

Klimaatimpact van circulaire plastics

Mechanisch recyclaat, chemisch
recyclaat en biobased plastic



Klimaatimpact van circulaire plastics

Mechanisch recyclaat, chemisch
recyclaat en biobased plastic

Dit rapport is geschreven door:
Nicole Imholz, Anna Schwarz, Martijn Broeren

Delft, CE Delft, September 2025

Publicatienummer: 25.230468.180

Opdrachtgever: NRK Recycling

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

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de
projectleider Nicole Imholz (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 sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Een Inleiding	6
	1.1 Doel en aanpak	6
2	Methode	7
	2.1 Keten van kunststof	7
	2.2 Kunststofrecycling- en productietechnieken	8
	2.3 Databronnen voor klimaatimpact	12
	2.4 Plastic-naar-plastic-rendement	13
3	Klimaatimpact van recyclaat en biobased kunststof	14
	3.1 Interpretatie van de klimaatimpact	14
	3.2 ABS (acrylonitril-butadien-styreen)	16
	3.3 PE (polyethyleen)	17
	3.4 PET (polyethyleentereftalaat)	18
	3.5 PP (polypropyleen)	18
	3.6 PS (polystyreen)	19
	3.7 PVC (polyvinylchloride)	20
	3.8 Overige biobased kunststoffen	20
4	Conclusies	21
	Literatuur	23
A	Bronnen	25

Samenvatting

Deze literatuurstudie rapporteert de klimaatimpact van de productie van zeven kunststoffen (ABS, PE, PET, PP, PS, PVC, PLA) uit verschillende bronnen (fossiel, gerecycled, biobased). Voor gerecyclede kunststoffen rapporteren we ook het plastic-naar-plastic-rendement. Dit rapport geeft een indicatie van de verhoudingen van de klimaatimpact van verschillende recycling- of productietechnieken, en biedt een vertrekpunt voor eigen berekening of verkenning van scenario's. We rapporteren de resultaten in bandbreedtes. Voor het precies berekenen van de klimaatimpact van een specifieke producent geven de resultaten in dit rapport een eerste indicatie maar is meer onderzoek nodig.

De variatie aan klimaatimpact en eventueel ook rendement *binnen* een bepaalde productie- of recyclingtechnologie wordt veroorzaakt door het type feedstock (welke biomassa of afvalstroom en vervuilingsgraad), het proces (welke elektriciteitsmix, energiebron en co-producten) en/of de methode waarmee de klimaatimpact is berekend. Daarnaast zijn er belangrijke aspecten die niet naar voren komen in de klimaatimpact, maar die wel een rol spelen bij duurzaamheid, zoals de functionele eigenschappen van de kunststof (bijvoorbeeld bio-afbreekbaarheid) en de kwaliteit van het recyclaat. Ook is er onzekerheid doordat een aantal technieken nog in ontwikkeling is, en inzamelroutes nog niet operationeel zijn.

Op basis van de verzamelde gegevens concludeert CE Delft:

- Kunststoffen gemaakt van recyclaat hebben een aanzienlijk lagere klimaatimpact dan fossiel kunststof. Een uitzondering hierop is chemische recycling door pyrolyse bij PE en PP. Dit heeft een hogere klimaatimpact dan fossiel kunststof, onder andere doordat in het pyrolyseproces een deel van de feedstock (het plastic afval) verbrand wordt.
- Mechanische recycling en korte keten chemische recycling (oplossen en depolymerisatie) hebben de laagste klimaatimpact en hoogste plastic-naar-plastic-rendementen. Deze technieken zijn of worden ontwikkeld voor de verwerking van verschillende afvalstromen en ze produceren een recyclaat met verschillende eigenschappen. Mechanische en korteketenchemische recycling vullen elkaar dus goed aan. Studies van de verwerking van specifieke afvalstromen kunnen bepalen wat de meest geschikte recyclingoptie is.
- Biobased plastics hebben vaak een lagere klimaatimpact dan primair fossiel, maar dit is niet altijd het geval. De lagere klimaatimpact komt doordat bij het groeien van de biomassa (bijvoorbeeld suikerriet) CO₂ wordt opgenomen uit de atmosfeer.

Biobased kunststof omvat een scala aan biomassasoorten en productietechnieken, en de methodes om klimaatimpact te berekenen verschillen. Om van een type biobased kunststof de klimaatimpact te berekenen, moet de specifieke keten worden onderzocht. Hierbij zijn ook andere milieueffecten belangrijk zoals land- en watergebruik, gevolgen van gewasbescherming en het gebruik van meststoffen.

Geconcludeerd kan worden dat kunststof duurzamer geproduceerd kan worden door acties waarin de overheid en bedrijven samen kunnen werken:

1. Als de overheid minder consumptie en meer hergebruik en reparatie stimuleert, en als producenten meer biobased en recycalaat toepassen, daalt het fossiel kunststofgebruik.
2. het verder ontwikkelen van biobased kunststof, rekening houdend met mogelijke veranderingen in landgebruik en andere milieueffecten (CE Delft, 2023c, 2025a)
3. Het meer toepassen en verder ontwikkelen van mechanische recycling en korte keten chemische recycling, ook voor nieuwe biobased kunststoffen. Dit vergt het verder ontwikkelen van infrastructuur voor inzameling en sortering, en het ontwikkelen en afstemmen van recyclingprocessen op afvalstromen. Zo kan de hoeveelheid kunststofafval die niet efficiënt gerecycled kan worden geminimaliseerd worden, zodat minder energetisch efficiënte recycling zoals pyrolyse op termijn overbodig is (TNO et al., 2023).
4. Bij het ontwerp van producten rekening houden met de stappen na het gebruik: inzameling, sortering, verwijdering van vervuiling en recyclingproces. Hierdoor kan recycling beter ingezet worden zodat de klimaatimpact geminimaliseerd wordt.
5. Duidelijke wetgeving over berekening en rapportage van het aandeel biobased en/of (chemisch) gerecycled kunststof in producten

1 Een Inleiding

CE Delft heeft in 2023 in opdracht van NRK Recycling het klimaatvoordeel van de mechanische recycling van kunststof ingeschat. In deze studie is voor verschillende soorten recyclaat (rPET, rHDPE, rPP, r(L)LDPE, rPVC, rPS en rABS) berekend wat de klimaatimpact is van het recyclaat en hoe deze zich verhoudt tot de klimaatimpact van virgin kunststof.

Naast mechanische recycling is chemische recycling van kunststof in opkomst: nieuwe technieken zijn in ontwikkeling en/of worden opgeschaald. In deze studie voegen we daarom de klimaatimpact van chemische recyclingstechnieken toe op basis van de huidige studies. De klimaatimpact van mechanisch recyclaat updaten we op basis van recentere studies. Ten slotte rapporteren we ook de klimaatimpact van biobased kunststoffen.

1.1 Doel en aanpak

Het doel van de studie is een indicatie geven van de huidige klimaatimpact van verschillende kunststof recyclingroutes, biobased kunststoffen, en fossiele (virgin) kunststoffen. De klimaatimpact is de bijdrage aan klimaatverandering van broeikasgassen, uitgedrukt in CO₂-equivalenten.

Dit is een literatuurstudie, waarin we gerapporteerde klimaatimpacts uit recente studies verzamelen. De focus ligt hierbij op studies van CE Delft. De studies hanteren verschillende methodes, aannames en achtergronddata voor het berekenen van een klimaatimpact. Daarom geven we de klimaatimpacts weer in bandbreedtes. Doordat de onderliggende studies verschillen in aanpak zijn er kanttekeningen bij het direct vergelijken van de klimaatimpacts van de verschillende producten. De belangrijkste kanttekeningen vermelden we bondig in deze studie, maar kunnen in meer detail worden teruggevonden in de oorspronkelijke studies.

2 Methode

2.1 Keten van kunststof

De gerapporteerd klimaatimpact bevat de grondstofwinning of inzameling van kunststofafval tot aan het halfproduct (kunststofgranulaat) wat een producent kan verwerken in een kunststofeindproduct. Dit zijn dezelfde (cradle-to-gate) systeemgrenzen als de vorige studie (CE Delft, 2023a). Deze zijn versimpeld weergegeven in Figuur 1. Hieronder staan de belangrijkste punten samengevat:

- De stappen meegenomen bij de impact van virgin kunststof zijn de inputs (energie, aardolie), het productieproces en het transport van grondstoffen, tot aan het halfproduct: granulaat.
- Het betreft hier het recyclen van 'post-consumer plastic waste'¹. Afhankelijk van het type kunststof zijn verschillende bronnen van productgroepen meegenomen, zoals verpakkingen, elektrisch en elektronisch afval, voertuigen, buizen, bouwafval, etc. Indien dit bekend is gemaakt in de studie, is het type afvalstroom te vinden in het overzicht van de gebruikte studies in Bijlage A.
- De ketenstappen die zijn meegenomen bij de impact van recycalaat (mechanisch of chemisch) zijn inzameling, sortering en verwerkingsstappen tot gerecycled granulaat. Verwerkingsstappen kunnen zijn: nasorteren, vermalen, scheiden, wassen, drogen, agglomereren, regranuleren en/of kristalliseren en nacondenseren.

Inzameling en sortering zijn voor chemische recycling aangenomen gelijk te zijn aan mechanische recycling, omdat deze technieken nog in ontwikkeling zijn. De vorige studie geeft de klimaatimpact van inzameling en sortering voor mechanische recycling van verschillende typen kunststof (CE Delft, 2023a)

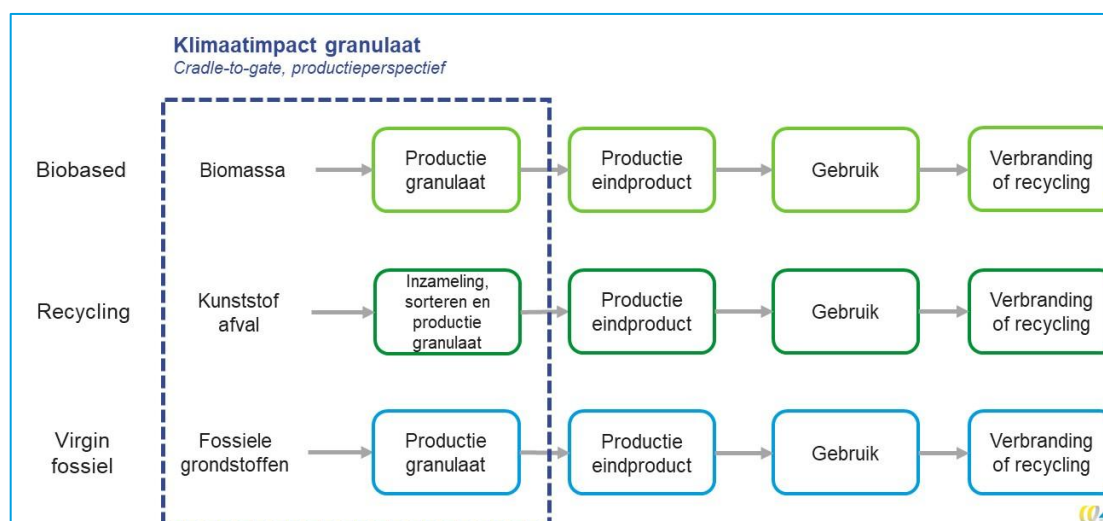
- Aan deze studie voegen we ook de klimaatimpact toe voor biobased kunststof. Deze heeft dezelfde systeemgrenzen als bij fossiel virgin kunststof: grondstoffen, transport, en productieproces tot aan halfproduct (kunststofgranulaat) zijn meegenomen.
- In deze studie nemen we latere stappen in de levenscyclus, zoals het verbranding of weer recyclen van kunststof, niet mee.

¹ Zoals gedefinieerd in art. 48 van de Packaging and packaging waste regulation (2025/40): 'Post-consumer plastic waste' means waste that is plastic and that has been generated from plastic products that have been placed on the market or supplied for distribution, consumption or use in a third country in the course of a commercial activity, whether in return for payment or free of charge.

- In deze studie is er geen credit toegekend voor het vermijden van verbranding van kunststof door het recyclen van kunststof. Hoe vermeden verbranding effect kan hebben op de uitkomst van LCA wordt helder uitgelegd in (TNO et al., 2023).
- Sommige LCA-studies hanteren verschillende scenario's voor energie (elektriciteit, warmte, en waterstof), zoals de huidige elektriciteitsmix en een volledig hernieuwbare variant, of grijze en groene waterstof. Wij verwijzen hier alleen naar de scenario's die uitgaan van de huidige energiebronnen. Veel technologieën, met name de energie-intensieve zoals pyrolyse, kunnen hierdoor in de toekomst een lagere klimaatimpact hebben. Dit wordt voor de meeste kunststoffen en technologieën uit dit rapport uitgewerkt in (TNO et al., 2023).

Ten slotte, de meegenomen studies verschillen in geografische en temporele scopes en gebruiken mogelijk verschillende achtergronddata. Het is buiten de scope van deze literatuurstudie om de gevolgen hiervan voor de klimaatimpacts toe te lichten.

Figuur 1 – Levenscyclus van kunststof voor primair biobased, gerecycled en primair of virgin fossiel kunststof. De klimaatimpact van kunststofgranulaat in deze studie geldt voor het produceren en verwerken van grondstoffen tot aan het punt dat kunststofgranulaat de fabriek verlaat, klaar om ingezet te worden voor een kunststof eindproduct.

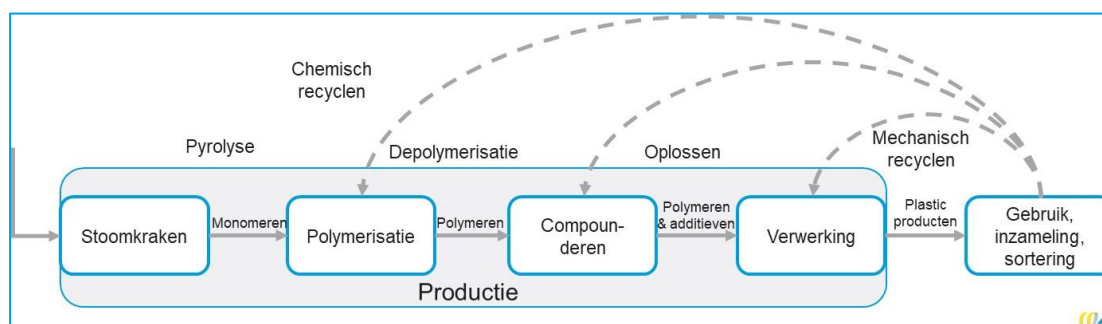


2.2 Kunststofrecycling- en productietechnieken

Hieronder lichten we kort toe wat onder de verschillende kunststofrecycling en productietechnieken wordt verstaan. Waar Figuur 1 een overzicht geeft van het verschil tussen fossiel primair, biobased primair en gerecyclede plastics, geeft Figuur 2 een overzicht van de verschillende recycling technologieën. De beschrijvingen in dit rapport geven basisinformatie en de belangrijkste nuances die invloed hebben op de klimaatimpact van de verschillende technologieën. Voor aanvullende details, en meer

informatie over de verschillen binnen de productie- en recyclingtechnologieën, wordt per technologie doorverwezen naar de relevante literatuur.

Figuur 2 – Verschillende technologieën van mechanische en chemische recycling brengen kunststoffen terug naar verschillende stappen in de productieketen van kunststof. Gebaseerd op (Crippa et al., 2019) en (CE Delft, 2022).



2.2.1 Fossiel primair kunststof

Onder fossiel primair kunststof vallen alle plastic kunststoffen die zijn gemaakt van fossiele grondstoffen, met als belangrijkste grondstof aardolie. Ruwe aardolie wordt in fracties opgedeeld, waarbij het meeste als brandstof dient. Eén van de ruwe aardoliefracties is nafta. Nafta bestaat uit een mix van lange koolstofketens, wat wordt gebruikt als grondstof voor de stoomkraker. De basischemicaliën die uit de kraker komen, dienen als grondstof voor kunststoffen. Deze kunststoffen worden ook wel virgin plastic genoemd, omdat het ‘nieuw’ plastic is, oftewel de eerste keer dat de plastics worden geproduceerd.

2.2.2 Biobased primair kunststof

Biobased primair kunststof zijn gemaakt van biomassa. De biomassa kan afkomstig zijn van gewassen, reststromen uit land- of bosbouw, gebruikte vetten en oliën of zuiveringsslib. In Nederland in 2022 was minder dan 1% van de geproduceerde plasticproducten uit biobased plastic (CE Delft, 2025a). Dit is momenteel voornamelijk biobased plastic afkomstig van suiker of zetmeel uit voedselgewassen zoals suikerriet of maïs. Een biobased kunststof is **niet** hetzelfde als **biologisch afbreekbaar** (Molenveld & Bos, 2020). Biobased primaire kunststoffen worden vaak ingedeeld in de volgende twee groepen (IfBB, 2024):

- *Drop-in* biobased plastics. Deze plastics hebben een identieke moleculaire structuur als hun fossiele tegenhangers, zoals bio-PE, bio-PP, bio-PET, bio-PVC.
- *Nieuwe* biobased plastics. Deze hebben een ander soort moleculaire structuur, die niet voorkomt als fossiele kunststof, en die in de huidige industrie (nog) niet kan worden geproduceerd, zoals PLA, PHA, PEF, PTT.

Als een biobased plastic óók een biologisch afbreekbaar plastic is, kan het materiaal apart worden ingezameld en worden gecomposteerd. Hier zitten ook verschillen in. PLA kan bijvoorbeeld industrieel worden gecomposteerd, maar composteert niet goed onder

natuurlijke omstandigheden. Kunststoffen als PHA kunnen wel onder natuurlijke omstandigheden afbreken.

2.2.3 Mechanisch gerecycled plastic

Plastics die mechanisch zijn gerecycled, komen van plastic afval. Bij mechanische recycling wordt plasticafval verwerkt tot nieuwe grondstoffen of producten zonder dat de chemische samenstelling van het plastic verandert. Bij mechanische recycling wordt het plastic afval eerst ingezameld, dan gesorteerd naar polymeertype, en vervolgens gewassen, gedroogd, vermalen en vervolgens gesmolten. Daarna worden er kunststofkorrels van gemaakt.

Omdat mechanisch gerecycled plastic afkomstig is uit afvalstromen, kan het voor komen dat vervuilingen zoals voedselresten of andere polymeertypes in de gesorteerde plastic stroom terechtkomt. Hierdoor is de kwaliteit van mechanisch gerecycled kunststof vaak lager dan van fossiel primair kunststof. Mechanisch recyclaat kan daardoor over het algemeen ook niet worden ingezet in alle toepassingen. Eenvoudig gezegd, hoe schoner de plastic afvalstromen zijn, hoe beter de kwaliteit van het recyclaat. Echter zorgen het malen en smelten ervoor dat de ketens binnen het plastic polymeer worden aangetast, waardoor de eigenschappen van mechanisch recyclaat anders kunnen zijn dan van fossiel primair kunststof. Plastic kan mede hierdoor maar een aantal keren mechanische recycling ondergaan (Demets et al., 2021).

2.2.4 Oplossen²

Plastics die met oplossen worden gerecycled, komen vaak van complexe plastic afvalstromen, die bijvoorbeeld additieven zoals brandvertragers bevatten, of composieten die moeten worden gescheiden van het polymeer. Bij deze technologie wordt het plastic ook ingezameld, gesorteerd, gewassen gedroogd en gemalen. Vervolgens wordt het polymeer gesmolten en daarna opgelost in chemicaliën, om zo additieven en vervuilingen uit het plastic te halen. Dit wordt ook wel solvent-gebaseerde extractie of dissolutie genoemd. De structuur van het polymeer zelf verandert niet, daarom blijft het polymeer het eindproduct. Deze technologie kan worden ingezet om polystyreen (PS) **of ABS** te recyclen.

Deze technologie is geschikt voor complexe plastic afvalstromen die niet altijd mechanisch gerecycled kunnen worden, bijvoorbeeld door additieven. Echter is voor deze technologie meer energie en meer grondstoffen (chemicaliën om de plastics in op te lossen) nodig dan bijvoorbeeld chemische recycling. Daarnaast is het niet altijd duidelijk, of de kwaliteit van

² De term 'chemische recycling' wordt vaak gebruikt om naar een scala van nieuwe recyclingtechnologieën te verwijzen. Hier beschouwen we recycling op basis van selectieve extractie ('oplossen') niet als vorm van chemische recycling, omdat de polymeren niet worden afgebroken tot de bouwstenen.

het polymeer hoog blijft, omdat ook hier het polymeer moet worden vermalen en gesmolten.

2.2.5 Chemisch gerecycled plastic (depolymerisatie)

Chemische recycling is een verzamelnaam van recycling technologieën waarbij het polymeer wordt afgebroken tot de chemische bouwstenen van plastics. Dit kan op meerdere manieren. Onder depolymerisatie vallen technieken waarbij condensatiepolymeren (zoals PET) worden afgebroken tot monomeren. Na sortering, wassen, malen, drogen en smelten van het plastic afval, wordt het polymeer opgelost in chemicaliën. Dit kan in ethyleen, glycol (glycolyse), water (hydrolyse), ammonia (ammonolyse) of alcohol (methanolyse). Vervolgens kunnen de ontstane monomeren weer worden gebruikt om nieuwe polymeren te maken.

Het voordeel van depolymerisatie is dat er geen kwaliteitsverlies van het polymeer plaatsvindt. Zo kan de lengte van de polymeerketens worden hersteld en kunnen vervuilingen worden verwijderd. Hierdoor is het recyclaat van hogere kwaliteit of zuiverheid. Echter heeft deze technologie een hoge puurheid nodig van stromen, omdat vervuilingen het proces kunnen verstoren. Daarnaast is er meer energie en grondstoffen nodig vergeleken met mechanische recycling (Clark & Shaver, 2024).

2.2.6 Chemisch gerecycled plastic (pyrolyse)

Ook onder chemische recycling valt pyrolyse. Bij pyrolyse wordt plastic afval, wat ook eerst gesorteerd, gewassen, gedroogd en gemalen is, gesmolten en vervolgens op hoge temperatuur in een zuurstofarme omgeving gebracht. Hieruit ontstaat een mix van gas, vloeistof en vaste stoffen met wisselende samenstellingen. Korte koolstofverbindingen bevinden zich vaak in gasvorm, wat wordt verbrand om energie te leveren voor het pyrolyseproces. In de vloeistof, de pyrolyse-olie, bevinden zich langere kunststofketens, wat qua samenstelling vergelijkbaar kan zijn met diesel of nafta. De pyrolyse-olie kan net als nafta worden verwerkt in de stoomkraker. Hierna is het proces vergelijkbaar met fossiel primair plastics (Paragraaf 2.2.1). In de praktijk moet deze pyrolyse olie worden gemengd met nafta, en is een massabalans benadering nodig om uit te rekenen wat het aandeel gerecyclede plastic is in de polymeren (zie Tekstkader 1) (CE Delft, 2022, 2023b).

Wat er uit een pyrolyseproces komt, zowel de verhouding gas, vloeistof en vaste stoffen als de chemische samenstelling ervan, is afhankelijk van het type polymeren in het plastic afval. Om de pyrolyse-olie zo veel mogelijk op nafta te laten lijken, zijn vooral plastics zoals polyethyleen (PE) en polypropyleen (PP) geschikt voor pyrolyse. Plastics die zuurstof (PET) of chloor (PVC) bevatten, geven minder gunstigere producten en kunnen in sommige gevallen het proces verstoren. Echter heeft ook met PP en PE in de afvalstroom, de pyrolyse-olie vaak een verschillende samenstelling van nafta. Het is echter mogelijk om waterstof te gebruiken om de kwaliteit van pyrolyse-olie te verbeteren. Hydrogeneren kan zowel contaminaties verwijderen als aromaten en dubbele bindingen verzadigen (Anuar Sharuddin et al., 2016).

Tekstkader 1 - Mass balancing in pyrolyse

In de praktijk wordt pyrolyse-olie, na het pyrolyseproces, bijgemengd met nafta voordat het de kraker in gaat. Hier wordt de mix samen gekraakt tot basischemicaliën (zie Paragraaf 2.2.6). Hierdoor is een deel van de basischemicaliën, waaronder ethyleen en propyleen, van secundair materiaal. Echter kan je niet meer fysiek de virgin van de gerecyclede content onderscheiden. Om toch te bepalen hoe groot het aandeel secundair materiaal is, schrijven de EU en Nederlandse overheid voor dat *mass balancing* kan worden toegepast. Mass balancing is een vorm van boekhouding om weer te geven hoe het gerecyclede materiaal verdeeld is over de verschillende producten.

Mass balancing kan op meerdere manieren, en de EU/NL-overheid schrijven op dit moment niet voor welke methode gehanteerd moet worden. Dit geeft pyrolyse-installaties de mogelijkheid om te kiezen aan welk product van het kraakproces ze het gerecycled aandeel van de input toekennen: aan bijvoorbeeld de brandstoffen of aan plasticprecursoren.

Een vereenvoudigd voorbeeld: *Een industriële kraker gebruikt twee soorten grondstof: 1 ton pyrolyse olie uit plastic afval en 9 ton fossiele nafta. Uit de kraker komen onder andere de volgende stromen: 3 ton ethyleen, 1 ton brandstof en 0,1 ton verliezen. Eén van de methodes van mass balancing (technical balance) stelt dan dat alles uit de kraker een gerecyclede content heeft van 10%, zowel het ethyleen, de brandstof als de verliezen. Een andere vorm van mass balancing (free allocation) laat toe om het aandeel gerecycled materiaal toe te kennen aan het ethyleen. Het aandeel gerecycled materiaal dat in de verliezen zit, mag je niet meerekenen. Je zou dus kunnen zeggen dat 33% van het ethyleen gerecycled is (de 0,99 ton pyrolyse olie gaat dan volledig naar het ethyleen). De andere producten (hier brandstof) hebben dan geen gerecycled content.*

Mass balancing in deze studie

Mass balancing heeft in deze studie geen gevolgen voor de hier gerapporteerde klimaatimpact berekeningen. Dat is omdat in deze studie we de klimaatimpacts van recycleprocessen uitrekenen, per kg gerecycled plastic. We gaan hier dus vanuit dat het plastic dat via pyrolyse is gerecycled, voor 100% van pyrolyse olie komt, en dus uit 100% afval, en niet is bijgemengd met nafta. Met andere woorden, als andere mass balancing zou worden toegepast, dan blijft de klimaatimpact per kg gerecycled plastic hetzelfde. In de praktijk wordt pyrolyse olie nog gemengd met virgin nafta waardoor het plasticproduct een mix is van chemisch recycleaat en virgin fossiel kunststof. De klimaatimpact is bijgevolg in praktijk ook een combinatie van de klimaatimpact van pyrolyse en die van fossiel plastic.

2.3 Databronnen voor klimaatimpact

Bij deze update van de studie uit 2023 hanteren we dezelfde databronnen voor klimaatimpacts: databanken zoals Ecoinvent 3.10, wetenschappelijke literatuur en rapporten van onderzoeksbureaus en brancheorganisaties. De focus ligt op Nederland en Europa.

De volgende verschillen gelden ten opzichte van de vorige studie:

- Een aantal databanken zijn geüpdatet, zoals Ecoinvent v3.10.1 (ten opzichte van v3.8 in de vorige studie), waarbij de gegevens van de fossiele keten geüpdatet zijn³. Hierdoor is de klimaatimpact van fossiele kunststoffen toegenomen ten opzichte van vorige studie.
- Voor het berekenen van de klimaatimpact op basis van procesdata in Ecoinvent is gebruik gemaakt van de IPCC GWP100-methode versie 1.03 (in plaats van v1.01 in vorige studie), met langetermijnemissies uitgesloten.
- Er is deze keer geen rondvraag gedaan bij NRK-leden voor berekende klimaat-impacts. Wel zijn er nieuwe LCA-studies van CE Delft van recyclers of producenten toegevoegd.
- Chemische recyclingmethoden zijn toegevoegd op basis van eerdere studies van CE Delft en literatuur (waar beschikbaar).
- Biobased primaire kunststof is toegevoegd (bio-PET/PET/PP en PLA). Het vertrekpunt voor de klimaatimpact van biobased kunststof is de studie van CE Delft 'sustainability of biobased plastics' (CE Delft, 2023c). In deze recente studie is een literatuurstudie gedaan naar de klimaatimpact van biobased plastics, in het bijzonder bio-PE, bio-PET-, bio-PP en PLA. In deze studie is niet gekeken naar de klimaatimpact van andere biobased kunststoffen. Voor zover bekend zijn de productie en opschaling hiervan nog in ontwikkeling, waardoor er nog beperkt informatie beschikbaar is qua milieu-impact (zoals PEF en PHA). In Tekstkader 2 lichten we toe hoe de berekening van de klimaatimpact van biobased kunststof verschilt van fossiel kunststof.

2.4 Plastic-naar-plastic-rendement

Het plastic-naar-plastic rendement (plastic-to-plastic yield) geeft weer in welke mate plastic uit een afvalstroom tijdens het recycleproces terug omgezet wordt in plastic. Dit geeft een beeld in welke mate verliezen van plastic optreden in de recycleketen. CE Delft heeft een gids opgesteld om deze te berekenen voor verschillende recycling-technologieën en met gegevens van elf bedrijven indicatieve standaardwaarden opgesteld voor een aantal (opkomende) recyclingtechnologieën. Deze studie (CE Delft, 2022) vormt de basis van de plastic-naar-plastic-rendementen in de huidige studie.

In deze definitie is als uitgangspunt genomen dat het gerecycled plastic primair fossiel kunststof kan vervangen. Daarbij hoeft het recyclelaat niet dezelfde kwaliteit te hebben als het oorspronkelijke kunststof, maar wel terug toegepast kunnen worden in een (laagwaardiger) kunststofproduct.

³ Ten tijde van de studie is Ecoinvent 3.11 uitgekomen. Op basis van de omschrijving van de update verwachten we geen grote verandering van de klimaatimpact van kunststoffen ten opzichte van versie 3.10 (Ecoinvent, 2025).

3 Klimaatimpact van recyclaat en biobased kunststof

3.1 Interpretatie van de klimaatimpact

Onzekerheid en bandbreedtes van de klimaatimpact

In dit hoofdstuk rapporteren we de klimaatimpacts van kunststoffen in bandbreedtes. In de bijlage is een overzicht van de individuele studies te vinden (Bijlage A). We hanteren bandbreedtes in plaats van gemiddelden om weer te geven dat er voor elke type polymeer en voor elke recycling- of primaire productietechniek variatie bestaat.

De oorsprong van die variatie verschilt. Hieronder vatten we kort samen wat de oorzaken zijn van deze variatie of onzekerheid:

- **Fossiel primair:** variatie wordt bepaald door de geografische, temporele, en technologische scope (Ecoinvent, 2025) en keuzes in LCA-methode.
- **Biobased primair:** Zie Tekstkader 1.
- **Mechanisch recycling:** De variatie in klimaatimpact is relatief klein in vergelijking met andere technieken. De belangrijkste variatie komt van het energieverbruik – vaak is dit gerelateerd aan het gehalte vervuiling en de gebruikte energiemix. Dit kan aanzienlijk verschillen tussen landen, en hangt ook af van of de recycler op locatie hernieuwbare elektriciteit opwekt (zon en wind).
Los van de klimaatimpact kan hier een kwaliteitsverschil ontstaan, wat weer afhankelijk is van de vervuiling van de plastic afvalstromen die worden gebruikt. Verpakkingsafvalstromen zijn vaak vervuiler, terwijl postindustriële afvalstromen en statiegeld PET-flessen vaak schonere stromen zijn. Echter wordt in LCA-studies meestal geen rekening gehouden met of de kwaliteit van het recyclaat hetzelfde is na het recyclingproces.
- **Oplossen:** Hier gaat het om ex-ante analyses omdat de techniek nog in ontwikkeling is. Hierdoor is de onderliggende procesdata nog onzeker, omdat deze bijvoorbeeld zijn afgeleid uit kleinschalige testinstallaties. Er is ook onzekerheid over welke afvalstromen als feedstock gebruikt kunnen worden. Net als bij mechanisch recycleren kan het verschil komen door variaties in de gebruikte energiemix,

Ook hier is de kwaliteit van het gerecyclede kunststof niet meegenomen in de klimaatimpact. Deze is afhankelijk van de afvalstromen.

- **Depolymerisatie:** Hier gaat het om ex- ante analyses omdat de techniek nog in ontwikkeling is. Er is ook onzekerheid over in welke afvalstromen als feedstock gebruikt kunnen worden. Net als bij mechanisch recyclen kan het verschil komen door variaties in de gebruikte energiemix,

Ook hier is de kwaliteit van het gerecyclede kunststof niet meegenomen in de klimaatimpact. Deze is afhankelijk van de afvalstromen.

- **Pyrolyse:** Hier gaat het om ex-ante analyses omdat de techniek nog in ontwikkeling is. Er is ook onzekerheid over in welke afvalstromen als feedstock gebruikt kunnen worden, en hoeveel sortering en wasstappen er moeten worden gedaan voor pyrolyse plaats kan vinden. Verder is het ook mogelijk dat er waterstof nodig is om de kwaliteit van de pyrolyse olie te verbeteren. Waterstof (uit de huidige fossiele bronnen) heeft een hoge milieu-impact en kan veel invloed hebben op de klimaatimpact. De energiemix is relatief minder belangrijk bij pyrolyse, omdat het proces wordt verwarmd voor verbranden van reststromen die ontstaan bij het proces (TNO et al., 2023).

Tekstkader 2 - Klimaatimpact van biobased kunststof

Bij de klimaatimpact van biobased kunststof is er een aantal aspecten die verschillen ten opzichte van fossiele (gerecyclede) kunststoffen en die invloed hebben op de klimaatimpact (CE Delft, 2023c):

1) De productie van biobased plastics uit gewassen of gewasresten gebruikt landbouwgrond. Het veranderen van natuurlijk land naar landbouwareaal kan leiden tot CO₂-emissies. Wanneer landoppervlak dat oorspronkelijk geen landbouwfunctie had, wordt ingezet voor de teelt van biomassa, wordt dit direct veranderd landgebruik genoemd (*direct land use change*, dLUC). Deze omzetting leidt tot CO₂-emissies uit de bodem en van verloren biomassa. Daarnaast kan het zijn dat landbouwgrond dat eerst voor teelt van voedsel- of voedergewassen werd gebruikt, nu wordt omgezet naar teelt voor biomassa om biobased plastics mee te maken. Vervolgens zijn er nieuwe gebieden nodig voor voedsel- of voedergewassen. Dit omzetten van land, indirect ten gevolge van de teelt van biomassa voor kunststof, wordt indirect veranderd landgebruik genoemd (*indirect land use change*, iLUC). LCA's van biobased primair kunststof verschillen in hoe ze deze CO₂-emissies in rekening brengen. Sommige studies brengen alleen CO₂-emissies ten gevolge van direct veranderd landgebruik in kaart, andere maken ook schattingen van de CO₂-emissies ten gevolge van indirect veranderd landgebruik. Door de verschillende methoden is de bandbreedte van klimaatimpact voor biobased kunststof groter dan voor andere typen kunststof.

2) Biobased kunststof bevat CO₂ uit de atmosfeer, niet uit aardolie. Dankzij fotosynthese nemen planten CO₂ op uit de atmosfeer die wordt vastgelegd in biomassa. In deze studie is deze opname en tijdelijke vastlegging van biogene CO₂ bij de teelt meegenomen in klimaatimpact van de biobased kunststoffen. Omdat CO₂ (tijdelijk) wordt vastgelegd, kan het voorkomen dat CO₂-waarden van biobased plastics negatief zijn voor kunststof halfproduct (cradle-to-gate).

Bij de eventuele verbranding van deze plastics komt deze biogene CO₂ weer vrij. (Net zoals er bij de verbranding van fossiele kunststoffen fossiel CO₂ vrijkomt). Meer informatie over biogene CO₂-emissies is te vinden in (CE Delft, 2025b).

3) Bij nieuwe biobased kunststoffen zijn de materiaaleigenschappen anders dan bij de traditionele fossiele kunststoffen. Afhankelijk van de technische vereisten van de toepassing, zal er meer of minder biobased plastic materiaal nodig zijn. Voor PLA zijn er studies over hoeveel PLA nodig is om bijvoorbeeld PP, PS, of PET te vervangen. Hier wordt vaak uitgegaan dat 1 kg PLA 1 kg PP, PS of PET kan vervangen. Voor andere nieuwe biobased is hierover minder bekend (CE Delft, 2023c).

Waarvoor kan de klimaatimpact (niet) gebruikt worden?

De bandbreedtes geven aan dat het direct vergelijken van de recycling/productie-technieken niet kan zonder rekening te houden met:

1. Het type afvalstroom (en dus de vervuilingsgraad van) wat verwerkt wordt.
2. De kwaliteit en toepasbaarheid van het product.
3. De methoden die gebruikt zijn om de klimaatimpact te berekenen.

De bandbreedtes kunnen niet gebruikt worden om te berekenen wat de klimaatimpact is van een product van een specifieke producent. Een producent van kunststofgranulaat kan dus niet op basis van deze klimaatimpacts een claim uiten over een product. Als een producent vermoedt dat een product beter uitkomt, kan men dat alleen aantonen door een LCA voor het recycle- of productieproces uit te voeren.

De gerapporteerde klimaatimpacts geven een indicatie van de verhoudingen van de klimaatimpact van verschillende recycling- of productietechnieken. Ze bieden ook een vertrekpunt voor eigen berekening of verkenning van scenario's.

3.2 ABS (acrylonitril-butadien-styreen)

ABS is een polymeer van de monomeren acrylonitril, styreen en butadien (Plastics Europe, 2023). De verhoudingen zijn gemiddeld 45-65% styreen, 15-20% acrylonitril en 10-25% butadien (in massa%). In Tabel 1 wordt de gerapporteerde klimaatimpact voor ABS weergegeven. Dit zijn de bandbreedtes van gevonden waarden. Oorzaken voor de spreiding op de klimaatimpact lichten we toe in Paragraaf 3.1. In de bijlage is een overzicht van de individuele studies te vinden (Bijlage A). Deze studies rapporteerden de plastic-to-plastic yield niet. Momenteel zijn er bij CE Delft geen LCA's bekend over volledig chemisch gerecycled ABS of (volledig) biobased ABS.

Tabel 1 – Klimaatimpact van ABS

Type ABS	Regio	Min-Max klimaatimpact (kg CO ₂ -eq./kg kunststof)	Plastic-to-plastic yield
Mechanisch gerecycled rABS	VK, FR, Oostenrijk	0,4-0,6	Niet bekend
Fossiel ABS	EU	4,5	N.v.t.

De monomeren kunnen wél apart chemisch gerecycled worden of van biomassa geproduceerd worden. We vermelden hier enkele trends op dit gebied, maar dit is niet volledig.

Het oplossen van ABS uit afval van elektrische en elektronische apparaten is in ontwikkeling (plast2bcleaned, 2024). Hetzelfde geldt voor ABS uit auto's (European Commission, 2025).

3.3 PE (polyethyleen)

In Tabel 2 wordt de gerapporteerde klimaatimpact voor polyethyleen weergegeven en plastic-to-plastic yields voor recycling van polyethyleen. Dit zijn de bandbreedtes van gevonden waarden. In de bijlage is een overzicht van de individuele studies te vinden (Bijlage A). Oorzaken voor de spreiding op de klimaatimpact lichten we toe in Paragraaf 3.1. Additioneel voor PE spelen ook de volgende punten nog mee:

- De spreiding op bio-PE hangt af enerzijds van de methodiek (Tekstkader 2) en het gebruikte type biomassa/de productieroute.
- Plastic to plastic yields zijn volgens (CE Delft, 2022).
- Oplossen is gebaseerd op een ex-ante LCA van CE Delft (CE Delft, 2024).
- Pyrolyse is gemodelleerd door CE Delft (2023) op basis van een studie van BASF (2020) uitgaande van een feedstock van puur plastic afval. Vermeden verbranding van plastic afval is niet meegenomen hier.

Tabel 2 – Klimaatimpact van polyethyleen

Type PE	Regio	Min-Max klimaatimpact (kg CO ₂ -eq./kg kunststof)	Plastic-to-plastic yield
Mechanisch rHDPE	VK, EU, NL, PT	0,4-0,7	94-100%
Mechanisch r(L)LDPE	NL, BE	0,3-1,5	78-97%
Chemisch rPE (oplossen)	NL	0,8	98%
Chemisch rPE (pyrolyse)	NL	3,3	49-50%
Bio-PE	Wereldwijd	-3,1 tot 3,3	N.v.t.
Fossiel PE (HDPE, (L)LDPE)	EU	2,4	N.v.t.

3.4 PET (polyethyleentereftalaat)

In Tabel 3 wordt de klimaatimpact voor PET weergegeven en de plastic-to-plastic yield van recycling van PET. Dit zijn de bandbreedtes van gevonden waarden. In de bijlage is een overzicht van de individuele studies te vinden (Bijlage A). Oorzaken voor de spreiding op de klimaatimpact lichten we toe in Paragraaf 3.1. Additioneel voor PET spelen ook de volgende punten nog mee:

- plastic-to-plastic yields zijn volgens (CE Delft, 2022);
- depolymerisatie van PET-afval kan ook stromen verwerken die vooralsnog minder geschikt zijn voor mechanische recycling, zoals PET-trays (CE Delft, conference, 2023);
- de spreiding op bio-PET hangt af enerzijds van de methodiek en het gebruikte type biomassa/de productieroute (Tekstkader 2).

Tabel 3 – Klimaatimpact van PET

Type PET	Regio	Min-Max klimaatimpact (kg CO ₂ -eq./kg kunststof)	Plastic-naar-plastic-rendement
Mechanisch rPET	NL, AU	0,5-0,6	95-100%
Chemisch rPET (depolymerisatie)	NL	0,6-1,0	97%
Bio-PET	Wereldwijd	2,1-3,0	N.v.t.
Fossiel PET	EU	3,3-3,5	N.v.t.

3.5 PP (polypropyleen)

In Tabel 4 wordt de klimaatimpact voor PP weergegeven en de plastic-to-plastic yield van de recycling van PP. Dit zijn de bandbreedtes van gevonden waarden. In de bijlage is een overzicht van de individuele studies te vinden (Bijlage A). Oorzaken voor de spreiding op de klimaatimpact lichten we toe in Paragraaf 3.1. Additioneel voor PP spelen ook de volgende punten nog mee:

- De spreiding op bio-PP hangt af enerzijds van de methodiek (Tekstkader 2) en het gebruikte type biomassa/de productieroute.
- Plastic to plastic yields zijn volgens (CE Delft, 2022).
- Oplossen is gebaseerd op een ex-ante LCA van CE Delft (CE Delft, 2024).
- Pyrolyse is gemodelleerd door CE Delft (2023) op basis van een studie van BASF (2020). Uitgaande van een feedstock van puur plastic afval. Vermeden verbranding van plastic afval is niet meegenomen hier.

De klimaatimpact van het oplossen van PP varieert van -0,2 tot 1,3 kg CO₂-eq./kg rPP. Dit komt doordat hierbij twee scenario's van eenzelfde producent zijn berekend:

1. Het oplossen van laminaat verpakkingsafval van PP/PET (70% PP en 28% PET), waarbij PET wordt verbrand (1,3 kg CO₂-eq./kg rPP).
2. Het oplossen van dezelfde stroom, waarbij PET wordt gedepolymeriseerd, waardoor dit teruggewonnen kan worden. Doordat hier een credit voor vermeden productie van fossiel PET wordt toegerekend is de klimaatimpact negatief: -0,2 kg CO₂-eq./kg rPP.

Tabel 4 – Klimaatimpact van PP

Type PP	Regio	Min-Max klimaatimpact (kg CO ₂ -eq./kg kunststof)	Plastic-naar-plastic-rendement
Mechanisch rPP	FR, VK, NL, PT	0,3 tot 0,7	94-100%
Chemisch rPP (oplossen)	NL	-0,2 tot 1,3	98%
Chemisch rPP (pyrolyse)	NL	3,3	49-50%
Bio-PP	Wereldwijd	-2,7 tot 0,4	n.v.t.
Fossiel PP	EU	2,4	n.v.t.

3.6 PS (polystyreen)

In Tabel 5 wordt de klimaatimpact voor polystyreen weergegeven en de plastic-to-plastic yield van recycling van PS. Dit zijn de bandbreedtes van gevonden waarden. In de bijlage is een overzicht van de individuele studies te vinden (Bijlage A). Oorzaken voor de spreiding op de klimaatimpact lichten we toe in Paragraaf 3.1. Additioneel voor PS spelen ook de volgende punten nog mee:

- Het oplossen van EPS gebeurt op pilot schaal en hier zijn LCA-analyses van gedaan. Het oplossen van EPS uit isolatiecomposieten (10% EPS) levert een klimaatwinst op van 47% tegenover verbranding met energierugwinning (BASF, 2019). Op basis van de beperkte publieke gegevens is het niet mogelijk dit om te rekenen naar klimaatimpact van geproduceerd rPS. De plastic-to-plastic yield van EPS oplossen is 100% (CE Delft, 2022).

Tabel 5 – Klimaatimpact van PS

Type PS	Regio	Min-Max klimaatimpact (kg CO ₂ -eq./kg kunststof)	Plastic-naar-plastic-rendement
Mechanisch rPS	NL, VK, FR	0,2-0,6	Niet beschikbaar
Fossiel PS	EU	3,5-3,8 ⁴	N.v.t.

⁴ Dit is uitgezonderd XPS geblazen met HFC-134a of HFC-152a. Deze hebben een klimaatimpact van respectievelijk 26,3 en 6,5 kg CO₂-eq./kg.

3.7 PVC (polyvinylchloride)

In Tabel 6 wordt de klimaatimpact voor PVC weergegeven. Dit zijn de bandbreedtes van gevonden waarden. In de bijlage is een overzicht van de individuele studies te vinden (Bijlage A). Oorzaken voor de spreiding op de klimaatimpact lichten we toe in Paragraaf 3.1.

Tabel 6 – Klimaatimpact van PVC

Type PVC	Regio	Min-Max klimaatimpact (kg CO ₂ -eq./kg kunststof)	Plastic-naar-plastic-rendement
Mechanisch rPVC	NL, VK	0,2-2,0	89-98%
Fossiel PVC	EU	2,2-3,0	N.v.t.

3.8 Overige biobased kunststoffen

Tabel 7 geeft de klimaatimpact van biobased kunststoffen die nog niet eerder aan bod zijn gekomen. De spreiding op de klimaatimpact van PLA hangt af enerzijds van de methodiek (Tekstkader 2) en het gebruikte type biomassa/de productieroute.

Tabel 7 – Klimaatimpact van overige biobased kunststoffen

Type	Regio	Min-Max klimaatimpact (kg CO ₂ -eq./kg kunststof)	Plastic-naar-plastic-rendement
PLA	Wereldwijd	0,5-2,3	N.v.t.

4 Conclusies

Deze literatuurstudie rapporteert de klimaatimpact voor zeven kunststoffen (ABS, PE, PET, PP, PS, PVC, overige biobased kunststoffen) uit verschillende bronnen (fossiel, gerecycled, biobased). Voor gerecyclede kunststoffen rapporteren we ook het plastic-naar-plastic-rendement. De gebruikte studies hiervoor zijn voornamelijk eerdere studies van CE Delft. Deze studie geeft daarom geen volledig beeld van alle literatuur over de klimaatimpact of rendementen van deze polymeren en productie- of recyclingtechnologieën.

De klimaatimpact en rendementen voor de polymeren zijn weergegeven als bandbreedtes. De gerapporteerde klimaatimpact geeft een indicatie van de verhoudingen van de klimaatimpact van verschillende recycling- of productietechnieken, en bieden een vertrekpunt voor eigen berekening of verkenning van scenario's. De bandbreedtes kunnen niet gebruikt worden om te berekenen wat de klimaatimpact is van een product van een specifieke producent. Een producent van kunststofgranulaat kan dus niet op basis van deze klimaatimpact een claim uiten over een product.

De variatie aan klimaatimpact en eventueel ook rendement *binnen* een bepaalde productie- of recyclingtechnologie wordt veroorzaakt door het type feedstock (welke biomassa of afvalstroom en vervuilingsgraad), het proces (welke elektriciteitsmix, energiebron en co-producten) en/of de methode waarmee de klimaatimpact is berekend. Daarnaast zijn er belangrijke aspecten die niet naar voren komen in de klimaatimpact, maar die wel een rol spelen bij duurzaamheid, zoals de functionele eigenschappen van de kunststof (bijvoorbeeld bioafbreekbaarheid) en de kwaliteit van het recyclaat. Ook is er onzekerheid doordat een aantal technieken nog in ontwikkeling zijn, en inzamelroutes nog niet voorhanden zijn. Inzameling en sortering wordt nu vaak bij chemisch recycling aangenomen gelijk te zijn aan mechanisch recycling:

1. Kunststoffen gemaakt van recyclaat hebben een aanzienlijk lagere klimaatimpact dan fossiel kunststof. Een uitzondering hierop is chemische recycling door pyrolyse bij PE en PP. Dit heeft een hogere klimaatimpact dan fossiel kunststof onder andere doordat in het pyrolyseproces een deel van de feedstock (het plastic afval) verbrand wordt.
2. Mechanische recycling en korte keten chemische recycling (oplossen en depolymerisatie) hebben de laagste klimaatimpact en hoogste plastic-naar-plastic-rendementen. Deze technieken zijn of worden ontwikkeld voor de verwerking van verschillende afvalstromen en ze produceren een recyclaat met verschillende eigenschappen. Mechanische en korte keten chemische recycling vullen elkaar

dus goed aan. Studies van de verwerking van specifieke afvalstromen kunnen inzicht geven in de meest geschikte recyclingoptie.

3. Biobased plastics hebben vaak een lagere klimaatimpact dan primair fossiel, maar dit is niet altijd het geval. De lagere klimaatimpact komt doordat bij het groeien van de biomassa (bijvoorbeeld suikerriet) CO₂ wordt opgenomen uit de atmosfeer. Biobased kunststof omvat een scala aan biomassasoorten en productietechnieken, en de methodes om klimaatimpact te berekenen verschillen. Om van een type biobased kunststof de klimaatimpact te berekenen, moet de specifieke keten worden onderzocht. Hierbij zijn ook andere milieueffecten belangrijk zoals land- en watergebruik, gevolgen van gewasbescherming en gebruik van meststoffen.

Geconcludeerd kan worden dat kunststof duurzamer geproduceerd kan worden door aanpassingen waarin de overheid een belangrijke rol speelt. Deze aanpassingen zijn

1. Minder fossiel kunststofgebruik, doordat producenten meer biobased en recyclaat toepassen en de overheid minder consumptie en meer hergebruik en reparatie stimuleert.
2. het verder ontwikkelen van biobased kunststof, rekening houdend met mogelijke veranderingen in landgebruik die dit teweegbrengt en andere milieueffecten (CE Delft, 2023c, 2025a)
3. Het meer toepassen en verder ontwikkelen van mechanische recycling en korte keten chemische recycling, ook voor nieuwe biobased kunststoffen. Dit vergt het verder ontwikkelen van infrastructuur voor inzameling en sortering, en het ontwikkelen en afstemmen van recyclingprocessen op afvalstromen. Zo kan de hoeveelheid kunststofafval die niet efficiënt gerecycled kan worden geminimaliseerd worden, zodat minder energetisch efficiënte recycling zoals pyrolyse op termijn overbodig is (TNO et al., 2023).
4. Bij het ontwerp van producten rekening houden met de stappen na het gebruik: inzameling, sortering, verwijdering van vervuiling en recyclingproces. Hierdoor kan recycling beter ingezet worden zodat de klimaatimpact geminimaliseerd wordt.

Een van de voorwaarden voor deze aanpassingen is dat er duidelijke wetgeving is over hoe het aandeel biobased en/of (chemisch) gerecycled kunststof in producten wordt berekend en gerapporteerd. Een verdere uitwerking van deze beleidsadviezen kan de lezer vinden in onder andere:

- [Monitoring chemical recycling. How to include chemical recycling in plastic recycling monitoring? - CE Delft](#)
- [Impacts of allocation rules on chemical recycling. Consequences on the environment and maximum circularity of plastics. - CE Delft - EN](#)
- [Sustainability of biobased plastics. Analysis focusing on CO2 for policies - CE Delft - EN](#)

Literatuur

- Anuar Sharuddin, S.D., Abnisa, F., Wan Daud, W.M.A., & Aroua, M.K. (2016). A review on pyrolysis of plastic wastes. *Energy Conversion and Management*, 2016, 308-326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>
- Axion Polymers. (2017). *Carbon footprint review shows 'large' savings for axion's recycled polymers*. Axion Polymers. [https://axiongroup.co.uk/news/carbon-footprint-review-shows-large-savings-axions-recycled-polymers/#:~:text=Recycled%20polymers%20have%20significantly%20lower,%25%20for%20recycled%20\(PP\).](https://axiongroup.co.uk/news/carbon-footprint-review-shows-large-savings-axions-recycled-polymers/#:~:text=Recycled%20polymers%20have%20significantly%20lower,%25%20for%20recycled%20(PP).)
- Bage plastics GmbH. (2021). *Sustainable, recycled granules by bage plastics with excellent carbon footprint*. <https://bage-plastics.com/sustainable-recycled-granules-by-bage-plastics-with-excellent-carbon-footprint/>
- Bleu Safran. (2020). *Lci's for production of recycled plastics (pp, ps, ABS) from weee plastics managed in france and regenerated in europe*.
- Broeren, M. (2023). Environmental footprint of pet depolymerisation. Circular Plastics Conference,
- CE Delft. (2016). *Handleiding duurzaam inkopen pvc-buizen*.
- CE Delft. (2018). *Samenvatting lca ioniq - screening carbon footprintanalyse*.
- CE Delft. (2021). *Klimaatimpact van afvalverwerkroutes in nederland: Co2-kentallen voor recyclen en verbranden voor 13 afvalstromen*.
- CE Delft. (2022). *Monitoring chemical recycling. How to include chemical recycling in plastic recycling monitoring?*
- CE Delft. (2023a). *Co2-winst met kunststofrecycalaat. Een overzicht van co2-kentallen van mechanisch kunststofrecycalaat voor nrk recycling*.
- CE Delft. (2023b). *Impacts of allocation rules on chemical recycling: Consequences on the environment and maximum circularity of plastics*.
- CE Delft. (2023c). *Sustainability of biobased plastics - analysis focusing on co2 for policies*.
- CE Delft. (2024). *Obbotec-spex carbon footprint assessment*.
- CE Delft. (2025a). *Balanced policy support for biobased and recycled plastic*.
- CE Delft. (2025b). *Biogene co2-emissies*.
- CE Delft. (2025c). *Co2-besparing dankzij de vries recycling*.
- Clark, R.A., & Shaver, M.P. (2024). Depolymerization within a circular plastics system. *Chemical reviews*, 2024(5), 2617-2650. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00739>
- Crippa, M., De Wilde, B., Koopmans, R., Leyssens, J., Muncke, J., Ritschkoff, A.-C., Van Doorselaer, K., Velis, C., & Wagner, M. (2019). *A circular economy for plastics - insights from research and innovation to inform policy and funding decisions*.
- Demets, R., Van Kets, K., Huysveld, S., Dewulf, J., De Meester, S., & Ragaert, K. (2021). Addressing the complex challenge of understanding and quantifying substitutability for recycled plastics. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 105826. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105826>
- Ecochain Technologies. (2020). *Post consumer regenerate (pcr) - levenscyclus analyse (lca)*.
- Ecoinvent. (2024). *Ecoinvent v3.10*. Ecoinvent. <https://support.ecoinvent.org/ecoinvent-version-3.10>
- Ecoinvent. (2025). *Ecoinvent v3.11*. Ecoinvent. <https://ecoinvent.org/ecoinvent-v3-11/>
- European Commission. (2025). *Paving the way for an ABS recycling revolution in the EU*. <https://cordis.europa.eu/project/id/101058636>

- Hedgehog Company. (2022a). *Environmental product declaration mopyrylene granulate - morssinkhof plastics b.V.*
- Hedgehog Company. (2022b). *Environmental product declaration mothylene granulate - morssinkhof plastics b.V.*
- IfBB. (2024). *Biopolymers facts and statistics 2024.*
- MBA Polymers UK Ltd. (2022). *Mba polymers uk life cycle assessment and carbon footprint.* MBA Polymers UK Ltd., [https://www.mbapolymers.co.uk/gb/sustainability/mba-polymers-uk-limited-life-cycle-assessment-\(lca/](https://www.mbapolymers.co.uk/gb/sustainability/mba-polymers-uk-limited-life-cycle-assessment-(lca/)
- Molenveld, K., & Bos, H. (2020). *Biobased plastics 2020.*
- Packaging Europe Ltd. (2017). *Study confirms the excellent carbon footprint of recycled pet.* Packaging Europe Ltd., <https://packagingeurope.com/study-confirms-the-excellent-carbon-footprint-of-recycled-pet/1923.article>
- plast2bcleaned. (2024). *Plastics to be cleaned by sorting and separation of plastics and subsequent recycling of polymers, bromine flame retardants and antimony trioxide.*
- Plastics Europe. (2023). *Eco-profile of styrene acrylonitrile (san) and acrylonitrile butadiene styrene (ABS).*
- RCDPLAS. (2025). *Rcdplas plastic recycling.* <https://www.rcdplas.com/>
- Stichnothe, H., & Azapagic, A. (2013). Life cycle assessment of recycling pvc window frames. *Resources, Conservation and Recycling*, 71, 40-47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.005>
- TNO, CE Delft, Power2X, & &Flux. (2023). *Toekomstbestendige koolstofstromen in de zuid-hollandse industrie.*
- Trinseo. (2025). *ABS solution with recycled content for automotive interior and exterior applications.* <https://www.trinseo.com/solutions/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs/magnum-eco-abs>

A Bronnen

A.1 ABS (acrylonitril-butadiëen-styreen)

Tabel 8 - Literatuurgegevens van de klimaatimpact van ABS uit Tabel 1

Referentie	Jaar	Type	Bron plastic afval of biomassa	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Plastic-to-plastic yield	Land
(Bage plastics GmbH, 2021)	2021	Mechanisch	Post consumer	0,6	Niet beschikbaar	Oostenrijk
(Bleu Safran, 2020)	2020	Mechanisch	Post consumer (WEEE)	0,6	Niet beschikbaar	Frankrijk
(MBA Polymers UK Ltd, 2022)	2021	Mechanisch	Automotive shredder residues	0,4	Niet beschikbaar	Verenigd Koninkrijk
(Axion Polymers, 2017)	2017	Mechanisch	Post consumer	0,4	Niet beschikbaar	Verenigd Koninkrijk
(Trinseo, 2025)	2025	Chemisch (styreen)	Post consumer from household waste.	2,4	Niet beschikbaar	Verenigde Staten
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel	N.v.t.	4,5	N.v.t.	EU

A.2 PE (polyethyleen)

Tabel 9 – Literatuurgegevens van de klimaatimpact van polyethyleen uit Tabel 2

Referentie	Jaar	Type	Bron plastic afval of biomassa	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Plastic-to-plastic yield	Land
HDPE						
(MBA Polymers UK Ltd, 2022)	2021	Mechanisch	Automotive shredder residues	0,4	Niet beschikbaar	Verenigd Koninkrijk
(CE Delft, 2021)	2021	Mechanisch	Bronscheiding	0,6	Niet beschikbaar	Nederland
(Hedgehog Company, 2022b)	2022	Mechanisch	Post consumer	0,6	Niet beschikbaar	Nederland
(RCDPLAS, 2025)	2025	Mechanisch	Niet bekend	0,5*	Niet beschikbaar	Portugal
(Ecoinvent, 2024)	2024	Mechanisch	N.v.t.	0,7	95%	EU
(L)LDPE						
(Ecochain Technologies, 2020)	2020	Mechanisch	Folies	0,3	Niet beschikbaar	België
(CE Delft, 2021)	2021	Mechanisch	Bronscheiding	1,5	Niet beschikbaar	Nederland
PE (HDPE en (L)LDPE)						
(CE Delft, 2024)	2024	Oplossen	Mixed post-consumer waste	0,8	98%	Nederland
(TNO et al., 2023)	2023	Pyrolyse	Niet gespecificeerd	3,3	49%	Nederland
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel	N.v.t.	2,4	N.v.t.	EU
CE Delft, 2023b)	2023	Biobased	Suikerriet	-3,1	N.v.t.	Zie (CE Delft, 2023c)** voor achterliggende studies en exacte scope van elk.
			Suikerriet	-0,7		
			Suikerriet	-0,5		
			Suikerriet	0,7		
			Suikerriet	3,3		
			Molasses	-0,9		
			Suikerbiet	-0,8		
			Tarwe	-0,9		

* Voor HDPE, LDPE, en PP. Berekend op basis van vermelde 80% reductie in klimaatimpact ten opzichte van fossiel PP/PE.

** In deze literatuurstudie zijn alleen studies van de klimaatimpact van biobased plastic meegenomen als de klimaatimpact weergegeven was voor de verschillende stappen in de levenscyclus van het biobased plastic. Deze studie beoogde dus niet om een compleet beeld te geven van de klimaatimpact van biobased plastics, maar wel een verklaring van waar de spreiding op de klimaatimpact uit verschillende studies vandaan komt.

A.3 PET (polyethyleen tereftalaat)

Tabel 10 - Literatuurgegevens van de klimaatimpact van polyethyleen tereftalaat uit Tabel 3

Referentie	Jaar	Type	Bron plastic afval of biomassa	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Plastic-to-plastic yield	Land
(Packaging Europe Ltd., 2017)	2017	Mechanisch	PET-flessen	0,5	Niet beschikbaar	Oostenrijk
(CE Delft, 2021)	2021	Mechanisch	Bronscheiding	0,5	Niet beschikbaar	Nederland
(CE Delft, 2021)	2021	Mechanisch	Statiegeld	0,6	Niet beschikbaar	Nederland
(CE Delft, 2018)	2018	Depolymerisatie	PET-trays (o.a.)	1,0	Niet beschikbaar	Nederland
(Broeren, 2023)	2023	Depolymerisatie	PET-trays (o.a.)	0,6	Niet beschikbaar	Nederland
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (amorf)	N.v.t.	3,5	N.v.t.	EU
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (bottle grade)	N.v.t.	3,3	N.v.t.	EU
CE Delft, 2023b)*	2023	Biobased	Suikerriet	2,1	N.v.t.	Zie (CE Delft, 2023c)** voor achterliggende studies en exacte scope van elk.
			Suikerriet	2,2		
			Suikerriet	2,5		
			Suikerriet	3,0		
			Gewasmix	3,0		
			Tarwe stro	2,2		

* In deze literatuurstudie zijn alleen studies van de klimaatimpact van biobased plastic meegenomen als de klimaatimpact weergegeven was voor de verschillende stappen in de levenscyclus van het biobased plastic. Deze studie beoogde dus niet om een compleet beeld te geven van de klimaatimpact van biobased plastics, maar wel een verklaring van waar de spreiding op de klimaatimpact uit verschillende studies vandaan komt.



A.4 PP (polypropyleen)

Tabel 11 - Literatuurgegevens van de klimaatimpact van polypropyleen uit Tabel 4

Referentie	Jaar	Type	Bron plastic afval of biomassa	kg CO ₂ -eq./kg kunststof	Plastic-to-plastic yield	Land
(Bleu Safran, 2020)	2020	Mechanisch	Post consumer (WEEE)	0,4	Niet beschikbaar	FR
(MBA Polymers UK Ltd, 2022)	2021	Mechanisch	Automotive shredder residues	0,3	Niet beschikbaar	VK
(CE Delft, 2021)	2021	Mechanisch	Bronscheiding	0,7	Niet beschikbaar	Nederland
(Hedgehog Company, 2022a)	2022	Mechanisch	Post consumer	0,6	Niet beschikbaar	Nederland
(RCDPLAS, 2025)	2025	Mechanisch	Niet bekend	0,5*	Niet beschikbaar	Portugal
(CE Delft, 2024)	2024	Oplossen	Laminaat verpakkingen (70% PP, 28% PET, 2%aluminium)	-0,2 of 1,3**	98%	Nederland
(TNO et al., 2023)	2023	Pyrolyse	Niet gespecificeerd	3,3	49%	Nederland
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel	N.v.t.	2,4	N.v.t.	EU
CE Delft, 2023b)***	2023	Biobased	Gebruikte frituurolie (UCO)	-2,5	N.v.t.	Zie (CE Delft, 2023c)*** voor achterliggende studies en exacte scope van elk.
			Gebruikte frituurolie (UCO)	-2,3		
			Mix van olie en vet	-2,7		
			Suikerriet	0,4		
			Molasse	0,3		

* Voor HPDE, LDPE, en PP. Berekend op basis van vermelde 80% reductie in klimaatimpact ten opzichte van fossiel PP/PE.

** De klimaatimpact is hier berekend op twee manieren: 1) als wordt uitgegaan dat het PET wordt verbrand, is de klimaatimpact van het gerecycled PP 1,3 kg CO₂-eq./kg PP. 2) Als wordt verondersteld dat het PET wordt gedepolymeriseerd en gerecycled tot PET, wat de productie van fossiel PET vermijdt, dan is de klimaatimpact van het gerecycled PP -0,2 kg CO₂-eq./kg PP.

*** In deze literatuurstudie zijn alleen studies van de klimaatimpact van biobased plastic meegenomen als de klimaatimpact weergegeven was voor de verschillende stappen in de levenscyclus van het biobased plastic. Deze studie beoogde dus niet om een compleet beeld te geven van de klimaatimpact van biobased plastics, maar wel een verklaring van waar de spreiding op de klimaatimpact uit verschillende studies vandaan komt.

A.5 PS (polystyreen)

Tabel 12 - Literatuurgegevens van de klimaatimpact van polystyreen uit Tabel 5

Referentie	Jaar	Type	Bron plastic afval of biomassa	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Plastic-to-plastic yield	Land
(CE Delft, 2025c)	2025	Mechanisch	Witgoed en visgoed EPS	0,2-0,4*	Niet publiek	Nederland
(MBA Polymers UK Ltd, 2022)	2021	Mechanisch	Automotive shredder residues	0,6	Niet beschikbaar	Verenigd Koninkrijk
(Bleu Safran, 2020)	2020	Mechanisch	Post consumer (WEEE)	0,6	Niet beschikbaar	Frankrijk
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (EPS)	N.v.t.	3,5	N.v.t.	EU
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (GPPS)	N.v.t.	3,7	N.v.t.	EU
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (HIPS)	N.v.t.	3,6	N.v.t.	EU
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (XPS, CO ₂ -geblazen)	N.v.t.	3,8	N.v.t.	EU
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (XPS, HFC-134a geblazen)	N.v.t.	26,3	N.v.t.	EU
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (XPS, HFC-152a geblazen)	N.v.t.	6,5	N.v.t.	EU

* De bandbreedte in klimaatimpact komt door variatie in de locatie waar het EPS-afval vandaan komt (Nederland – wereldwijd).

A.6 PVC (polyvinylchloride)

Tabel 13 - Literatuurgegevens van de klimaatimpact van polyvinylchloride uit Tabel 6

Referentie	Jaar	Type	Bron plastic afval of biomassa	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Plastic-to-plastic yield	Land
(CE Delft, 2016)	2016	Mechanisch	PVC buizen	2,0*	Niet beschikbaar	Nederland
(Stichnothe & Azapagic, 2013)	2013	Mechanisch	Raamkozijnen	0,2	89-98%	Verenigd Koninkrijk
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (bulk polymerisatie)	N.v.t.	3,0	N.v.t.	EU
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (emulsiepolym erisatie)	N.v.t.	2,6	N.v.t.	EU
(Ecoinvent, 2024)	2024	Fossiel (suspensiepoly merisatie)	N.v.t.	2,2	N.v.t.	EU

* Dit is voor een PVC-buiseindproduct met 20% gerecycled aandeel. Hier is het berekend als 100% gerecycled PVC.

A.7 Overige biobased kunststoffen

Tabel 14 - Literatuurgegevens van de klimaatimpact van overige biobased kunststoffen uit Tabel 7

Referentie	Jaar	Type	Bron plastic afval of biomassa	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Plastic-to-plastic yield	Land
CE Delft, 2023b)*	2023	Biobased	Maïs	2,3	N.v.t.	Zie (CE Delft, 2023c)* voor achterliggende studies en exacte scope van elk.
			Maïs	0,6		
			Maïs en suikerriet	1,2		
			Suikerriet	0,5		

* In deze literatuurstudie zijn alleen studies van de klimaatimpact van biobased plastic meegenomen als de klimaatimpact weergegeven was voor de verschillende stappen in de levenscyclus van het biobased plastic. Deze studie beoogde dus niet om een compleet beeld te geven van de klimaatimpact van biobased plastics, maar wel een verklaring van waar de spreiding op de klimaatimpact uit verschillende studies vandaan komt.