¹² Op het moment vindt er in Nederland geen grootschalige PLA-productie plaats, wat betekent dat chemische recycling niet eenvoudig te implementeren is. In Paragraaf 4.3.2 analyseren we daarom de invloed van de eventuele klimaatimpact van het transporteren van afgedankt PLA naar Thailand, waar het mogelijk in een grootschalig PLA-productieproces kan worden toegevoegd.

¹³ Als de uitstoot van biogene CO₂ niet meegenomen zou worden, dient ook de opname van CO₂ uit de atmosfeer (zoals deze plaatsvindt bij reguliere PLA-productie) niet meegenomen te worden. Dit betekent dat de in Figuur 13 de uitstoot van de AEC-route met 1,83 kg CO₂ daalt (bepaald o.b.v. koolstofinhoud PLA), maar dat tegelijk ook de impact van vermeden PLA-productie die recyclingroutes toegerekend krijgen met 1,83 kg CO₂ dalen, omdat de impact van het opnemen van CO₂ uit de atmosfeer niet meegerekend zou mogen worden.



Figuur 12 - Illustratie afbakening LCA verwerking afgedankte PLA-verpakkingen



4.2.3 Modelling onderzochte verwerkingsroutes

We lichten hieronder per verwerkingsroute kort de modellering toe, waarin bijvoorbeeld wordt ingegaan op de geselecteerde bronnen en gemaakte aannames.

In alle gevallen is de klimaatimpact bepaald met de IPCC 2013 GWP 100a-methode. Hiermee worden broeikasgasemissies gekarakteriseerd op basis van de meest recente inzichten van het IPCC (2013).

Verbranding in AEC

Als het PLA niet gerecycled wordt, belandt het hoogstwaarschijnlijk in een AEC. We berekenen hier de klimaatimpact van de directe emissies van verbranding, en van de vermeden energieproductie door de opwekking van elektriciteit en warmte.

Uit de structuurformule van PLA, $(C_3H_4O_2)_n$, volgt een directe CO_2 -emissie van 1,83 kg CO_2 /kg PLA. Voor de vermeden energie is uitgegaan van een lagere verbrandingswaarde van 18 MJ/kg PLA en de gemiddelde elektriciteits-/warmterendementen van AEC's in Nederland.

Compostering

Compostering wordt meegenomen omdat PLA-producten mogelijk in biologische afvalstromen terecht kunnen komen; als producten aangeduid worden als biologisch afbreekbaar kunnen ze door consumenten mogelijk weggegooid worden als GFT-afval.

Er wordt aangenomen dat in dit geval het PLA volledig afgebroken wordt tot CO_2 en water. Ook bij compostering vindt een directe CO_2 -emissie van 1,83 kg CO_2 /kg PLA plaats. Er is geen impact berekend voor overige processen (omscheppen compost en dergelijke), omdat deze vermoedelijk verwaarloosbaar zijn.

Chemische en mechanische recycling

Om de klimaatimpact van chemische en mechanische recycling van PLA te analyseren is gebruik gemaakt van een bestaande LCA van het Fraunhofer-Gesellschaft (Fraunhofer, 2018). In deze publicatie wordt de klimaatimpact van beide routes geanalyseerd. Hierbij dient opgemerkt te worden dat uitgegaan wordt van iets verschillende inputstromen (zie hieronder), en dat Fraunhofer de klimaatimpact van de routes ook niet direct met elkaar vergelijkt.

Bij mechanische recycling wordt post-consumer PLA-afval eerst voorgereinigd om stoffen te verwijderen en vervolgens opnieuw geëxtrudeerd (met filtratie om andere vervuilingen te verwijderen) tot granulaat.

Fraunhofer geeft aan dat het PLA-recycalaat dat geproduceerd wordt via mechanische recycling een lagere kwaliteit heeft dan virgin PLA, bijvoorbeeld omdat de treksterkte ca. 10% lager is. Omdat het daarom wellicht niet mogelijk is om virgin PLA direct te vervangen, kiest Fraunhofer ervoor om het mechanische recyclingsproces niet de volledige bonus van het vermijden van virgin PLA-productie toe te kennen. In plaats daarvan wordt aangenomen dat 49% van de klimaatimpact van virgin PLA-productie vermeden wordt. Dit komt overeen met een situatie waarin bijv. producten uit gerecycled PLA dikker gemaakt moeten worden dan producten uit virgin PLA.

Het is onzeker of in de praktijk producten die (deels) uit mechanisch gerecycled PLA gemaakt worden daadwerkelijk aangepast (moeten) worden. Vaak worden mechanisch gerecyclede kunststoffen deels bijgemengd bij virgin kunststoffen in producten, zonder dat de vorm van het product aangepast wordt. In zo'n geval is het wel mogelijk om 1 op 1 virgin kunststof te vervangen. We kiezen er hier daarom voor om zowel resultaten voor een 1 op 1 vervanging ('100% kwaliteit') als voor een 49% vervanging ('49% kwaliteit') te laten zien.

In het proces voor chemische recycling dat Fraunhofer bestudeerd heeft wordt oud PLA ingevoerd in een bestaand productieproces van (virgin) PLA. Het proces is gebaseerd op een pilot plant die Fraunhofer ontwikkeld heeft, die alle stappen van commerciële PLA-productie omvat. Om technische redenen kan in dit proces maximaal 10% oud PLA als feedstock gebruikt worden. Het (deels) gerecyclede PLA uit dit proces heeft dezelfde eigenschappen als virgin PLA.

In tegenstelling tot het proces voor mechanische recycling, wordt hier niet aangegeven dat specifiek naar *post-consumer* PLA-afval gekeken is, en wordt in de procesomschrijving niet aangegeven dat rekening gehouden is met het verwijderen van eventuele stoffen die in het oud PLA aanwezig kunnen zijn.

In beide recyclingsroutes kan bij een input van 1 kg afval-PLA ca. 0,9 kg gerecycled PLA geproduceerd worden. Verdere details over de modellering zijn beschikbaar in de publicatie van Fraunhofer (2018).

4.3 Resultaten

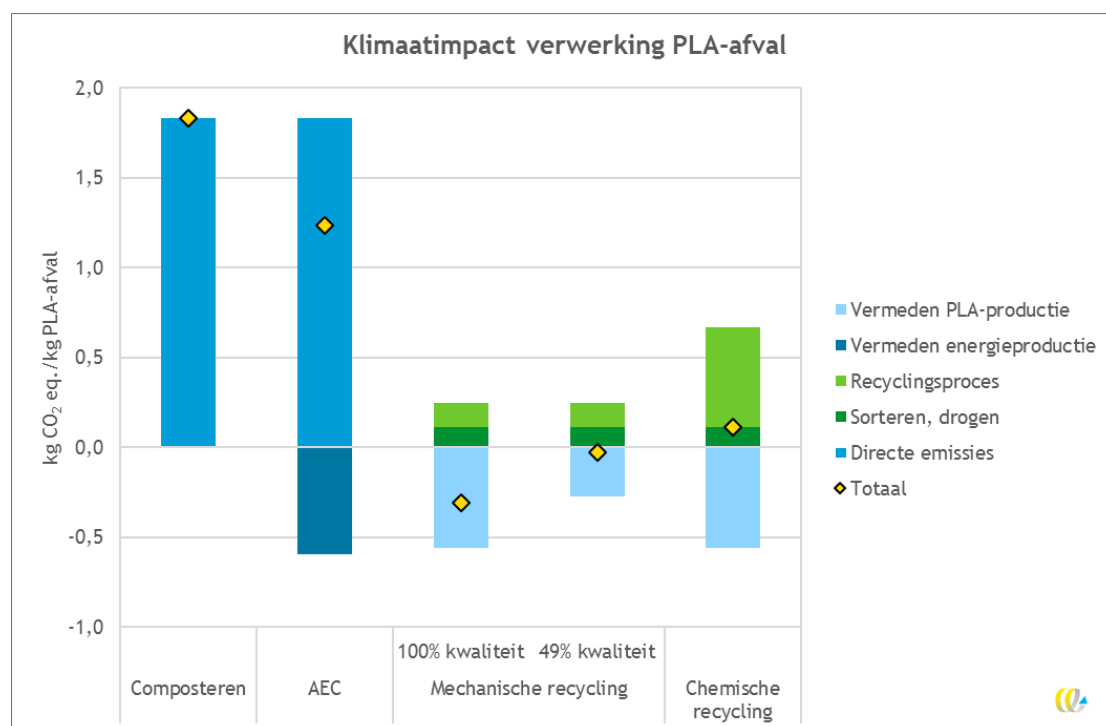
4.3.1 Basisresultaten

De (indicatieve) klimaatimpact van de verschillende verwerkingsroutes is weergegeven in Figuur 13. De referentie, verwerking in een AEC, heeft een klimaatimpact van 1,2 kg CO₂-eq./kg PLA. Omdat bij compostering geen energie wordt teruggewonnen, scoort deze optie slechter met een klimaatimpact van 1,8 kg CO₂-eq./kg PLA.

Mechanische recycling van PLA-afval kan een negatieve klimaatimpact hebben; het voordeel van vermeden PLA-productie heeft een grotere impact dan het recyclen zelf. Afhankelijk van of het geproduceerde PLA voor 100% of voor 49% wordt meegerekend, komt de klimaatimpact respectievelijk op -0,3 of 0,0 kg CO₂-eq./kg PLA. Het recyclen heeft geen grote klimaatimpact omdat het materiaal alleen omgesmolten hoeft te worden en er geen directe emissies plaatsvinden.

Chemische recycling resulteert in een klimaatimpact van ca. 0,1 kg CO₂-eq./kg PLA. Dit is hoger dan mechanische recycling omdat er meer energie en hulpmiddelen nodig zijn. Wel is de kwaliteit van het geproduceerde materiaal hoger. Hierdoor en vanwege onzekerheden in de analyse (zie ook Paragraaf 4.4), is de algemene eerste conclusie dat mechanische recycling en chemische recycling allebei kunnen zorgen voor een klimaatimpactreductie van ca. 1,1 kg CO₂-eq./kg PLA.

Figuur 13 - Indicatie klimaatimpact van verwerking PLA-afval via verschillende routes



Bron mechanische en chemische recycling: Fraunhofer, 2018, met aanpassingen CE Delft; bron composteren en AEC: modellering CE Delft.

4.3.2 Gevoeligheidsanalyse transport

In de basisanalyse in de vorige paragraaf is geen rekening gehouden met eventueel transport van ingezameld afgedankt PLA naar een verwerkingsproces. Hier schatten we in hoeverre transport de resultaten kan beïnvloeden.

We richten ons op de hypothetische situatie waarin afgedankt PLA vanuit Nederland naar Thailand wordt getransporteerd, omdat dit tot de grootste transportafstand en dus hoogste klimaatimpact leidt. In Thailand produceert Total Corbion nu virgin PLA, dus hier zou afgedankt PLA via het proces dat Fraunhofer onderzocht heeft mogelijk chemisch gerecycled kunnen worden. Naast de transportafstand van Rotterdam naar Bangkok

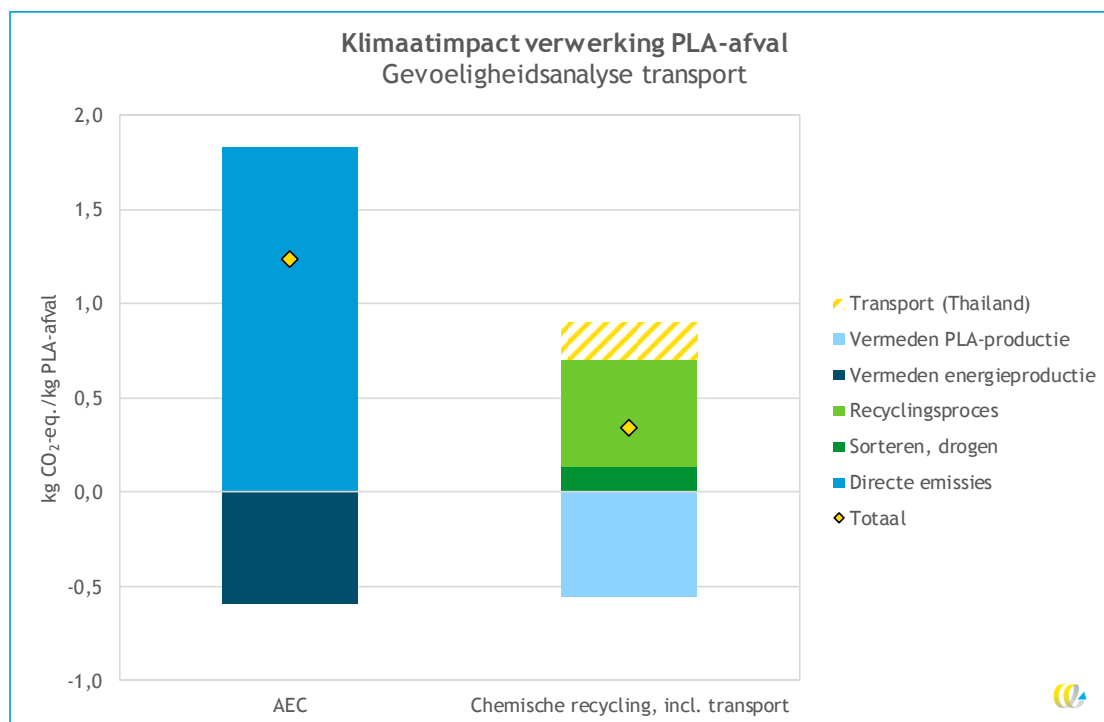
(ca. 17.000 km) nemen we aan dat het PLA over 100 km per vrachtwagen vervoerd dient te worden. De klimaatimpact van het transport wordt bepaald op basis van eerder onderzoek van CE Delft (2017c) en gaat uit van efficiënte vervoersmiddelen (EURO6 vrachtwagens en Handymax bulkzeevaart).

In Figuur 14 is de invloed van deze gevoeligheidsanalyse weergegeven. Per kg PLA-afval zorgt het transport naar Thailand voor ca. 0,2 kg CO₂-eq. aanvullende klimaatimpact. Hierdoor verkleint het verschil met de AEC tot zo'n 0,9 kg CO₂-eq./kg afgedankte PLA. Wanneer er minder transport nodig zou zijn, bijv. omdat chemische recycling in Europa plaatsvindt, dan wordt deze klimaatimpact proportioneel kleiner.

Er kan een aantal kanttekeningen geplaatst worden bij dit resultaat:

- Aangenomen is dat bij AEC-verbranding geen transport nodig is; in werkelijkheid zal dit sterk afhangen van waar het PLA gesorteerd en verbrand zou worden. Het resultaat voor AEC-verwerking zal daardoor hoger uitvallen.
- Net als in de basisanalyse is hier geen rekening gehouden met mogelijke vervuiling van het PLA. Als naast het afgedankte PLA ook aanhangend vuil vervoerd zou worden, dan zou de klimaatimpact van het transport ook hoger worden (proportioneel aan massa van de vervuilingen).
- De klimaatimpact van het transport hangt af van hoe (energie-)efficiënt de vervoersmiddelen zijn en of deze volledig zijn volgeladen. In deze analyse is uitgegaan van gemiddelde beladingen.

Figuur 14 - Indicatie klimaatimpact van verwerking PLA-afval, inclusief transport naar Thailand



4.4 Interpretatie en deelconclusie

Het resultaat uit Paragraaf 4.3.1 laat zien dat het recyclen van PLA kan bijdragen aan het verlagen van de wereldwijde klimaatimpact. Dit komt doordat de recyclingprocessen minder emissies veroorzaken en de productie van virgin PLA vermijden.

Een aantal beperkingen van deze analyse dient opgemerkt te worden:

- Fraunhofer geeft aan dat de procesgegevens voor chemische recycling onzekerder zijn dan die van mechanische recycling. Er wordt echter geen inzicht gegeven in welke data precies gebruikt is voor beide processen. Daarnaast is het belangrijk aan te stippen dat er verschillende vormen van chemische recycling van PLA denkbaar zijn, die bijvoorbeeld verschillen in hun output (melkzuur of lactide).
- Voor mechanische en chemische recycling wordt door Fraunhofer uitgegaan van (iets) verschillende inputmateriaalstromen. Voor chemische recycling kan de klimaatimpact mogelijk hoger uitvallen wanneer processtappen moeten worden toegevoegd om vervuilingen en stoffen te verwijderen.
- De conclusie of mechanische of chemische recycling milieukundig beter scoort hangt af van methodologische keuzes, zoals de omgang met emissies/opname van biogene koolstof en hoe omgegaan wordt met de lagere kwaliteit van mechanisch gerecycled PLA. Fraunhofer maakt andere keuzes, waardoor chemische recycling juist beter scoort dan mechanische recycling.
- Het energetische rendement van AEC's verschilt van installatie tot installatie. Het resultaat in Figuur 13 is gebaseerd op de gemiddelde Nederlandse AEC, maar de klimaatimpact zal hoger/lager zijn afhankelijk van of minder/meer energie teruggewonnen wordt.
- De vergelijking in dit hoofdstuk kijkt alleen naar de klimaatimpact. Andere milieueffecten zijn niet onderzocht en kunnen een ander beeld laten zien.

Mede op basis van deze onzekerheden schatten we het klimaatvoordeel van recycling conservatief in op ca. 1,1 kg CO₂-eq./kg PLA (op basis van het resultaat van chemische recycling). Met name mechanische recycling kan beter scoren, zeker wanneer een 1 op 1 vervanging van virgin PLA mogelijk is.

We kunnen deze uitkomst in context plaatsen door te kijken naar de hoeveelheid kunststof consumentenverpakkingen die nu gerecycled worden, die ca. 144 kton¹⁴ bedraagt, en aan te nemen dat uiteindelijk 10% hiervan vervangen wordt door PLA (maximale waarde uit kostenanalyse in Hoofdstuk 3). Dit houdt in dat jaarlijks 14,4 kton aan afgedankte PLA-verpakkingen beschikbaar komen (bij 100% sorteerrendement). Op basis van een besparing van 1,1 kg CO₂-eq./kg PLA, kan met dit productievolume jaarlijks ca. 15,8 kton CO₂-eq. bespaard worden door het materiaal te recyclen in plaats van te verbranden.

¹⁴ Volgens het Afvalfonds Verpakkingen is in 2017 ca. 258 kton aan kunststof verpakkingen ingezameld en gerecycled en is door bedrijven 114 kton kunststof verpakkingen aangeleverd (Afvalfonds Verpakkingen, 2018). We schatten daarom dat 144 kton van gerecycled kunststof verpakkingsmateriaal van huishoudens afkomstig is.



5 Kosteneffectiviteit van CO₂-reductie

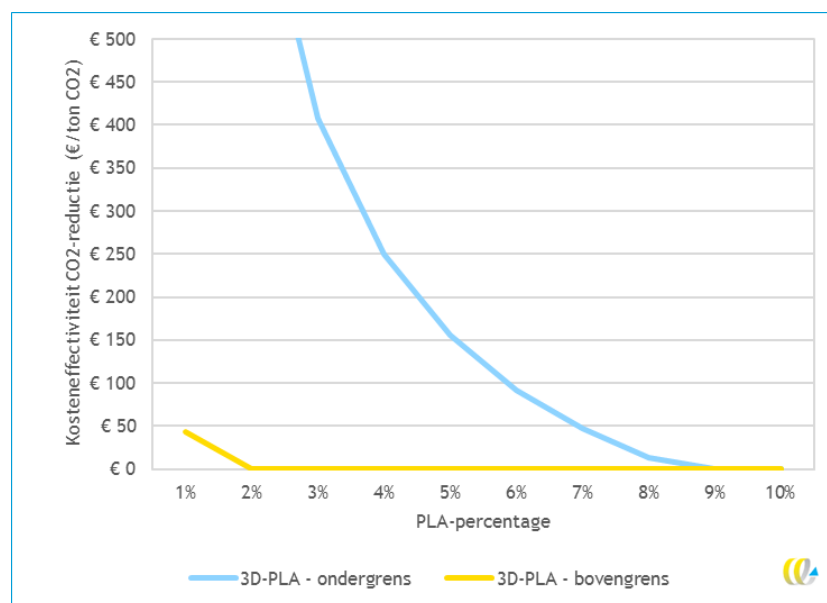
De kosteneffectiviteit van de CO₂-reductie die kan worden behaald met PLA-sortering en -recycling (in € per ton vermeden CO₂-uitstoot) kunnen we berekenen door bedrag voor het afdekken van de onrendabele top (in € per ton gerecycled PLA) te delen door de CO₂-reductie van PLA-sortering en -recycling (in ton CO₂ per ton afgedankt PLA). Bij de kosteneffectiviteit wordt dus gekeken naar de maatschappelijke kosten die nodig zijn om CO₂-reductie te behalen.

De analyse van de rentabiliteit van PLA-sortering in Hoofdstuk 3 laat zien dat de investering in PLA-sortering al bij lage PLA-percentages economisch rendabel kan zijn, maar dat bij te lage percentages een subsidie nodig is. Als de businesscase voor de sorteerder positief is, is er geen subsidie nodig om PLA-recycling en de bijbehorende CO₂-reductie mogelijk te maken.

De CO₂-reductie van PLA-sortering zoals bepaald in Hoofdstuk 4 is 1,1 ton CO₂-eq. per ton afgedankt PLA. Daarom is de kosteneffectiviteit van PLA-sortering in het geval van een onrendabele top gelijk aan de onrendabele top, zoals weergegeven in Tabel 10, gedeeld door 1,1. De kosteneffectiviteit van 3D-PLA-sortering is gepresenteerd in Figuur 15. Te zien is dat deze kosteneffectiviteit bij 3% PLA (1,8% 3D-PLA) ca. € 400 per vermeden ton CO₂ is en bij 5% PLA (3% 3D-PLA) ca. € 150 per vermeden ton CO₂, uitgaande van ongunstige kosten en baten (ondergrens).

We spreken ons hier niet uit wie deze onrendabele top zou moeten betalen. Dat zou via een overheidssubsidie, bijvoorbeeld via het afvalfonds, kunnen gaan maar ook gedeclareerd kunnen worden via hetzelfde afvalfonds als producten-ten-verantwoordelijkheidsbijdrage.

Figuur 15 - Kosteneffectiviteit van CO₂-reductie voor subsidiëring van 3D-PLA-sortering



6 Conclusies, beleidsconclusies en aanbevelingen

6.1 Overzicht resultaten

In dit onderzoek zijn de volgende (voorlopige) conclusies getrokken:

- Het is mogelijk om de biokunststof PLA in het huidige plastic recyclingsysteem uit te sorteren voor recycling. Dit vergt echter investeringen en geeft opbrengsten die sterk gerelateerd zijn aan de hoeveelheid PLA in de verpakkingenmix.
- PLA kan zowel mechanisch als chemisch worden gerecycled. Beide routes leiden tot een vermindering van de wereldwijde klimaatimpact van ca. 1,1 kg CO₂-eq. per kg afgedankt PLA, ten opzichte van verbranding in AEC's. Compostering leidt daarentegen tot een hogere klimaatimpact (en is voor bioplastics dus vooral interessant als het helpt om meer voedselresten in de GFT-route te krijgen).
- Bij het huidige aandeel van 0,1-0,4% PLA in de verpakkingenmix is het uitsorteren van PLA niet economisch rendabel. Een subsidie van de overheid op dit niveau zou gaan om meer dan 1.000 € per ton CO₂-eq.-reductie.
- Uitsorteren van 3D-PLA (bakjes en schaalpjes) is economisch rendabeler dan uitsorteren van 2D-PLA (folies).
- Op basis van de transitieagenda circulaire economie kunststoffen (met een bioplastics target van 15% voor 2030) is ingeschat dat het aandeel PLA in kunststof verpakkingen in 2030 zo'n 1 à 8,5% kan bedragen.
- Als de groei van PLA-verpakkingen zich zou concentreren op 3D-PLA dan wordt, afhankelijk van vooral de marktprijs van melkzuur, het uitsorteren rendabel bij 1 à 5% PLA in de verpakkingenmix bij een gemiddelde sorteerinstallatie. De extra kosten voor sortering kunnen dan betaald worden uit de opbrengsten van het verkopen van uitgesorteerd PLA.
- Als PLA-verpakkingen voor 60% gaan naar 3D-verpakkingen en voor 40% naar 2D ligt het 3D sorteeromslagpunt bij 2 à 9% PLA in de verpakkingenmix.
- Bij een optimistisch aandeel van 10% PLA in de verpakkingenmarkt is PLA-recycling (zowel 2D als 3D) voor sorteerdere en recyclers economisch aantrekkelijk vanwege de relatief hoge opbrengsten. De CO₂-eq.-reductie van recycling van PLA bedraagt dan ongeveer 16 kton/jaar ten opzichte van verbranding in AEC's.

Deze analyse moet nadrukkelijk gezien worden als een eerste verkenning waarbij er gerekend is met een gemiddelde sorteersituatie. Bij verschillende sorteerdere zal de situatie positief of negatief kunnen afwijken. Bij kleinere sorteerdere is uitsorteren minder snel rendabel, bij grotere sneller als daar ook ruimte is om extra installaties bij te plaatsen.

6.2 Visie langere termijn

In eerder onderzoek van CE Delft naar biobased kunststof en circulariteit (CE Delft, 2017a) werd de conclusie getrokken dat idealiter biobased en circulariteit gecombineerd worden. In zo'n situatie met hoge recyclingpercentages wordt de beperkte behoefte aan virgin-materiaal zoveel mogelijk ingevuld door biomassa. De bioplastic bio-PE is hier een voorbeeld, omdat het een biobased oorsprong combineert met goede recyclebaarheid. Voor bio-PET, dat vooralsnog ca. 30% biobased is, geldt dit ook deels. Voor PLA, bioplastic met ook een aanzienlijk marktvolume, geeft dit onderzoek aan dat het ook haalbaar is om



deze combinatie van biobased en circulariteit te bereiken, mits de groei van PLA doorzet naar een paar procent marktaandeel binnen verpakkingen.

Het is daarnaast interessant dat bij een behoorlijk volume van PLA in de verpakkingenmarkt (ca. 5 à 10%) de uitsortering en recycling financieel gunstig is waardoor de prijs van PLA omlaag gebracht zou kunnen worden. Als de PLA-recycling boven de 50% gebracht zou kunnen worden, dan wordt de recyclingroute goedkoper dan de virgin-route, waardoor de prijs van PLA steeds sterker bepaald wordt door de recyclingroute. Ook milieukundig zorgt meer recycling ervoor dat de impact van het materiaal lager wordt, door de relatief geringe hoeveelheid CO₂-uitstoot van de recyclingstappen.

Bij deze discussie speelt wel de vraag of en hoe sterk er in de verpakkingenmarkt gestuurd gaat worden naar een beperkt aantal materialen. Sinds januari 2019 geeft het Afvalfonds dat de producentenverantwoordelijkheid voor recycling regelt korting aan verpakkingen van PE, PP of PET die goed recyclebaar zijn. Tegelijkertijd is het nultarief voor biodegradeerbare verpakkingen (waaronder PLA) afgeschaft. Het is aan te bevelen om samen met het Afvalfonds hoe de sturing van verpakkingmaterialen richting 2030 eruit zou moeten zien.

PLA zou, afhankelijk van met name de ontwikkelingen en keuzes in de verpakkingenmarkt, dus een biobased en circulair materiaal kunnen worden naast bio-PE.

6.3 Beleidsconclusies

De resultaten van dit onderzoek stellen beleidsmakers voor een dilemma. Het huidige volume van PLA in de markt is te klein om uitsorteren en recycling economisch aantrekkelijk te maken. Bij een groter volume (ongeveer tienmaal zo groot als het huidige volume) is sorteren en recyclen wel interessant. Op dit moment zijn er echter geen beleidsinstrumenten waarmee de overheid stuurt in de keuze voor verpakkingmaterialen. Er zijn wel afspraken en regels voor de recycling van materialen (raamovereenkomst verpakkingen) en er is producentenverantwoordelijkheid voor verpakkingen, maar daarin wordt niet gestuurd naar een bepaald materiaal.

Sinds kort wordt er vanuit de producentenverantwoordelijkheid (afvalfonds) wel gestuurd richting goed recyclebare verpakkingen met het tarief (PE, PP en PET). PLA valt daar nu nog niet onder. Tegelijkertijd is het lagere tarief voor biologisch afbreekbare verpakkingen afgeschaft¹⁵, wat een negatief effect kan hebben op de marktpositie van PLA.

In tegenstelling tot de energie- of transportsectoren, zijn er vanuit de overheid opgesteld geen wettelijke doelen over hoe verpakkingen er in 2030 uit (zouden moeten) gaan zien. Wel is in de recente transitieagenda kunststoffen¹⁶ als doel gesteld om te groeien naar 15% bioplastics in 2030. Zeker als dit aandeel voor een groter deel dan gemiddeld via verpakkingen wordt ingevuld dan is het te verwachten dat bio-PE, bio-PET en PLA gaan groeien in de markt. Deze trend zou concreter gemaakt kunnen worden als besproken wordt hoe de transitieagenda uitgevoerd kan worden, zodat ook bepaald kan worden wanneer het aandeel van PLA in verpakkingen bepaalde percentages zou moeten gaan halen. Bij deze roadmap zou ook het Afvalfonds Verpakkingen, dat het producentenverantwoordelijkheidsprogramma voor recycling van verpakkingen uitvoert, betrokken kunnen worden.

¹⁵ De reden hiervoor is dat (vanwege de huidige inzamelsystemen en het afdankgedrag van consumenten) de kosten voor verwerking voor het Afvalfonds momenteel gelijk zijn aan die niet-biodegradeerbare kunststoffen.

¹⁶ [Transitieagenda Kunststoffen](#)



Als bepaald is hoe de transitie naar 15% bioplastics in 2030 eruit zou moeten zien (eventueel met welke mix van materialen) dan is het waarschijnlijk ook (tijdelijk) nodig om bioplastics te stimuleren. Daarnaast is het te overwegen om bijvoorbeeld bij 2% PLA in de verpakkingenmarkt ook uitsortering voor recycling van PLA te stimuleren. In de verpakkingenmarkt biedt het bestaande afvalfonds verpakkingen hiervoor goede mogelijkheden, omdat zij een administratie beheert van alle verpakkingen op de Nederlandse markt en ook de producentenverantwoordelijkheidsbijdragen int. Zo is het denkbaar dat de overheid (tijdelijk) een lager tarief voor bioplastics financiert. Daarbij zou het tarief voor bioplastics die gerecycled kunnen worden verschillen van degene waarvoor dat niet geldt. Op deze manier zou de overheid met weinig uitvoeringskosten in de verpakkingenmarkt bioplastics kunnen stimuleren.

Voor wat betreft het stimuleren van uitsorteren van bioplastics bij sorteerdere ligt een (tijdelijke) subsidieregeling voor sorteerbeidrijven voor de aanschaf van aanvullende installaties voor sortering voor de hand. Een subsidie via het afvalfonds daarvoor is ook mogelijk maar indirecter. Dan zou het gaan om (tijdelijke) premie op het sorteertarief wanneer PLA uitgesorteerd wordt. Aan de andere kant pleit voor een regeling via het afvalfonds dat een deel van sorteerdere in het buitenland zitten en het subsidiëren van bedrijven in het buitenland roept vragen op.

6.4 Aanbevelingen

- Voer in samenwerking met een bronscheider (bijvoorbeeld SUEZ) en een nascheider (bijvoorbeeld Omrin) en een techniekleverancier (bijvoorbeeld TOMRA) in de loop van 2019 een aantal tests uit met uitsorteeropstellingen ingesteld op PLA om meer inzicht te krijgen in het daadwerkelijk uitsorteren van PLA uit Nederlands afval (zie Bijlage B).
- Verken de optie om 2D-PLA uit te sorteren in een aparte foliesorteerinstallatie. Deze optie is niet meegenomen in deze studie, maar is mogelijk goedkoper en effectiever dan uitsortering in een kunststofsorteerinstallatie.
- Treed in overleg met het transitieteam kunststoffen om de doelstelling voor 15% biokunststoffen voor 2030 te voorzien van een roadmap met tussendoelen en een inschatting van verdeling over toepassingen (verpakkingen, andere toepassingen) en materialen.
- Verken samen met het Afvalfonds Verpakkingen de gewenste combinatie van stimulering van soorten materialen en van recyclebaarheid in de verpakkingenmarkt.
- Sluit aan bij de bovenstaande roadmap aan met beleidsinstrumenten die de gewenste toename van bioplastics stimuleren bijvoorbeeld in samenwerking met het Afvalfonds en voeg daar bij toename van PLA in de verpakkingenmarkt tot ongeveer 2% een stimulans voor sorteerdere aan toe.
- Analyseer bij daadwerkelijk invoeren van sortering en recycling van PLA uit huishoudelijk kunststofafval de verschillen tussen verschillende sorteerdere zodat het invoeringsplan aansluit bij zoveel mogelijk sorteersituaties.
- Treed in overleg met de Duitse overheid en het Duitse DSD-sorteersysteem met het doel te verkennen of een gezamenlijk systeem voor Nederland en Duitsland mogelijk is. Dit zou niet alleen schaalvoordelen geven maar zou ook het probleem oplossen dat dit afval niet uitgesorteerd wordt.
- Wellicht komen er in de toekomst andere sorteermethoden Near Infrared op de markt. Het is aan te bevelen hierbij gelijk de vraag te stellen of PLA ook eenvoudig is af te scheiden met deze methoden.



7 Referenties

- Afvalfonds Verpakkingen, 2018. *Monitoring Verpakkingen : Resultaten inzameling en recycling 2017, versie 1.0*, Leidschendam: Afvalfonds Verpakkingen.
- Alaerts, L., Augustinus, M. & Van Acker, K., 2018. Impact of Bio-Based Plastics on Current Recycling of Plastics. *Sustainability*, 10(5), p. 1487.
- CE Delft, 2011. *LCA : recycling van kunststof verpakkingsafval uit huishoudens*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2017a. *Biobased Plastics in a Circular Economy : Policy suggestions for biobased and biobased biodegradable plastics*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2017b. *Kosten en effecten van statiegeld op kleine flesjes en blikjes*, Delft: CE Delft.
- CE Delft, 2017c. *STREAM Goederenvervoer 2016 : Emissies van modaliteiten in het goederenvervoer*, Delft: CE Delft.
- Eureco en WUR, 2017. *Samenstelling ingezameld kunststof/PMD-verpakkingen : het effect van inzamelsystemen*, sl: Learning Cen+er Kunststof Verpakkingsafval (LCKVA).
- European Bioplastics, 2015. *Global production capacities of bioplastics 2014*. [Online] Available at: http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/md/EUBP_share_of_material_types_2014_en.jpg. [Accessed september 2016].
- EVO, 2016. *Kostenontwikkelingen in het wegvervoer : Onderzoekperiode: oktober 2015 - oktober 2016*, Zoetermeer: EVO.
- Fraunhofer, 2018. *Verbundvorhaben: Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen; Teilvorhaben 2,3,5: Recycling von biobasierten Werkstoffen, ökologische Bewertung zur Strategieentwicklung in Richtung hochwertiger Recyclingoption*, Oberhausen: Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT).
- Hiebel, M. et al., 2017. *PLA-Abfälle im Abfallstrom : vorgelegt von Partnern des BMEL-Verbundvorhabens: Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen'*, Oberhausen: Fraunhofer UMSICHT.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013 : The Physical Science Basis : Fifth Assessment Report: Working Group 1*. Cambridge: The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- KIDV, 2014. *Verwerking kunststof verpakkingsafval, factsheet*, Den Haag: Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV).
- KIDV, 2017. *Overzicht van de keten van kunststofverpakkingsafval: Deelproject volumes en ketenstappen : Onderzoek kunststofketen*, Den Haag: Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV).
- KNOTEN WEIMAR, 2017. *Verbundvorhaben: Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen; Teilvorhaben 1.1: Koordinierung, Biobasierte Kunststoffe im Post-Consumer-Recyclingstrom (BioRec)*, Weimar: KNOTEN WEIMAR Internationale Transferstelle Umwelttechnologien GmbH.
- KplusV, 2011. *Evaluatie-onderzoek bron- en nascheiding kunststof verpakkingsafval*, Arnhem: KplusV.
- Krebbekx, J., Duivenvoorde, G. & Haffmans, S., 2017. *Routekaart materiaalverduurzaming kunststof verpakkingen*, sl: KIDV.
- NRK Recycling, 2014. *Kunststof recyclingindustrie in Nederland : Onmisbare schakel naar de circulaire economie*, Den Haag: NRK Recycling.
- PlasticsEurope, 2018. *Plastics- the facts 2018 : an analysis of European plastics production, demand and waste data*, Brussels: PlasticsEurope.



Rebel ; Partners for Innovation, 2018. *Verkenning 'Kunststof Verpakkingsafval als Grondstof' : Technische en Economische Analyse, Eindrapportage*, sl: Kennisinstituut Duurzaam Verpakken (KIDV).

TOMRA Sorting, 2017. *AUTOSORT: Geavanceerde sensorgebaseerde sorteertechnologie voor optimale resultaten*. [Online]
Available at: <https://www.tomra.com/nl-nl/sorting/food/food-technology>
[Geopend 2019].

TU Chemnitz, 2017. *Verbundvorhaben: Nachhaltige Verwertungsstrategien für Produkte und Abfälle aus biobasierten Kunststoffen; Teilvorhaben 1.2: Biobasierte Kunststoffe im Post-Consumer-Recyclingstrom (BioRec)*, Chemnitz: TU Chemnitz, Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung (SLK).

Vink, E. & Davies, S., 2015. Life Cycle Inventory and Impact Assessment Data for 2014 IngeoTM Polylactide Production. *Industrial Biotechnology* , 11(3), pp. 167-180.

WRAP, 2008. *Domestic Mixed Plastics Packaging Waste Management Options: An assessment of the technical, environmental and economic viability of recycling domestic mixed plastics packaging waste in the UK*, Oxon (UK): Waste & Resources Action Programme (WRAP).

WUR, 2014. *Technisch haalbare sorteerrendementen met gescheiden ingezamelde kunststofverpakkingen van Nederlandse huishoudens*, Wageningen: Wageningen UR Food & Biobased Research.

WUR, 2017. *Recyclebaarheid van verpakkingen op de Nederlandse markt: Huishoudelijke kunststof verpakkingen in sorteerproducten onderzocht op recyclebaarheid en hoeveelheid*, Wageningen: Wageningen Food & Biobased Research.

Persoonlijke communicatie

Attero, 2018. Interview en mailwisseling, dhr. Corijn, augustus-december 2018.

Holland Bioplastics, 2018. Gesprek, november 2018.

KNOTEN WEIMAR, 2018. Interview, mw. Bauer, 5 december 2018.

Omrin, 2018. Interview en mailwisseling, dhr. Bergsma, oktober-november 2018.

SUEZ, 2018. Interview, dhr. Wierda en dhr. De Rooij, 10 oktober 2018.

TOMRA, 2018. Email, dhr. Te Winkel, 11 december 2018.

Total Corbion, 2018. Gesprekken en mailwisseling, dhr. De Bie en dhr. Jaso, augustus-december 2018.



A Kosten en opbrengsten van PLA-sortering

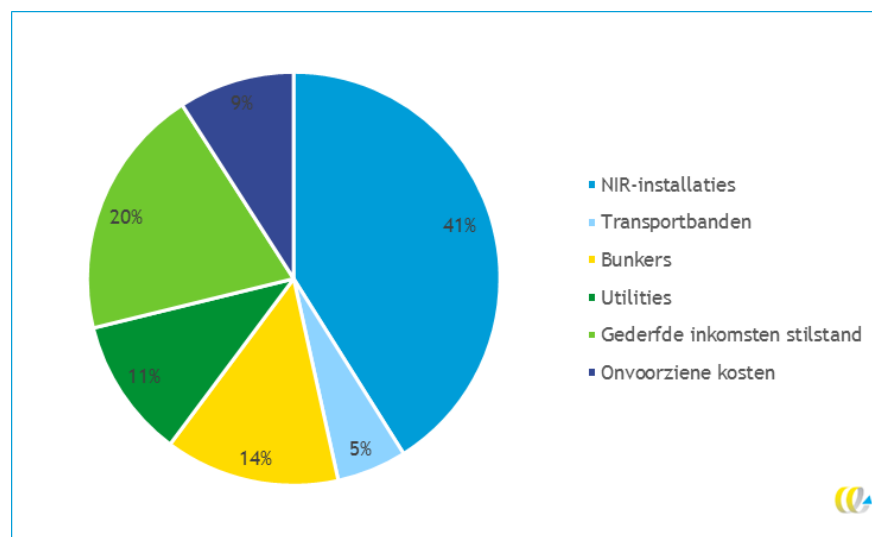
A.1 Kosten van sortering PLA

De inschatting van de kosten van invoering van PLA-sortering voor sorteerdere is voor een groot deel gebaseerd op schattingen van sorteerdere in Nederland (Attero, 2018; Omin, 2018; SUEZ, 2018). Deze bedrijven hebben ervaring met het in praktijk aanpassen van hun installaties; dit hebben ze eerder ook voor PET-bakjes, voor zwarte kunststoffen en voor drankkartons gedaan. Hieronder bespreken we de kosten van investering in een sorteersysteem voor 3D-PLA¹⁷, voor een KSI met een doorvoer van 50 kiloton huishoudelijk kunststof verpakkingsafval per jaar. We gaan daarbij uit van een 3D-PLA-percentage in het kunststof verpakkingsafval van 1,8%, wat betekent dat de KSI 0,9 kton vervuilde 3D-PLA per jaar binnenkrijgt.

A.1.1 Investeringskosten

In Figuur 16 is de verhouding te zien van de belangrijkste componenten van de investeringskosten in 3D-PLA in een KSI met een doorvoer van 50 kiloton per jaar, ervan uitgaande dat er één NIR-installatie, één transportband en één bunker aangeschaft moet worden om 3D-PLA uit te sorteren in een bestaande kunststofsorteerinstallatie. De grootste kostenpost is hier de aanschaf van de NIR-installatie, gevolgd door de gedeerde inkomsten tijdens de installatie van het PLA-sorteersysteem. Voor een KSI met een doorvoer van 25 kton/jaar zijn de gedeerde inkomsten de helft lager.

Figuur 16 - Verdeling investeringskosten in sorteersysteem voor 3D-PLA, voor een KSI met een doorvoer van 50 kton/jaar



¹⁷ De verschillen tussen investering in 3D-PLA en 2D-PLA-uitsortering behandelen we in de rentabiliteitsanalyse in Hoofdstuk 3.

NIR-installatie

Sorteerders schatten de investeringskosten van een NIR-installatie in op € 300.000 tot 400.000. TOMRA, een leverancier van NIR-installaties, geeft een schatting van € 100.000 tot 250.000, waarbij de hoogte afhangt van de capaciteit van de installatie en van de materiaalstroom (TOMRA, 2018). In de hogere schatting van de sorteerders zijn ook installeerkosten en kosten van ondersteunende systemen en faciliteiten verwerkt. Voor deze verkenning stellen we de kosten op € 200.000-300.000.

Transportbanden en bunkers

De investeringskosten van een transportband worden ingeschat op € 20.000-40.000. Een bunker wordt gebruikt om uitgesorteerde kunststofstromen op te vangen en te verzamelen. De investeringskosten van een bunker zijn ingeschat op € 50.000-100.000.

Utilities

Onder utilities worden onder andere elektriciteitsaansluitingen, persluchtaansluitingen, en besturingssystemen verstaan. De kosten van investering in utilities voor de invoering van PLA-sortering zijn ingeschat op € 40.000-80.000.

Gederfde inkomsten door stilstand

Tijdens het installeren van het PLA-sorteersysteem zal de KSI tijdelijk stilstaan, waardoor de sorteerder sorteervergoedingen en inkomsten voor uitgesorteerde kunststofstromen misloopt. Inschatting is dat de KSI één week stilstaat, en dat de gemiddelde sorteervergoeding 150 €/ton is¹⁸. Bij een KSI met een doorvoer van 50 kiloton per jaar zijn de gederfde inkomsten door stilstand dan ca. € 144.000. Voor een KSI met een doorvoer van 25 kton kunststof verpakingsafval per jaar zijn de gederfde inkomsten de helft lager.

Onvoorziene kosten

Grote bedrijfsinvesteringen kunnen tot onvoorziene kosten leiden, omdat niet alle kosten en risico's precies kunnen worden ingeschat, en doordat er onverwachte tegenvallers kunnen plaatsvinden bij de implementatie. Voor de investering in een 3D-PLA-sorteersysteem waarden we de post 'onvoorziene kosten' op 5 tot 10% van de totale investeringskosten, wat neerkomt op ca. € 23.000-66.000 (voor een KSI met een doorvoer van 50 kton/jaar, en gegeven bovenstaande kosteninschattingen).

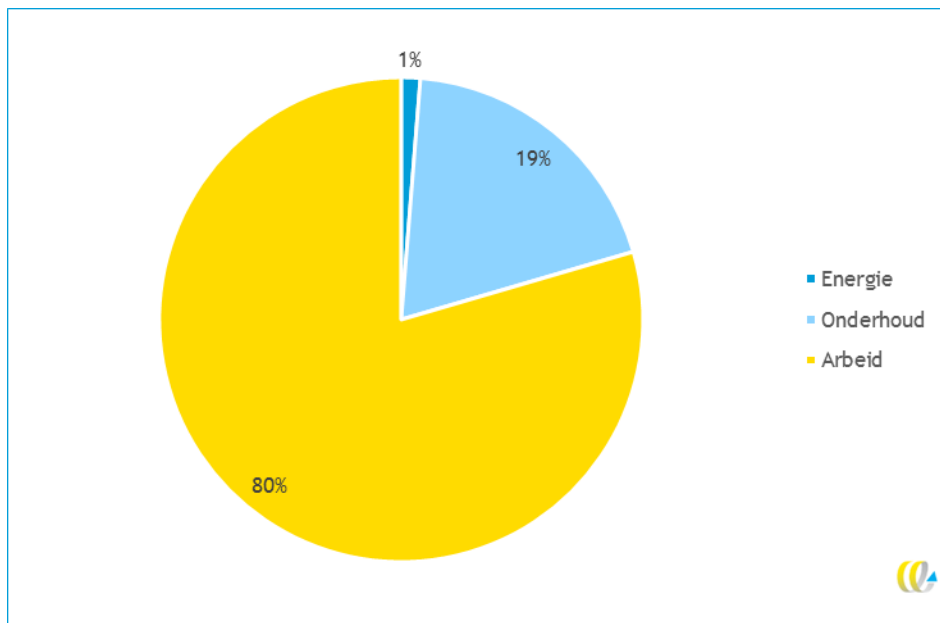
Operationele kosten

De operationele kosten van het uitsorteren van PLA bestaan vooral uit arbeid, energie en onderhoud. In Figuur 17 laten we de verhouding zien van deze operationele kosten van PLA-sortering in een KSI met een doorvoer van 50 kton/jaar, uitgaande van de maximumwaardes van kostenranges zoals hieronder aangegeven. Meer dan driekwart van de operationele kosten bestaat uit arbeidskosten, en het resterende deel wordt grotendeels ingenomen door de onderhoudskosten. Voor een KSI met een doorvoer van 25 kton/jaar geldt hetzelfde.

¹⁸ Gebaseerd op inschatting sorteerders en de [Factsheet Raamovereenkomst kunststof verpakkingen](#)



Figuur 17 - Verdeling operationele kosten sortering 3D-PLA (maximumwaardes), voor een KSI met een doorvoer van 50 kton/jaar en een PLA-percentage van 1,8%



Energie

Het energieverbruik van het sorteren van kunststof verpakkingsafval is 160-220 MJ/ton (CE Delft, 2011). Met een elektriciteitsprijs van 0,1 €/kWh¹⁹ worden de energiekosten ingeschat op 4,4-6,1 €/ton. Uitgaande van een KSI met een doorvoer van 50 kton/jaar en een 3D-PLA-percentage van 1,8% komt dit uit op ca. € 3.400-4.400 per jaar. Wanneer het PLA-verpakkingsmateriaal gedeeltelijk in de plaats komt van ander kunststof verpakkingen zal deze inschatting aan de hoge kant zijn (er worden immers ook kosten bespaard doordat dit andere materiaal niet uitgesorteerd wordt). Omdat de energiekosten in deze inschatting al minder dan 2% van de totale operationele kosten beslaan wordt deze conservatieve inschatting aangehouden.

Onderhoud

Onderhoudskosten per jaar worden vaak geraamd in de vorm van een percentage van de totale investeringskosten. Voor PLA-sortering is een percentage ingeschat van 5-10%, wat betekent dat de onderhoudskosten voor een KSI met een doorvoer van 50 kton/jaar € 23.000-66.000 per jaar bedragen (gegeven bovenstaande inschatting van de investeringskosten).

Arbeid

Sorteerders schatten de arbeidskosten van één handpicker voor 24 uur per dag (vijfploegen-dienst) in op € 150.000-275.000 per jaar. Deze range nemen we over.

¹⁹ [Stroomprijs: consument betaalt veel, industrie weinig vergeleken met buurlanden](#)

Gederfde inkomsten door vervanging andere kunststoffen

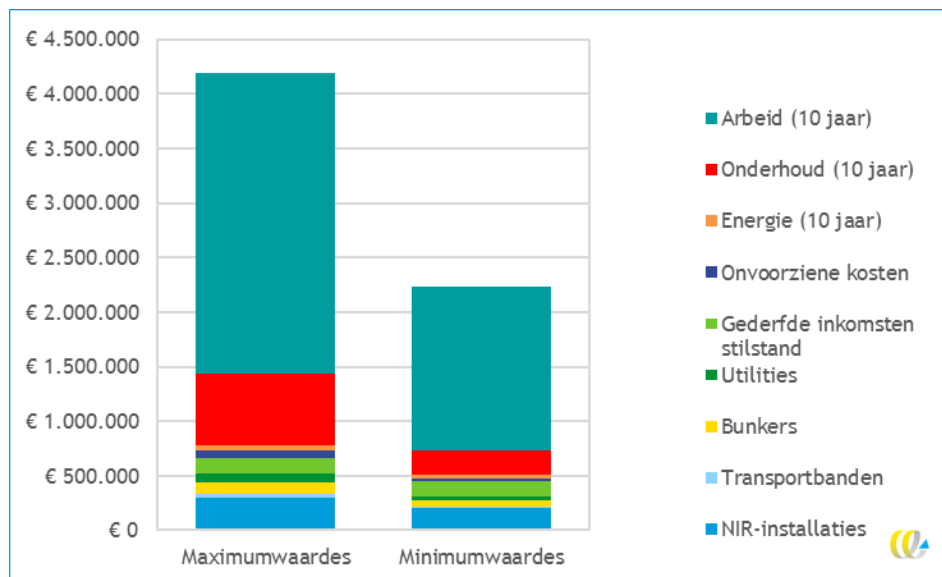
Een mogelijke extra operationele kostenpost kan ontstaan als de 3D-PLA-verpakkingen in de plaats komen van verpakkingen gemaakt van andere kunststoffen die worden uitgesorteerd tegen een vergoeding. Deze kostenpost hebben we hierboven niet meegenomen, omdat bij andere kunststoffen ook geen verschuivingseffecten worden meegenomen bij kostenberekeningen van recycling. Ook is in een dynamische markt vaak lastig vast te stellen wat in plaats komt van wat. In een gevoeligheidsanalyse hebben we wel geanalyseerd wat het effect is als we er van uitgaan dat PLA vooral PET vervangt (zie Paragraaf 3.5).

Totale kosten

In Figuur 18 is de verhouding te zien van de minimumwaarden van de totale kosten (investeringskosten plus operationele kosten) en die van de maximumwaarden van de totale kosten van het sorteren van 3D-PLA, uitgaande van een economische levensduur van tien jaar²⁰. Hiervoor zijn de verschillende operationele kostenposten vermenigvuldigd met tien²¹.

De investeringskosten bedragen 17-21% van de totale kosten van 3D-PLA-sortering, en de operationele kosten 79-83%. Relatief gezien zijn de investeringskosten dus klein. Arbeid (kosten van een extra handpicker) neemt verreweg het grootste deel in van de totale kosten, namelijk 66-67%. Het aandeel van de onderhoudskosten is 10-16%, en het aandeel van de investering in NIR-installaties 7-9%. De bijdrages van andere kostenposten zijn kleiner.

Figuur 18 - Verdeling totale kosten sortering 3D-PLA, voor een KSI met een doorvoer van 50 kton/jaar en een percentage van 3D-PLA van 1,8%

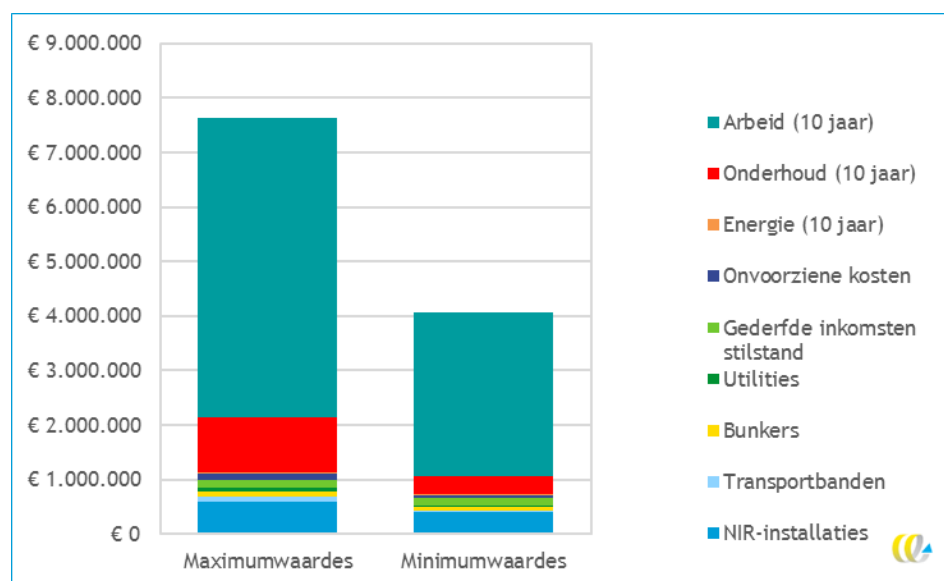


²⁰ Dit is gelijk aan de afschrijvingstermijn genoemd door sorteerdere voor een dergelijk systeem.

²¹ Hier zijn toekomstige kosten dus niet omgerekend naar de netto contante waarde.

De verdeling van de totale kosten van 2D-PLA-sortering is vergelijkbaar met die van 3D-PLA-sortering, maar de totale kosten zelf liggen 82% hoger, vanwege het hogere aantal benodigde systeemcomponenten en de werkzaamheden van twee handpickers (zie Figuur 19). Hier moet wel bij worden opgemerkt dat de uitsortering van 2D-PLA in een aparte folieverwerkingsinstallatie mogelijk goedkoper is dan uitsortering in de KSI zoals hier aangenomen, omdat verschillende foliestromen effectiever kunnen worden gescheiden met behulp van verschillende sorteertechnieken.

Figuur 19 - Verdeling totale kosten sortering 2D-PLA, voor een KSI met een doorvoer van 50 kton/jaar en een percentage van 2D-PLA van 1,2%



A.2 Kosten van recycling PLA

A.2.1 Verwerkingskosten

Omdat uitgesorteerd PLA met bestaande faciliteiten kan worden gerecycled, hoeven verwerkers niet te investeren in nieuwe systemen. De verwerkingskosten bestaan daarom enkel uit operationele kosten.

Vermalen, wassen en drogen

Uitgesorteerd PLA wordt allereerst vermalen tot flakes, gewassen en gedroogd. We verwachten dat de kosten hiervan vergelijkbaar zijn met de kosten van deze processen voor andere kunststoffen. Schattingen van verwerkers lopen uiteen van € 100 tot 250 per ton.²² Voor deze verkenning nemen we een kostenrange aan van 200-250 €/ton.

²² Input van verschillende kunststofverwerkers, persoonlijke communicatie, november-december 2018. De meest genoemde waarde was € 250 per ton.

Transport

De kosten van transport van PLA-flakes van de sorteerder naar de verwerker en daarna naar de haven (voor transport naar de PLA-fabriek) kunnen worden ingeschat door de kosten van transport van bulkgoederen over de weg te berekenen. Op basis van EVO (2016) zijn deze kosten berekend op € 1,4-1,8 per kilometer bij een laadvermogen van de vrachtauto van 23 ton. Dit komt dus neer op € 0,06-0,08 per ton per kilometer.

Recyclingkosten

In de economische verkenning richten we ons op de chemische recycling van uitgesorteerd PLA in het PLA-productieproces, omdat dit een hoogwaardige vorm van recycling betreft. Om zulke PLA-recycling in te voeren in PLA-synthese-fabrieken zijn geen nieuwe installaties nodig (Total Corbion, 2018). De recyclingkosten bestaan daarom enkel uit operationele kosten.

Transportkosten

De kosten van zeetransport van PLA-flakes naar de PLA-fabriek zijn ingeschat op \$ 100 per ton (Total Corbion, 2018).

Proceskosten

De proceskosten van depolymerisatie van de PLA-flakes tot melkzuur en de synthese tot PLA zijn geschat op \$ 200 per ton (Total Corbion, 2018).

Residukosten

De residukosten zijn de kosten van verwerking van verontreinigingen uit de stroom PLA-flakes. Deze kosten kunnen worden ingeschat door aan te nemen dat deze gelijk zijn aan de kosten van verbranding van plastic restafval: € 50-100 per ton residu (CE Delft, 2017b).

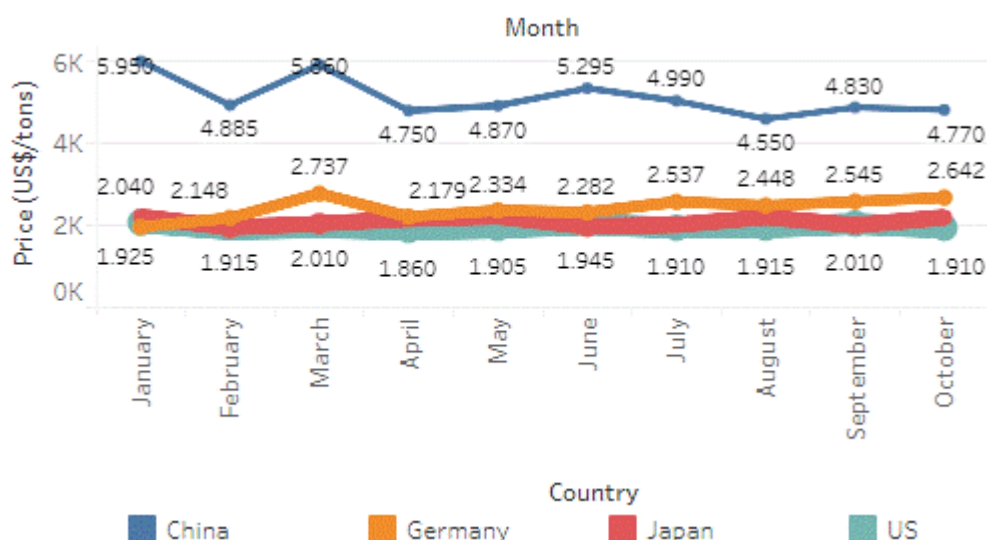
A.3 Opbrengst van uitgesorteerd PLA

De maximale prijs die de sorteerder voor uitgesorteerd PLA zou kunnen krijgen is gelijk aan de bereidheid van de verwerker, en indirect die van de PLA-producent, om te betalen voor uitgesorteerd PLA. Deze *betalingsbereidheid* kan worden berekend door de marktprijs van melkzuur (opbrengst voor de PLA-producten) te verminderen met de operationele kosten van de PLA-producent en die van de verwerker.

De melkzuur (LA)-prijs is in de orde van \$ 1.000-1.500 per ton, en er is 1,3 ton melkzuur nodig om 1 ton PLA te maken (Total Corbion, 2018). Wanneer we uitgaan van een wisselkoers van \$ 1,14 dollar per ²³, een gemiddelde PLA-kwaliteit van 86-94%²⁴, een winstmarge voor de PLA-producent van 15-20%, een winstmarge voor de verwerker van 5-10%²⁵ en een afstand van de locatie van de verwerker tot de haven van 50-100 km, is de betalingsbereidheid ca. € 250-940 per ton 100% PLA (dus exclusief verontreiniging). Inclusief verontreiniging wordt dit € 220-890 per ton. De sorteerder zou dus *maximaal* -€ 940 per ton kunnen krijgen voor uitgesorteerd puur PLA. De verkoopprijs zou ook lager kunnen komen te liggen dan de betalingsbereidheid van de verwerker, als de kosten van PLA-sortering een stuk lager liggen en er ruimte is voor onderhandeling over de verkoopprijs.

Deze grote range wordt voor een groot deel veroorzaakt door de onzekerheid over de marktprijs van melkzuur. Deze prijs kan sterk fluctueren over de tijd, maar er zijn wereldwijd ook verschillende prijsniveaus, zie Figuur 20. Daarmee is de betalingsbereidheid voor uitgesorteerd PLA even onzeker. Om deze onzekerheid en andere onzekerheden, mee te nemen, is het daarom belangrijk om in de verkenning van de rentabiliteit van PLA-sortering in Hoofdstuk 3 expliciet te rekenen met een onderwaarde en een bovenwaarde (range).

Figuur 20 - Ontwikkeling van PLA-prijzen in 2017²⁶



²³ [Current and Historical Rate Tables USD- US Dollar 2018-11-02](#)

²⁴ De transport- en proceskosten moeten worden omgerekend naar kosten per ton PLA exclusief verontreiniging. Hiervoor is een aanname over de PLA-kwaliteit nodig. De 86-94% is de gemiddelde PLA-kwaliteit wanneer zowel 2D-PLA als 3D-PLA worden gesorteerd en gerecycled, de kwaliteit van 2D-PLA 80-90% is, de kwaliteit van 3D-PLA 90-97%, en 60% van het PLA-afval 3D-PLA is.

²⁵ Dit wordt toegelicht in Paragraaf 3.2.

²⁶ <https://www.plasticsinsight.com/resin-intelligence/resin-prices/polylactic-acid/>, geraadpleegd op 3 januari 2019.



B Opzet voor PLA-sorteerproef

Een PLA-sorteerproef heeft nog niet eerder plaatsgevonden bij een kunststofsorteerinstallatie (KSI) die Nederlands afval sorteert, en zal zeer nuttig zijn om meer informatie te verkrijgen over het sorteerrendement (in welke stromen komt het PLA terecht) en de kwaliteit van de uitgesorteerde PLA-stroom. In het kader van deze verkenning hebben we ook de mogelijkheid van een PLA-sorteerproef bekeken, en hierover gesproken met sorteerders SUEZ en Omrin. Met Omrin hebben we in meer detail gesproken over de opzet van zo'n sorteerproef. Het is mogelijk om binnen een paar maanden een sorteerproef voor te bereiden.

Omrin is bereid om een proef in de KSI in Oudehaske te faciliteren. Het bedrijf geeft daarbij de volgende voorwaarden aan:

- vergoeding van out-of-pocket-kosten, zoals kosten voor extra personeel voor uitvoering van de proef;
- de normale bedrijfsvoering mag niet worden verstoord en de sorteerders mogen niet extra worden belast;
- de proef zou niet meer dan enkele uren moeten duren;
- omdat het sorteerproces kort moet worden stilgelegd om de instellingen van de NIR-installatie aan te passen, is het niet goed mogelijk om in de KSI verschillende systeeminstellingen uit te testen.

Vanwege het laatste punt zijn er geen iteraties mogelijk gedurende de proef, dus er moet vooraf gekozen worden voor een bepaald PLA-percentage, bijmenging bij ofwel nagescheiden afval ofwel brongescheiden afval, en voor een bepaalde samenstelling van het PLA-materiaal (type verpakkingen).

Ook betekent dit dat er een risico is dat de NIR-instellingen niet voldoen. Om deze reden is het wenselijk om uitsortering van het PLA-materiaal vooraf te testen in een testfaciliteit. TOMRA is bereid om dit te doen. Hiervoor wil TOMRA weten welke andere bioplastics er mogelijk in de kunststofstroom zitten, omdat dit de effectiviteit van uitsorteren en de benodigde instellingen kan beïnvloeden. Verder is het bedrijf bereid iemand van het testcentrum in te zetten om een PLA-sorteerproef bij de KSI te begeleiden (TOMRA, 2018).

De communicatie met Omrin heeft geleid tot onderstaande opzet en beschrijving van de stappen ter voorbereiding en uitvoering van een sorteerproef (Omrin, 2018):

Vorbereiding

- **Plannen van omvang van proef:** De proef duurt hooguit enkele uren. Total Corbion kan tot 1 ton materiaal leveren (zie onder); dit is al zeer veel voor een proef waar ook handmatig sorteerwerk moet worden verricht. Bij een doorvoer van 10 ton per uur en een PLA-percentage van 5% zou 1 ton PLA in twee uur door de KSI gaan.
- **Regelen van PLA-materiaal:** Eerst moet een keuze worden gemaakt over het PLA-materiaal dat in de proef wordt gebruikt. Omdat het uitsorteren van 3D-materiaal eerder rendabel is, ligt het voor de hand om de proef op 3D-verpakkingen te richten. Total Corbion is bereid PLA-materiaal beschikbaar te stellen voor de proef. Deze PLA-producent kan enkele honderden kilo's tot 1 ton PLA-bakjes leveren. Het bedrijf wil dan het uitgesorteerde en verwerkte PLA ontvangen en gebruiken voor een PLA-recyclingproef.



- **Testen van PLA-materiaal:** In een testfaciliteit kunnen de instellingen van het NIR-sorteersysteem sneller worden aangepast. De systeeminstellingen kunnen hiermee dus worden geoptimaliseerd, om tot een zo hoog mogelijk sorteerrendement en kwaliteit van de uitgesorteerde stroom te komen. De resultaten van deze test kunnen dan worden gebruikt voor de sorteerproef in de KSI.
- **Inplannen van sorteerders:** Bij elke transportband in de KSI met een outputstroom waarin PLA terecht kan komen moet een sorteerder staan om gemarkeerde PLA uit te sorteren. Verder moet de keuze worden gemaakt of in de proef een handpicker wordt ingezet om grote verontreinigingen uit de PLA-stroom te halen. Om inzicht te krijgen in de maximaal haalbare PLA-kwaliteit is het aan te raden om een handpicker in te zetten.

Uitvoering

- **Instellen van NIR-installatie:** Het sorteerproces van de KSI moet kort worden stilgelegd om een NIR-systeem in te stellen op de uitsortering van PLA. Dit moet worden uitgevoerd door een ingenieur van TOMRA.
- **Markeren van PLA-materiaal:** Het PLA-materiaal moet worden gemarkeerd, zodat bij de monostromen de PLA goed te herkennen is. De markering kan het best aan de binnenkant van de verpakking worden geplaatst, zodat de uitsortering niet wordt beïnvloed.
- **Vervuilen van PLA-materiaal:** Het geleverde PLA-materiaal moet kunstmatig vervuild worden om de proef realistischer te maken.
- **Bijmengen van PLA-materiaal:** De benodigde hoeveelheid afval (welke afhangt van het gewenste PLA-percentage en de hoeveelheid PLA-materiaal) moet worden uitgewogen en gemengd met het PLA.
- **Uitvoeren van proef:** De ‘proefbatch’ wordt het sorteerproces ingevoerd, de ‘proefsorteerders’ sorteren het PLA uit bij de monostromen en de handpicker verwijdert verontreinigingen in de afgescheiden PLA-stroom op de band. Om het normale sorteerproces niet te storen kunnen stromen niet afzonderlijk worden gewogen, dus moet er een inschatting worden gemaakt van het percentage van PLA in andere stromen op basis van data van normale bedrijfsvoering. Bij de uitgesorteerde PLA-stroom kan de kwaliteit wel verder worden onderzocht.
- **Uitgesorteerde PLA-stroom beschikbaar stellen voor recycleproef:** Om ook de recyclebaarheid van uitgesorteerd PLA verder te onderzoeken is een recycleproef zeer nuttig. Zoals hierboven genoemd wil Total Corbion zo’n proef doen. Het is nuttig om bij de voorbereiding van de sorteerproef ook al over de recycleproef na te denken. Dit kan implicaties hebben voor de o.a. keuze voor het PLA-materiaal, de hoeveelheid materiaal, en de benodigde PLA-kwaliteit.

Het zou zeer nuttig zijn om PLA-sortering bij zowel brongescheiden als nagescheiden kunststof verpakkingsafval te testen, omdat de samenstelling van deze stromen verschilt en dit mogelijk tot een ander sorteerrendement en andere PLA-kwaliteit leidt. Ook SUEZ is geïnteresseerd in een PLA-sorteerproef. Een ideale testopzet zou zijn om een sorteerproef met brongescheiden materiaal bij SUEZ uit te voeren en een proef met nagescheiden materiaal bij Omrin.

