



CO₂-winst met kunststofrecycklaat

Een overzicht van CO₂-kentallen van mechanisch kunststofrecycklaat voor NRK Recycling



Committed to the Environment

CO₂-winst met kunststofrecyclaat

Een overzicht van CO₂-kentallen van mechanisch kunststofrecyclaat voor NRK Recycling

Dit rapport is geschreven door:
Geert Bergsma en Nicole Imholz

Delft, CE Delft, november 2022

Publicatienummer: 22.220327.152

Kunststoffen / virgin / recycling / kunststofketen / CO₂-kentallen / klimaatvoordeel

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 [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 meer dan 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Summary	3
	Samenvatting	5
1	Inleiding	8
	1.1 Aanleiding en doel van deze studie	8
	1.2 Achtergrond en methodiek	8
2	CO ₂ -kentallen recyclaat en virgin	11
	2.1 PET (polyethyleentereftalaat)	11
	2.2 PP (polypropyleen)	12
	2.3 HDPE (<i>high density</i> polyethyleen)	12
	2.4 (L)LDPE (<i>linear low density</i> polyethyleen) (folies)	13
	2.5 PS (polystyreen)	14
	2.6 PVC (polyvinylchloride)	15
	2.7 ABS (acrylonitril-butadieen-styreen)	16
3	Interpretatie en gebruik CO ₂ -kentallen	18
	3.1 Vergelijking CO ₂ -kentallen virgin en gerecycled kunststof	18
	3.2 Voorbeelden van het gebruik van CO ₂ -kentallen	19
	3.3 Hoe dicht ligt de CO ₂ -score van mijn product bij deze CO ₂ -kentallen?	22
	3.4 Hoe belangrijk zijn energieverbruik en energiebron voor de CO ₂ -score?	23
4	Literatuur	25
A	Bijlage	27
	A.1 Kunststof afval Nederland	27
	A.2 Vraag naar kunststoftypes in Europa	27
	A.3 PET-data	28
	A.4 PP-data	28
	A.5 PE-data	29
	A.6 PS-data	30
	A.7 PVC-data	31
	A.8 ABS-data	31
	A.9 Verbranding kunststoffen in een Nederlandse AVI	32



Summary

The plastics and rubber industry wants to become more sustainable. Recycling plays an important role in this by reducing the climate impact (or emissions in CO₂-eq.) of its products. NRK Recycling asked CE Delft to substantiate the CO₂ gains through the use of recyclate.

In order to achieve specific CO₂ targets, the climate benefit of plastic recyclate must first be identified. The key question in this study is: ‘What is the climate impact (in CO₂ score) of recycled plastics relative to new fossil (‘virgin’) plastics production?’

In the first place, recycled plastic granulate has a significantly lower climate impact than plastic granulate obtained from virgin production. After all, virgin production requires fossil resources that are not required when recycling plastics. Plastic recycling also provides a second significant climate benefit in terms of the end-of-life phase. Although burning plastics in waste incineration plants provides energy and heat, it still emits net CO₂, which is avoided by recycling.

For the purposes of this overview of the CO₂ numbers applicable to recyclate versus virgin production, we include only the former benefit. Depending on the type of recyclate, the climate gain is 0.8 to 2.6 kg CO₂ equivalent per kg of recyclate granulate produced. From a societal perspective, a second climate benefit is achieved by recycling the plastics after use instead of incinerating them. The total climate gain over the entire life cycle is then 2.6 to 4.6 kg CO₂ equivalent per kg of recyclate (Table 1).

This report also indicates the environmental benefit of partial use of recyclate. A formula is given for this purpose. Using the formula and this overview of CO₂ numbers, producers and consumers of plastic granulate can calculate for themselves the climate impact of products and how it changes with a higher content of recyclate.

Table 1 - Average CO₂ numbers for recycled and fossil plastics in The Netherlands, in kg CO₂-eq. per kg plastic

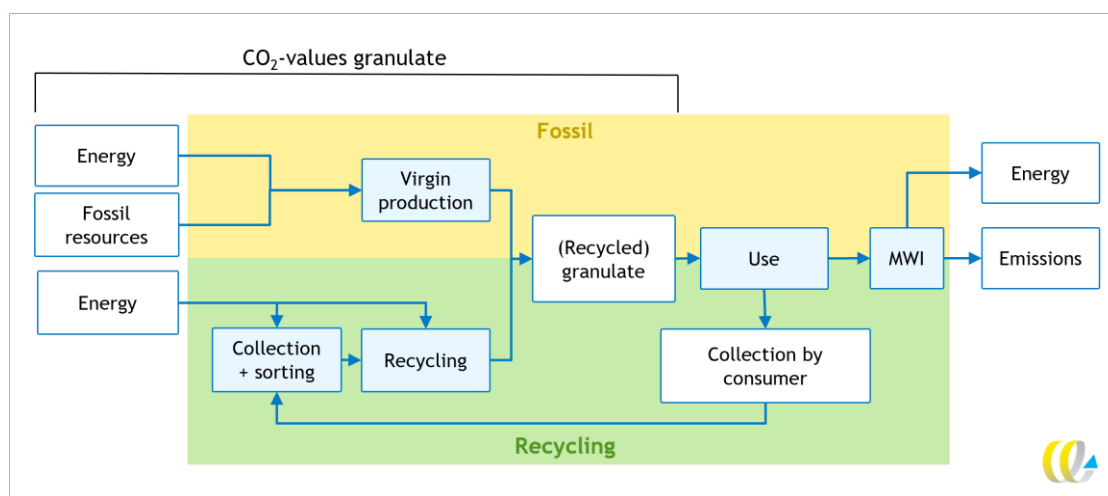
Plastic	CO ₂ value recycled	CO ₂ value Fossil	Climate advantage** from avoiding fossil (for producer)	Climate advantage from avoiding fossil and incineration (for society)
PET	0.5	2.4	-1.9	-3.3
PP	0.7	1.7	-1.0	-2.6
HDPE	0.7	1.8	-1.1	-3.0
LDPE	1.1*	2.0	-0.8*	-2.7*
LLDPE		1.9		
PS	0.6	2.9	-2.3	-4.4
PVC	0.2	2.6	-2.4	-3.9
ABS	0.5	3.1	-2.6	-4.6

* In our data LDPE and LLDPE are collected and recycled together as foils. For now we recommend to use the same CO₂ value for rLDPE and rLLDPE.

** Avoiding the production of new fossil plastics prevents the emission of CO₂-eq. (calculated as CO₂-eq. recyclate - CO₂-eq. fossil). The negative amount means therefore a climate advantage.



Figure 1 - Overview of the life cycle of fossil and recycled plastic: recycling plastic saves fossil resources and prevents emissions from municipal waste incinerators (MWI) (taking into account these also produce energy)



The life cycle steps specific for fossil plastic are in the yellow/upper part and the steps specific for recycled plastic are in the green/lower part. The boxes outside the coloured area represent the inputs and outputs over the entire life cycle. The bracket above the figure indicates the steps used to calculate the CO₂ values for (recycled) granulate.

Samenvatting

De kunststof- en rubberindustrie wil verder verduurzamen. Onderdeel daarvan is de inzet van recycalaat om zo de klimaatimpact (of emissies in CO₂-eq.) van haar producten te verlagen. NRK Recycling heeft CE Delft gevraagd de CO₂-winst door inzet van recycalaat te onderbouwen.

Om concrete CO₂-doelen na te streven, moet er eerst in beeld gebracht worden wat het klimaatvoordeel is van kunststofrecycalaat. De hoofdvraag in deze studie is: 'Wat is de klimaatimpact (in CO₂-score) van gerecyclede kunststoffen ten opzichte van de nieuwe fossiele ('virgin') productie van kunststoffen?'

Allereerst heeft gerecycled kunststofgranulaat een aanzienlijk lagere klimaatimpact dan kunststofgranulaat verkregen uit virginproductie. Voor het laatste zijn immers fossiele grondstoffen nodig, die bij het recyclen van kunststoffen niet nodig zijn. Het recyclen van kunststof levert ook nog een tweede significant klimaatvoordeel op als we kijken naar de end-of-life-fase. Het verbranden van kunststof in afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) levert weliswaar energie en warmte, maar stoot toch netto CO₂ uit, wat voorkomen wordt door te recyclen.

In dit overzicht van de CO₂-kentallen die gelden voor recycalaat versus virginproductie, nemen we alleen het eerste voordeel mee. Afhankelijk van het type recycalaat, is de klimaatwinst 0,8 tot 2,6 kg CO₂-eq. per kg geproduceerd recycalaatgranulaat. Vanuit een maatschappelijk perspectief is er een tweede klimaatvoordeel door na het gebruik, de kunststoffen te recyclen in plaats van te verbranden. De totale klimaatwinst (over de hele levenscyclus) is dan 2,6 tot 4,6 kg CO₂-eq. per kg recycalaat (Tabel 1).

In dit rapport wordt ook aangegeven wat de milieuwinst is bij gedeeltelijke inzet van recycalaat. Daarvoor wordt een formule gebruikt. Met behulp van de formule en dit overzicht van CO₂-kentallen kunnen producenten en consumenten van kunststof granulaat zelf berekenen wat de klimaatimpact is van producten en hoe deze verandert bij een hoger gehalte aan recycalaat.

Tabel 1 - Gemiddelde CO₂-kentallen voor gerecyclede en fossiele kunststoffen in Nederland, in kg CO₂-eq. per kg kunststof

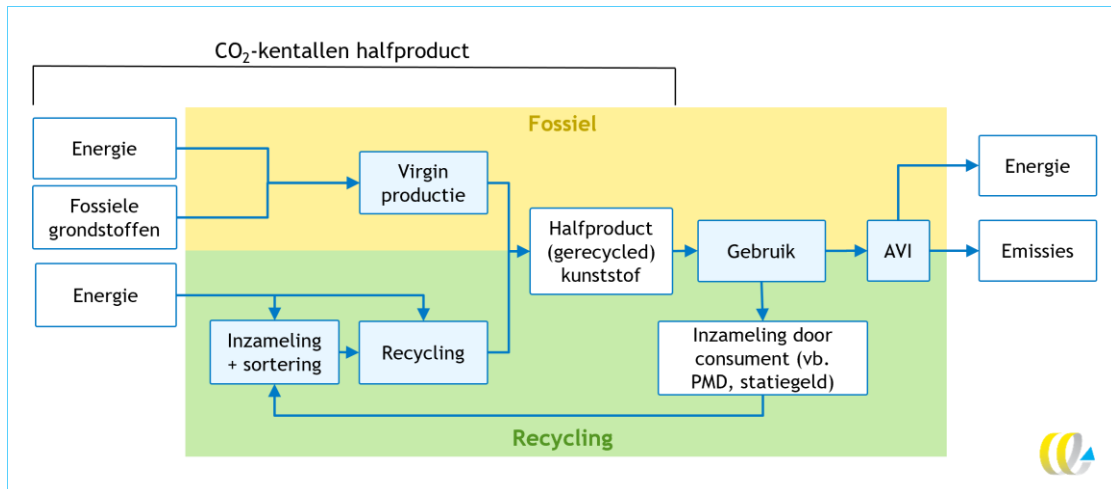
Kunststof	CO ₂ -kental recycalaat	CO ₂ -kental Fossiele plastic	Klimaatvoordeel** vermijden fossiel (producent)	Klimaatvoordeel vermijden fossiel en verbranding (maatschappij)
PET	0,5	2,4	-1,9	-3,3
PP	0,7	1,7	-1,0	-2,6
HDPE	0,7	1,8	-1,1	-3,0
LDPE	1,1*	2,0	-0,8*	-2,7*
LLDPE		1,9		
PS	0,6	2,9	-2,3	-4,4
PVC	0,2	2,6	-2,4	-3,9
ABS	0,5	3,1	-2,6	-4,6

* In de gegevens bij ons bekend worden LDPE en LLDPE samen als folies gerecycled. Daarom kan voor rLDPE en rLLDPE vooralsnog eenzelfde CO₂-kental gebruikt worden.

** Het vermijden van fossiel bespaart klimaatimpact (berekend als CO₂-eq. recycalaat - CO₂-eq. fossiel). Het negatieve getal betekent hier dus een voordeel voor het klimaat.



Figuur 1 - Levenscyclus van fossiel en gerecycled kunststof



Geel (boven) zijn de stappen specifiek voor fossiel kunststof, groen (onder) voor gerecycled kunststof. Buiten het gekleurde gebied liggen de netto inputs en outputs van kunststof over de hele levenscyclus. De stappen inbegrepen in de berekening van de CO₂-kentallen (gerecycled) kunststof granulaat (halfproduct) zijn aangeduid.

Leeswijzer

In Hoofdstuk 1 kaderen we het onderzoek: wat was de aanleiding voor dit onderzoek en wat is de hoofdvraag (Paragraaf 1.1). In Paragraaf 1.2 wordt uitgelegd hoe we hiervoor tewerk zijn gegaan. Eerst wordt in Paragraaf 1.2.1 kort de kunststofketen uitgelegd, en welke stappen in de keten zijn meegenomen in de kentallen. De bronnen die zijn gebruikt voor het bepalen van de CO₂-kentallen worden toegelicht in Paragraaf 1.2.2.

Hoofdstuk 2 geeft het overzicht van de kentallen per kunststof (PET, PP, HPDE, (L)LDPE, PS, PVC, ABS).

In Hoofdstuk 3 laten we zien hoe de getallen gebruikt kunnen worden. In Paragraaf 3.1 leggen we de klimaatvoordelen van recycalaat naast elkaar voor de verschillende kunststof-types. In Paragraaf 3.2 geven we concrete voorbeelden hoe de kentallen gebruikt kunnen worden. Hoeveel daalt bijvoorbeeld de CO₂-score van een product wanneer er 30% meer recycalaat in plaats van fossiele kunststoffen in wordt verwerkt? Wat bedoelt een publicatie met een “80% lagere CO₂-score van recycalaat tegenover fossiel”? In Paragraaf 3.3 en 3.4 gaan we dieper in hoe eigen procesdata eventueel gebruikt kunnen worden om te schatten hoe toepasbaar de CO₂-kentallen zijn voor een kunststofproducent. Paragraaf 3.4 gaat specifiek om procesdata van energieverbruik.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel van deze studie

De NRK wil verduurzamen en de klimaatimpact (of emissies in CO₂-eq.) van haar producten verlagen. Recyclen speelt daarbij een belangrijke rol. Om concrete CO₂-doelen na te streven, en om recycling intern en extern te promoten, moet er eerst in beeld gebracht worden wat het klimaatvoordeel is van kunststofrecycalaat. Als dat bekend is, kan namelijk berekend worden *hoeveel* een toename in recycalaat de klimaatimpact van een product verkleint.

Daarom is de hoofdvraag in deze studie: *‘Wat is de klimaatimpact (in CO₂-score) van gerecyclede kunststoffen ten opzichte van de nieuwe fossiele (‘virgin’) productie van kunststoffen?’* Het antwoord daarbij is dat er dan in de hele economie twee zaken spelen. Allereerst heeft gerecycled kunststofgranulaat een aanzienlijk lagere klimaatimpact dan kunststofgranulaat verkregen uit virginproductie. Voor het laatste zijn immers fossiele grondstoffen nodig die bij het recyclen van kunststoffen niet nodig zijn. Het recyclen van kunststof levert ook nog een tweede significant klimaatvoordeel op als we kijken naar de *end-of-life*-fase. Het verbranden van kunststof in afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) levert weliswaar energie en warmte, maar stoot toch netto CO₂ uit, wat voorkomen wordt door te recyclen.

In dit overzicht van de CO₂-kentallen die gelden voor recycalaat versus virginproductie nemen we alleen het eerste voordeel mee. De leveranciers van plastic korrels gaan immers niet over het inzamelen van kunststofafval voor recycling. Dat voordeel behoort toe aan de afvalsector, de gemeenten die inzamelen en de bedrijven die voor bijvoorbeeld plastic verpakkingen een recyclingheffing betalen via het afvalfonds. Totaal is het klimaatvoordeel van het recyclen van kunststoffen dus groter voor de maatschappij dan voor de leverancier van virgin/gerecycled kunststofgranulaat. Hoe de klimaatvoordelen van recycalaat voor producent en maatschappij berekend worden, laten we zien aan de hand van concrete voorbeelden.

Het gaat in dit project om representatieve CO₂-kentallen voor recycalaat, zo veel mogelijk met bronverantwoording, die gebruikt kunnen worden als er geen precieze gegevens bekend zijn van de recycalaatketen. Het gaat niet om een compleet overzicht van precieze CO₂-kentallen van alle soorten recycalaat die op de markt zijn in Nederland van alle NRK-leden. Als er sprake is van onzekerheden of variaties op basis van herkomst van recycalaat nemen we dit als range mee in het overzicht.

1.2 Achtergrond en methodiek

1.2.1 Keten van kunststof en systeemgrenzen

De hele levenscyclus van productie tot *end-of-life* en recycling van kunststoffen is weer-gegeven in Figuur 2. De stappen relevant voor de CO₂-score van granulaat zijn aangeduid. Voor virginkunststof omvat dit de inputs (energie, aardolie), het productieproces zelf en het transport van grondstoffen (laatste niet aangeduid maar wel meegerekend). Voor recycalaatgranulaat is de eerste stap de inzameling van kunststoffen afgedankt door consumenten via het statiegeldsysteem, PMD of restafval. PMD-inzameling valt onder

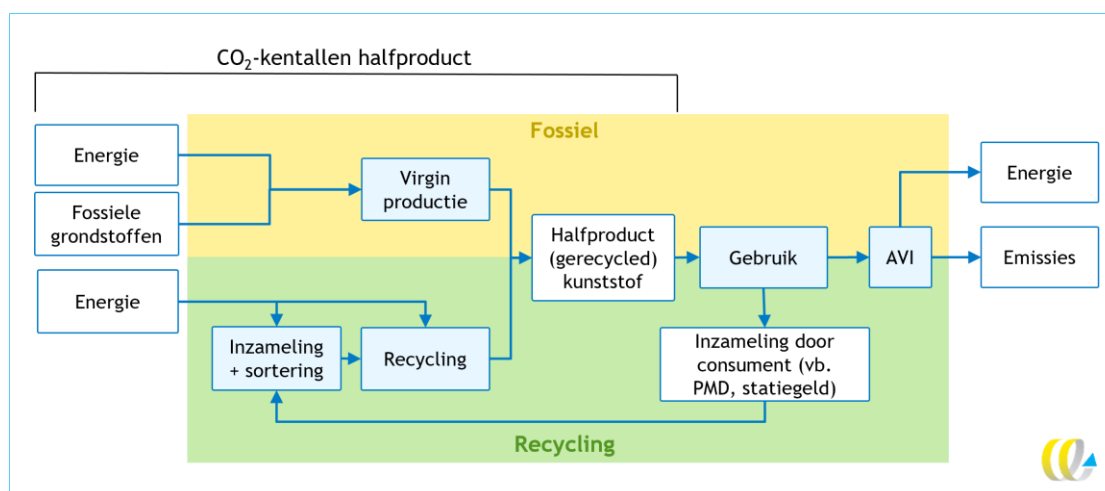
bronscheiding: consumenten leveren kunststof verpakkingen gescheiden in. Het sorteren van kunststoffen uit restafval valt onder ‘nascheiding’. In deze studie is alleen gekeken naar bron gescheiden kunststofrecycling omdat dit het meest voorkomt in Nederland en er geen significant impactverschil is met nascheiding (CE Delft, 2021b). In de rest van het rapport wordt dit vermeld als bron/nascheiding.

Na inzameling wordt het kunststofafval gesorteerd en vervolgens verwerkt tot recycklaat. Onder de verwerking valt onder meer nasorteren, vermalen, op kleur scheiden, wassen en drogen, agglomereren, regranuleren en/of kristalliseren en nacondenseren (CE Delft, 2021b). Bij het sorteren en het verwerken zijn er verliezen van kunststof, die worden verwerkt in een AVI. Dit is inbegrepen bij de berekening van de CO₂-kentallen. Chemische recycling wordt nog zeer beperkt toegepast en is niet meegenomen in deze studie. Dit zou later eventueel toegevoegd kunnen worden.

In sommige studies wordt postindustriële ‘afval’ (verlies uit virginproductieproces) meegenomen als recycklaat. In deze studie doen we dit niet, in lijn met EU-regelgeving.

De stappen na de productie van granulaat omvatten het gebruik door producenten en consumenten, en de verwerking bij afdanking na gebruik (*end-of-life*). Verwerking gebeurt enerzijds via verbranding in een AVI en gedeeltelijk via apart inzamelen, sorteren en bij recycling.

Figuur 2 - Levenscyclus van fossiel en gerecycled kunststof: kunststof recycling bespaart fossiele grondstoffen en voorkomt emissies van AVI's



Geel (boven) zijn de stappen specifiek voor virginkunststof, groen (onder) voor gerecycled kunststof. Buiten het gekleurde gebied liggen de netto inputs en outputs van kunststof over de hele levenscyclus. De stappen inbegrepen in de berekening van de CO₂-kentallen (gerecycled) kunststof granulaat (halfproduct) zijn aangeduid. Verliezen uit inzameling, sortering en het recycleproces, net als de impact van transport, zijn hier niet aangeduid maar wel inbegrepen in de CO₂-kentallen.

Sommige kunststof verpakkingen bestaan uit (onderdelen van) één soort kunststof en kunnen dus in monostromen gescheiden worden en verwerkt worden tot rPET, rPP, enzovoort. Bij sommige verpakkingen is dit niet mogelijk en deze belanden daarom in de mixed-kunststoffractie. De mixed-kunststoffractie wordt omgezet in dikwandige producten zoals paaltjes en straatmeubilair. Het klimaatvoordeel hiervan is lager dan voor de mono-

stromen, waardoor er wordt beoogd het aandeel monostromen te verhogen. Hier kijken we alleen naar monostromen.

Ten slotte heeft recycklaat niet dezelfde eigenschappen als virginkunststof, en zijn recycklaat en virgin niet standaard uitwisselbaar voor alle doeleinden. Hier hebben we in deze studie geen rekening mee gehouden.

1.2.2 Bronnen voor CO₂-kentallen

CO₂-kentallen zijn terug te vinden in databanken zoals Ecoinvent 3.8 (Ecoinvent, 2021), wetenschappelijke literatuur, bij onderzoekbureaus zoals CE Delft en Carbon Minds (Carbon Minds GmbH, 2021), en bij brancheorganisaties als Plastics Europe. De selectie van gebruikte data is waar mogelijk specifiek voor Nederland, anders Europees. Voor de meest nauwkeurige schatting van de klimaatimpact van een specifieke (gerecycled) kunststof, raden we aan de data op te vragen van de producent. Hiervoor werd de NRK zelf ook om CO₂-kentallen gevraagd van individuele producenten.

De gebruikte data van Plastics Europe is afkomstig van de laatste ecoprofielrapporten voor elk type plastic (Plastics Europe, 2022)¹. De Ecoinvent 3.8-data is gebaseerd op data van meestal 2010-2015 en volgens een *business-as-usual* gemodelleerd naar 2021. De data van Carbon Minds zijn het meest recent, uit 2021, en specifiek voor Nederland. Alle CO₂-data bevat in principe alle inputs voor het kunststofmateriaal en de productieprocessen, en het transport (geschat voor een bepaalde regio). Waar data beschikbaar is over de individuele stappen, vermelden we deze om een beeld te geven van hoe de stappen bijdragen tot de totale CO₂-score.

De verschillen tussen de verschillende bronnen zijn echter klein in vergelijking met de verschillen tussen recycklaat en virgin, het onderwerp van deze studie.

Voor het berekenen van de klimaatimpact op basis van procesdata in Ecoinvent is gebruik gemaakt van de IPCC GWP100-methode versie 1.1, langetermijnemissies uitgesloten.

De vermelde getallen zijn de meest recente die we konden vinden. Recycleprocessen en virginproductieprocessen worden elk jaar efficiënter (gemiddeld 1-2% minder energieverbruik per jaar (CE Delft, 2021a)). Daarnaast verzamelen databanken zoals Plastics Europe in principe elke drie tot vier jaar nieuwe gegevens. In 2023 verschijnt in principe een update van de Plastics Europe ecoprofielen. Om deze redenen raden we aan de kentallen elke drie tot vier jaar te updaten.

In deze studie ligt de focus op verpakkingen, momenteel veruit de belangrijkste bron van kunststof afval in Nederland (Plastics Europe, 2020). Veel kunststoffen bevinden zich momenteel nog in de gebruiksfase in onder meer auto's, de bouw en elektronica. Wanneer deze hun end-of-life zullen bereiken, zal de hoeveelheid plastic die hierbij vrijkomt toenemen, net als het relatieve belang van het recyclen hiervan. Deze studie kan dan uitgebreid worden met andere recyclestromen voor kunststof.

¹ De Plastics Europe-ecoprofielrapporten die zijn gebruikt zijn afkomstig uit:

- 2012 voor HIPS, GPPS;
- 2015 voor EPS, ABS;
- 2016 voor PVC, PP, PE;
- 2017 voor PET.



2 CO₂-kentallen recycklaat en virgin

Om de CO₂-kentallen te bepalen, zijn databanken en publicaties afgezocht (meer detail hierover in Paragraaf 1.2.2). De gevonden CO₂-waarden zijn voor elke soort kunststof geïventariseerd volgens locatie, stappen in de keten inbegrepen, en eventuele extra informatie zoals subtype kunststof. Deze lijst van CO₂-waarden en metagegevens is te vinden in Bijlagen A.3-A.8. Van deze CO₂-waarden is het gemiddelde berekend, indien mogelijk specifiek voor Nederland en apart voor het inzamelen/sorteren en recycleproces. Voor sommige kunststoffen zijn hiervoor geen specifieke gegevens en is het gemiddelde berekend voor Europa, voor inzameling én recycleproces samen. De berekende gemiddelden zijn de uiteindelijke CO₂-kentallen die worden weergegeven in de tabellen in dit hoofdstuk.

De onderzochte kunststoffen zijn polyethyleentereftalaat (PET, Paragraaf 2.1), polypropyleen (PP, Paragraaf 2.2), *high density* polyethyleen (HDPE, Paragraaf 2.3), (*linear*) *low density* polyethyleen ((L)LDPE, Paragraaf 2.4), polystyreen (PS, Paragraaf 2.5), polyvinylchloride (PVC, Paragraaf 2.6) en acrylonitril-butadien-styreen (ABS, Paragraaf 2.7).

2.1 PET (polyethyleentereftalaat)

De klimaatimpact van gerecycled PET is gemiddeld voor rPET ingezameld via het statiegeldsystemen via bron- en nascheiding 0,5 kg CO₂ per kg rPET (Tabel 2). De bijdragen van inzamelen/sorteren en het recycleproces zelf zijn daarbij grofweg gelijk, respectievelijk 0,2-0,3 en 0,3 kg CO₂ per kg rPET.

PET-granulaat uit virginproductie heeft een klimaatimpact van gemiddeld 2,4 kg CO₂ per kg PET.

Het verschil in klimaatimpact tussen virgin en gerecycled PET-granulaat bedraagt 0,5 - 2,4 = -1,9 kg CO₂ per kg (r)PET. Het vermijden van verbranding bespaart een extra 1,4 kg CO₂ per kg PET. Het vervangen van 1 kg virgin PET door 1 kg gerecycled PET bespaart de maatschappij dan 3,3 kg CO₂.

Tabel 2 - De CO₂-kentallen voor virgin en gerecycled PET

Kunststof	Regio	Kg CO ₂ -eq./kg kunststof			Bron
		Inzamelen + sorteren	Recycle-proces	Totaal	
rPET - statiegeld	NL	0,3	0,3	0,6	CE Delft 2021b
rPET - flessen uit bron/nascheiding	NL, Oostenrijk	0,2	0,3	0,5 (0,45-0,5)	Packaging Europe Ltd. 2017, CE Delft 2021b
rPET - gemiddeld				0,5	
PET	Oostenrijk, EU, NL			2,4 (2,2-2,7)	Packaging Europe Ltd. 2017, Plastics Europe 2022, Carbon Minds 2021, Ecoinvent 3.8
Klimaatvoordeel vermijden fossiel				-1,9	= 0,5-2,4
Klimaatvoordeel vermijden fossiel + verbranding				-3,3	= -1,9-1,4



Dit zijn gemiddelde waarden op basis van de gegevens in Bijlage A.3. Tussen haakjes wordt de range van de gegevens gegeven voor een idee van de spreiding op het CO₂-kental. De berekening van de klimaatimpact van verbranding is te vinden in Bijlage A.9.

2.2 PP (polypropyleen)

De klimaatimpact van gerecycled en virgin PP zijn weergegeven in Tabel 3.

Voor 1 kg rPP bedraagt dit 0,7 kg CO₂, waarvan 0,3 kg CO₂ afkomstig is van inzameling en sorteren en 0,4 kg CO₂ van het recycleproces. PP-granulaat uit virginproductie heeft een klimaatimpact van gemiddeld 1,7 kg CO₂ per kg PP. Het verschil in klimaatimpact tussen virgin en gerecycled PP-granulaat bedraagt bijgevolg -1,0 kg CO₂ per kg (r)PP. Het vermijden van verbranding bespaart een extra 1,6 kg CO₂ per kg PP. Het vervangen van 1 kg virgin PP door 1 kg rPP bespaart de maatschappij dan 2,6 kg CO₂.

Tabel 3 - De CO₂-kentallen voor virgin en gerecycled PP

Kunststof	Regio	Kg CO ₂ -eq./kg kunststof			Bron
		Inzamelen + sorteren	Recycle-proces	Totaal	
rPP (bron/nascheiding)	NL	0,3	0,4	0,7 (0,6-0,7)	CE Delft 2021b, Hedgehog Company 2022a
PP	NL, EU, EU			1,7 (1,5-1,9)	Carbon Minds 2021, Plastics Europe 2022, Ecoinvent 3.8
Klimaatvoordeel vermijden fossiel				-1,0	= 0,7-1,7
Klimaatvoordeel vermijden fossiel + verbranding				-2,6	= -1,0-1,6

Dit zijn gemiddelde waarden op basis van de gegevens in Bijlage A.4. Tussen haakjes wordt de range van de gegevens gegeven voor een idee van de spreiding op het CO₂-kental. De berekening van de klimaatimpact van verbranding is te vinden in Bijlage A.9.

Een studie uit Frankrijk naar kleine huishoudapparatuur, ingezameld en gesorteerd in Frankrijk en gerecycled in de EU, vond een klimaatimpact van 0,44 kg CO₂ per kg rPP (Ecosystem, 2020).

2.3 HDPE (*high density polyethyleen*)

In Tabel 4 zijn de CO₂-kentallen van HDPE en rHDPE weergegeven. De inzameling en sortering van brongescheiden rHDPE (niet significant verschillend van nascheiding in onze eerdere studie) is 0,2 kg CO₂ per kg rHDPE. Het recycleproces zelf heeft een klimaatimpact van 0,4 kg CO₂ per kg rHDPE. Bij elkaar bedraagt dit 0,6 kg CO₂ per kg rHDPE. Gemiddeld met andere data wordt dit ongeveer 0,7 kg CO₂ per kg rHDPE. HDPE-granulaat uit virginproductie heeft een klimaatimpact van 1,8 kg CO₂ per kg HDPE.

Het verschil in klimaatimpact tussen virgin en gerecycled HDPE-granulaat is 0,7 - 1,8 = -1,9 kg CO₂ per kg (r)HDPE. Het niet verbranden bespaart een extra 1,9 kg CO₂ per kg PET. Het vervangen van 1 kg virgin HDPE door 1 kg gerecycled HDPE bespaart de maatschappij uiteindelijk 3,0 kg CO₂.

Tabel 4 - De CO₂-kentalen voor virgin en gerecycled HDPE

Kunststof	Regio	Kg CO ₂ -eq./kg kunststof			Bron
		Inzamelen + sorteren	Recycle-proces	Totaal	
rHDPE (bron/nascheiding)	NL, EU	0,2	0,4	0,7 (0,6-0,7)	CE Delft 2021b, Ecoinvent 3.8
HDPE	NL,EU			1,8	Carbon Minds 2021, Plastics Europe 2022
Klimaatvoordeel vermijden fossiel				-1,1	= 0,7-1,8
Klimaatvoordeel vermijden fossiel + verbranding				-3,0	= -1,1-1,9

Dit zijn gemiddelde waarden op basis van de gegevens in Bijlage A.5.1. Tussen haakjes wordt de range van de gegevens gegeven voor een idee van de spreiding op het CO₂-kental. De berekening van de klimaatimpact van verbranding is te vinden in Bijlage A.9.

Een studie uit de VS naar de klimaatimpact van rHDPE kwam aan gelijkaardige kentalen voor granulaat: 0,6 kg CO₂-eq./kg rHDPE en 1,8 kg CO₂-eq./kg HDPE.

2.4 (L)LDPE (*linear low density polyethyleen*) (folies)

LDPE en LLDPE worden ingezameld in stroom DKR310 (folies). Over de verhouding van beide is geen data beschikbaar. Het recycleaat van beide wordt daarom hier r(L)LDPE genoemd. De klimaatimpact van het verzamelen en sorteren van (L)LDPE-afval is gelijkwaardig aan vorige kunststoffen: 0,3 kg CO₂ per kg r(L)LDPE (Tabel 5). Het recycleproces is echter minder efficiënt en heeft een klimaatimpact van 1,1 kg CO₂ per kg r(L)LDPE. De virginproductie van LDPE en LLDPE is weinig verschillend en bedraagt 1,9 kg CO₂ per kg (L)LDPE.

Dit brengt het klimaatvoordeel van het vermijden van fossiel op 1,5 - 1,9 = -0,4 kg CO₂ voor 1 kg r(L)LDPE-granulaat. Het totale maatschappelijk klimaatvoordeel door zowel het uitsparen van fossiele grondstoffen als het vermijden van verbranding is -2,3 kg CO₂ per kg (L)LDPE vervangen door r(L)LDPE.

Een LCA van Ecochain (2020) van gerecyclede folies kwam uit op een CO₂-getal van 0,3 kg CO₂-eq. per kg recycleaat, aanzienlijk lager dan de 1,1 kg CO₂-eq. per kg uit de studie van CE Delft (2021). Deze verwerker bevindt zich echter in België, waar de klimaatimpact van elektriciteit de helft is van die van de grijze elektriciteitsmix in Nederland². In de LCA van Ecochain is elektriciteit veruit de belangrijkste bijdrage tot de klimaatimpact van het recycleaat. Hetzelfde proces in Nederland zou bijgevolg een CO₂-score hebben van 0,5 kg CO₂-eq. per kg r(L)LDPE.

² De Belgische elektriciteitsmix is 23% gas, 34% nucleair, 14% import uit Nederland, 14% import uit Frankrijk, 9% wind, 6% overig (Ecoinvent 3.8), met een klimaatimpact van 0,26 kg CO₂-eq. per kWh. Voor de Nederlandse grijze energiemix is dit 0,526 CO₂-eq. per kWh.

Tabel 5 - De CO₂-kentallen voor virgin en gerecycled (L)LDPE

Kunststof	Regio	Kg CO ₂ -eq./kg kunststof			Bron
		Inzamelen + sorteren	Recycle-proces	Totaal	
r(L)LDPE	NL, BE	0,3	0,8 (0,5-1,1)	1,1	CE Delft 2021b, Ecochain Technologies 2020
LDPE	EU, NL			2,0 (1,9-2)	Plastics Europe 2022, Carbon Minds 2021
LLDPE	EU, NL			1,9 (1,8-1,9)	Plastics Europe 2022, Carbon Minds 2021
Klimaatvoordeel vermijden fossiel				-0,8*	= 1,1-1,9
Klimaatvoordeel vermijden fossiel + verbranding				-2,7*	= -0,8-1,9

* Gemiddelde voor LDPE en LLDPE, 1.9 kg CO₂/kg kunststof.

Dit zijn gemiddelde waarden op basis van de gegevens in Bijlage A.5.2. Tussen haakjes wordt de range van de gegevens gegeven voor een idee van de spreiding op het CO₂-kental. De berekening van de klimaatimpact van verbranding is te vinden in Bijlage A.9.

2.5 PS (polystyreen)

In Tabel 6 zijn de CO₂-kentallen weergegeven voor verschillende varianten virgin PS en gerecycled PS. De Europese CO₂-kentallen van *high impact*, *general purpose* en *expandable* PS (HIPS, GPPS en EPS) zijn gemiddeld 2,9, 2, 8 en 3,0 kg CO₂-eq. per kg PS. De getallen bekend voor Nederland zijn gelijk aan dit gemiddelde. Het gebruikte gemiddelde CO₂-kental voor virgin PS komt neer op 2,9 kg CO₂-eq. per kg.

De Ecoinvent waarden van de productie van *extruded* PS (XPS) hangen af van het gebruikte blaasmiddel (3,9 kg CO₂-eq. per kg XPS met CO₂ als blaasmiddel, hogere waarden voor fluor-koolwaterstoffen). De spreiding hierop is zeer hoog, waardoor het niet is opgenomen in het gemiddelde CO₂-kental voor virgin PS.

De CO₂-kentallen voor rPS komen van post-consumer gerecycled kunststof (MBA Polymers UK Ltd, 2022) en *waste electrical and electronic equipment* (WEEE) uit huishoudens (Bleu Safran, 2020). Deze rapporteren allebei een klimaatimpact van 0,6 kg CO₂-eq. per kg rPS. Het vermijden van fossiele productie levert daarom een klimaatwinst van 2,3 kg (0,6-2,9) CO₂-eq. per kg PS. De klimaatimpact van het verbranden van PS is 2,1 kg CO₂-eq. per kg, wat het totale maatschappelijke voordeel van rPS brengt op 4,4 kg CO₂-eq. per kg rPS (0,6 - 2,9 - 2,1 = -4.4 kg CO₂-eq. per kg).

Tabel 6 - De CO₂-kentallen voor virgin en gerecycled PS

Kunststof	Regio	kg CO ₂ -eq./kg kunststof	Bron
rPS	FR, UK	0,6	Bleu Safran 2020, MBA Polymers UK Ltd. 2022
HIPS	NL	2,9	Carbon Minds 2021
	EU	2,9 (2,4-3,6)	Ecoinvent 3.8, Plastics Europe 2022, Carbon Minds 2021
GPPS	NL	2,8	Carbon Minds 2021
	EU	2,8 (2,3-3,7)	Ecoinvent 3.8, Plastics Europe 2022, Carbon Minds 2021
EPS	EU	3 (2,4-3,5)	Plastics Europe 2022, Ecoinvent 3.8
XPS	EU	12,2 (3,9-26,3)	Ecoinvent 3.8
Gemiddelde PS	NL + EU	2,9	HIPS, GPPS, EPS
Klimaatvoordeel vermijden fossiel		-2,3	= 0,6-2,9
Klimaatvoordeel vermijden fossiel + verbranding		= -4,4	= -2,3-2,1

HIPS: high-impact PS, GPPS: general purpose PS, EPS: expandable PS, XPS: extruded PS.



Dit zijn gemiddelde waarden op basis van de gegevens in Bijlage A.6. Tussen haakjes wordt de range van de gegevens gegeven voor een idee van de spreiding op het CO₂-kental. De berekening van de klimaatimpact van verbranding is te vinden in Bijlage A.9.

Een LCA uitgevoerd in opdracht van een Nederlandse fabrikant van EPS-producten kwam voor 120 eindproducten op basis van virgin EPS uit op een CO₂-score van 3,0 kg CO₂-eq. per kg EPS-eindproduct. Dit overlapt met het kental voor granulaat bekend voor Europa (Tabel 6). Voor de *end-of-life* van EPS werd in de studie uitgegaan van 35% verbranding en 65% recycling. In deze studie was de klimaatimpact van verbranding en het recycleproces 1,6 kg CO₂-eq. per kg EPS-eindproduct. Het klimaatvoordeel van het vermijden van fossiel EPS dankzij recycling is -2,0 kg CO₂-eq. Over de hele levenscyclus is de klimaatimpact van 1 kg EPS-eindproduct met 65% recycling en 35% verbranding gelijk aan 2,6 kg CO₂-eq. ($3,0 + 1,6 - 2,0 = 2,6$). Uit Tabel 6 leiden we af dat het produceren en verbranden van 1 kg EPS granulaat een klimaatimpact heeft van gemiddeld 5,1 kg CO₂-eq. ($3 + 2,1 = 5,1$) (dit is exclusief de verwerking tot eindproduct). Het recyclen van 65% van deze EPS-eindproducten bespaart dus over de hele levenscyclus grofweg 49% CO₂-eq. ten opzichte van 100% verbranding³.

2.6 PVC (polyvinylchloride)

Voor PVC zijn er weinig recente bronnen beschikbaar voor gerecycled granulaat. De enige studie die we hebben gevonden, berekende een klimaatimpact van 0,2 kg CO₂ per kg rPVC op basis van gerecyclede raamkozijnen (Tabel 7).

De productie van virgin PVC varieert naargelang de polymerisatiemethode (suspensie of emulsie), en is gemiddeld genomen 2,6 kg CO₂ per kg PVC. Het verschil in klimaatimpact tussen virgin en gerecycled PVC-granulaat bedraagt $0,2 - 2,6 = -2,4$ kg CO₂ per kg (r)PVC. Wordt ook verbranding vermeden, dan bespaart het vervangen van 1 kg virgin door 1 kg gerecycled PVC de maatschappij 3,9 kg CO₂.

Ter vergelijking vermelden we in Tabel 7 ook data van verwerkt granulaat en een (r)PVC eindproduct (dus verder in de levenscyclus). Hierbij is de impact hoger door de extra verwerking en transportstappen, maar het totale verschil tussen virgin en recycleaat blijft in principe gelijk.

De verschillen tussen virgin en gerecycled bewerkt PVC (Ye, L. et al., 2017) en de afgewerkte PVC-buis (CE Delft, 2016) zijn respectievelijk 2,2 en 2,1 kg CO₂ per kg PVC. Dit is in lijn met het hierboven berekende klimaatvoordeel door het vermijden van fossiel op basis van (Stichnothe, H. & Azapagic, A., 2013).

³ Van 5,1 kg CO₂-eq. naar 2,6 kg CO₂-eq. is een daling van 49%.

Tabel 7 - De CO₂-kentallen voor virgin en gerecycled PVC

Kunststof	Regio	(r)PVC product	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Bron
rPVC	UK	granulaat	0,2	Stichnothe & Azapagic, 2013
	China	granulaat, gevolgd door extrusie en trimming	0,6	Ye et al., 2017
	EUR	PVC buis eindproduct	2,0	CE Delft, 2016
PVC	EU, NL	granulaat (gemiddelde suspensie- en emulsiepolymerisatie)	2,6 (2,0-3,1)	Plastics Europe 2022, Carbon Minds 2021
	China	granulaat, gevolgd door extrusie en molding	2,8	Ye et al., 2017
	EU	PVC buis eindproduct	4,1 (3,7-4,4)	CE Delft, 2016
Klimaatvoordeel vermijden fossiel			-2,4	= 0,2-2,6
Klimaatvoordeel vermijden fossiel + verbranding			-3,9	= -2,4-1,5

Dit zijn gemiddelde waarden op basis van de gegevens in Bijlage A.7. Tussen haakjes wordt de range van de gegevens gegeven voor een idee van de spreiding op het CO₂-kental. De berekening van de klimaatimpact van verbranding is te vinden in Bijlage A.9.

2.7 ABS (acrylonitril-butadien-styreen)

De CO₂-kentallen voor ABS en rABS zijn weergegeven in Tabel 8. De CO₂-waarden voor gerecycled ABS zijn gebaseerd op recycling van elektrische en elektronische apparaten uit huishoudens (WEEE) (Bleu Safran, 2020), uit auto's en elektronisch afval (MBA Polymers UK Ltd, 2022) en post-consumer gerecycled ABS (Axion Polymers, 2017, bage plastics GmbH, 2021). Het gemiddelde hiervan is 0,5 kg CO₂-eq. per kg rABS.

Vergeleken met de productie van virgin ABS (3,1 kg CO₂-eq. per kg) bespaart de productie van rABS 2,6 kg CO₂-eq. per kg (0,5 - 3,1 = -2,6).

Het verbranden van ABS heeft een klimaatimpact van 2,0 kg CO₂-eq./kg. Bij het recyclen van ABS wordt deze verbranding vermeden, wat het verschil tussen gerecycled en virgin ABS *over de hele levenscyclus* brengt op 4,6 kg CO₂-eq./kg (-2,6 - 2,0 = -4,6).

Tabel 8 - De CO₂-kentallen voor virgin en gerecycled ABS

Kunststof	Regio	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Bron
rABS	UK, FR, Oostenrijk	0,5 (0,4-0,6)	Bleu Safran 2020, MBA Polymers UK Ltd. 2022, bage plastics GmbH 2021, Axion Polymers 2017
ABS	EU, UK	3,1	Plastics Europe 2022
Klimaatvoordeel vermijden fossiel		-2,6	= 0,5-3,1
Klimaatvoordeel vermijden fossiel + verbranding		-4,6	= -2,6-2,0

Dit zijn gemiddelde waarden op basis van de gegevens in Bijlage A.8. Tussen haakjes wordt de range van de gegevens gegeven voor een idee van de spreiding op het CO₂-kental. De berekening van de klimaatimpact van verbranding is te vinden in Bijlage A.9

Axion Polymers, (2017) fabriceren een ABS-recyclaat dat per kg rABS 3,4 kg CO₂-eq. bespaart, een vermindering van 89% tegenover virgin ABS-productie. Omgerekend⁴ betekent dit dat hun CO₂-waarden voor virgin en gerecycled ABS liggen op 3,8 en 0,4 kg CO₂-eq. per kg (r)ABS. Omdat de waarde voor virgin hoger is dan de Plastics Europe data (die afkomstig

⁴ De CO₂-waarde voor virgin ABS is dan 3,4 kg CO₂-eq./0,89 = 3,8 kg CO₂-eq.



zijn van vijf Europese producenten) hebben we dit niet meegenomen in het gemiddelde. Dit zou het klimaatvoordeel van rABS mogelijk overschatten.



3 Interpretatie en gebruik CO₂-kentallen

3.1 Vergelijking CO₂-kentallen virgin en gerecycled kunststof

In het kort heeft recycling altijd een klimaatvoordeel over virginkunststof, zowel voor de producent van granulaat, als over de hele levenscyclus. De verschillen in klimaatimpact tussen de types kunststof hier bekeken (PET, PP, HDPE, (L)LDPE, PVC, ABS, PS) liggen aan de verschillen in productieproces van zowel het recyclaat als virgin.

Virgin PET-productie heeft een relatief hoge klimaatimpact, en verbranding van PET is relatief laag in netto CO₂-uitstoot. Het klimaatvoordeel van rPET ontstaat dus vooral uit het vermijden van virginproductie. Het klimaatvoordeel voor de producent van rPET-granulaat is dan ook relatief groter in vergelijking met andere plastics: 1,9 kg CO₂-eq. per kg rPET.

Voor producenten van rPP- en rHDPE-granulaat bespaart dit ongeveer 1 kg CO₂ per kg rPP of rHDPE in vergelijking met virgin PP of HDPE. Echter door het voorkomen van verbranding wordt het totale voordeel 2,6 en 3 kg CO₂ per kg rPP of rHDPE.

De impact van inzameling en sorteren (waar bekend) is voor de hier bekeken recyclaten gelijk. Voor rPET, rPP en rHPDE is dit grofweg de helft van de totale impact. Voor r(L)LDPE is de gemiddelde impact van de verwerkingsstap een stuk hoger (0,8 kg CO₂ per kg r(L)LDPE), maar de spreiding hierop is hoog (0,5 en 1,1 kg CO₂-eq. per kg r(L)LDPE). Door de hoge verbrandingswaarde van (L)LPDE is de totale winst voor de maatschappij door het vermijden van verbranding nog steeds 2,3 kg CO₂ per kg r(L)LPDE.

Er zijn weinig gegevens over het recyclen van PVC, en voor virgin PVC is er best spreiding op de gevonden CO₂-getallen. Het klimaatvoordeel overlapt wel voor verschillende bronnen, en is ongeveer 2,4 kg CO₂-eq. per kg rPVC voor de producent van recyclaat. Het vermijden van verbranden brengt het maatschappelijke klimaatvoordeel wel op 3,9 kg CO₂-eq. per kg rPVC.

Virgin PS en ABS hebben de hoogste klimaatimpact van de virginkunststoffen hier onderzocht, gemiddeld 2,9 en 3,1 kg CO₂-eq. per kg PS en ABS respectievelijk. Het vermijden van virginproductie dankzij recyclen levert de producent van rPS en rABS een klimaatvoordeel van 2,3 kg CO₂-eq. per kg rPS en 2,6 kg CO₂ per kg rABS. Voor de maatschappij is het voordeel nog groter: per kg rPS en rABS wordt dan 4,4 en 4,6 kg CO₂ bespaard ten opzichte van virgin PS en ABS.



3.2 Voorbeelden van het gebruik van CO₂-kentallen

Hierna geven we een aantal voorbeelden hoe de CO₂-kentallen toegepast kunnen worden.

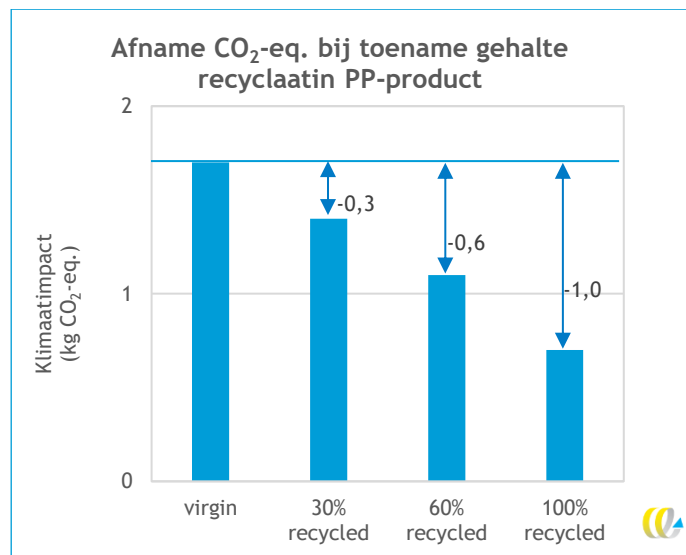
Voorbeeld 1: Toename gehalte recycalaat in PP-product

Voor een fabrikant die kunststofgranulaat verwerkt in zijn product, kunnen we uitrekenen wat de klimaatimpact is van dat product met volgende formule:

$$CO_2\text{-score product} = \% \text{ recycalaat} * CO_2\text{-kental recycalaat} + \% \text{ virgin} * CO_2\text{-kental virgin}$$

Omdat de fabrikant geen invloed heeft op de EOL van het product, kan klimaatwinst dankzij vermeden verbranding niet toegerekend worden. We gebruiken dus de CO₂-kentallen van de productie van het granulaat.

Figuur 3 - De klimaatimpact van een PP-product neemt af bij een stijgend aandeel gerecycled PP. Dit is vanuit het perspectief van de fabrikant gerekend, zonder te kijken naar de EOL van het product



Stel de producent vervangt 30% van het product met gerecycled PP. Een product van 1 kg virgin PP heeft een klimaatimpact van $0\% * 0,7 + 100\% * 1,7 = 1,7$ kg CO₂-eq.* Hetzelfde product met 30% gerecycled PP heeft een klimaatimpact van $30\% * 0,7 + 70\% * 1,7 = 1,4$ kg CO₂-eq.* Dit is een verschil van $1,7 - 1,4 = 0,3$ kg CO₂-eq. per kg product.

Op dezelfde manier kan worden berekend dat bij een product met 60% rPP 0,6 kg CO₂-eq. wordt uitgespaard tegenover het gebruik van 100% virgin PP.

* De hoeveelheid CO₂-eq. van het eindproduct zal hoger zijn omdat hier alleen de CO₂-score van het granulaat is gebruikt, en de verwerking tot eindproduct niet is meegenomen. Voor het berekenen van het absolute verschil in CO₂ tussen producten die op dezelfde manier verwerkt zijn, maakt dit niet uit.

Voorbeeld 2: Relatieve CO₂-getallen vergelijken

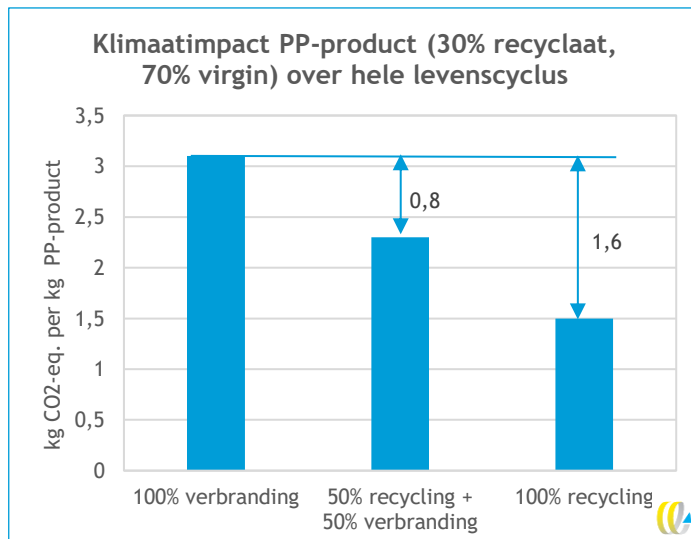
Vaak vermelden studies geen absolute getallen, maar relatieve waarden voor de vergelijking van virgin en gerecycled kunststof. Komt dat overeen met de gevonden waarden hier?

Een onderzoek van Ineos Styrolution, (2021) vermeldt bijvoorbeeld een reductie van 80% klimaatimpact van gerecycled PS in vergelijking met virgin PS *material and incineration: total savings*. Hierbij wordt dus gekeken naar de volledige levenscyclus van PS, zowel de productie als de verbranding. Voor rPS is het CO₂-kental 0,6 kg CO₂-eq. per kg. Voor virgin PS is dit 2,9 kg CO₂-eq. per kg voor de productie, en 2,1 kg CO₂-eq. per kg voor de verbranding, in totaal 5 kg CO₂-eq. per kg (Tabel 5). Van 5 kg CO₂-eq. voor virgin PS naar 0,6 kg CO₂-eq. voor rPS is een vermindering van 88%. Dit is niet significant verschillend van de 80% reductie gerapporteerd door Ineos Styrolution.

Voorbeeld 3: Klimaatimpact van een kunststof gebruiksvoorwerp: maatschappelijk perspectief

We weten van Voorbeeld 1 dat 1 kg PP-granulaat met 30% recycalaat een klimaatimpact heeft van 1,4 kg CO₂-eq. Vervolgens wordt hier een product van gemaakt dat na gebruik wordt verbrand of gerecycled. Wat is de klimaatimpact van het eindproduct na de end-of-life-fase, dus over de hele levenscyclus? Dit is namelijk relevant vanuit maatschappelijk oogpunt.

Figuur 4 - Vanuit een maatschappelijk perspectief heeft naast de productie van een kunststofproduct ook de EOL invloed op de klimaatimpact. Hier wordt weergegeven hoeveel CO₂-eq. worden vermeden bij het deels of volledig recycleren van een fictief PP-product dat bestaat uit 30% gerecycled granulaat, ten opzichte van verbranding



We weten dat verbranding van 1 kg (r)PP een klimaatimpact heeft van 1,6 kg CO₂-eq. (Tabel 3). Over de hele levenscyclus heeft dit product na verbranding een totale klimaatimpact van 1,4 + 1,6 = 3,0 kg CO₂-eq.* (kolom 1 van Figuur 4).

Stel dat het product volledig wordt gerecycled. Dan is er geen bijkomende klimaatimpact, want de impact van inzamelen, sorteren, enz. wordt toegeschreven aan de producent van recyclelaatgranulaat. De klimaatimpact van het eindproduct is dan 1,4 kg CO₂-eq. per kg.

Mocht nu voor dit product bekend zijn dat de helft verbrand wordt en de helft gerecycled, dan berekenen we de CO₂-score over de hele levenscyclus als volgt:

$$1,4 \text{ kg CO}_2\text{-eq.} + 50\% * 1,6 \text{ kg CO}_2\text{-eq.} = 2,2 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}^*$$

Het verschil tussen 100% verbranden en 50% verbranden/recyclen is $3,0 - 2,2 = 0,8$ kg CO₂-eq. per kg eindproduct.

Het totale maatschappelijke klimaatvoordeel van een PP product dat 30% recyclelaat bevat en vervolgens voor 50% wordt gerecycled is dan vergeleken met 100% virgin en 100% verbranding: $1,7 + 1,6 - 2,2 = 1,1$ kg CO₂-eq.

(Dit kan ook worden berekend door het voordeel van het 30% recyclelaat in het product uit voorbeeld 1, 0,3 kg CO₂-eq., op te tellen bij het voordeel van 50% minder verbranding, 0,8 kg CO₂-eq.)

* *Opmerking: De hoeveelheid CO₂-eq. van het eindproduct zal hoger zijn omdat de verwerking tot eindproduct niet is meegenomen. Voor het berekenen van het absolute verschil in klimaatimpact tussen producten die op dezelfde manier verwerkt zijn (hier uitgekomen op 1,1 kg CO₂-eq.), maakt dit niet uit.*

Voorbeeld 4: Verdubbeling aandeel recyclelaat in nieuwe kunststof-producten

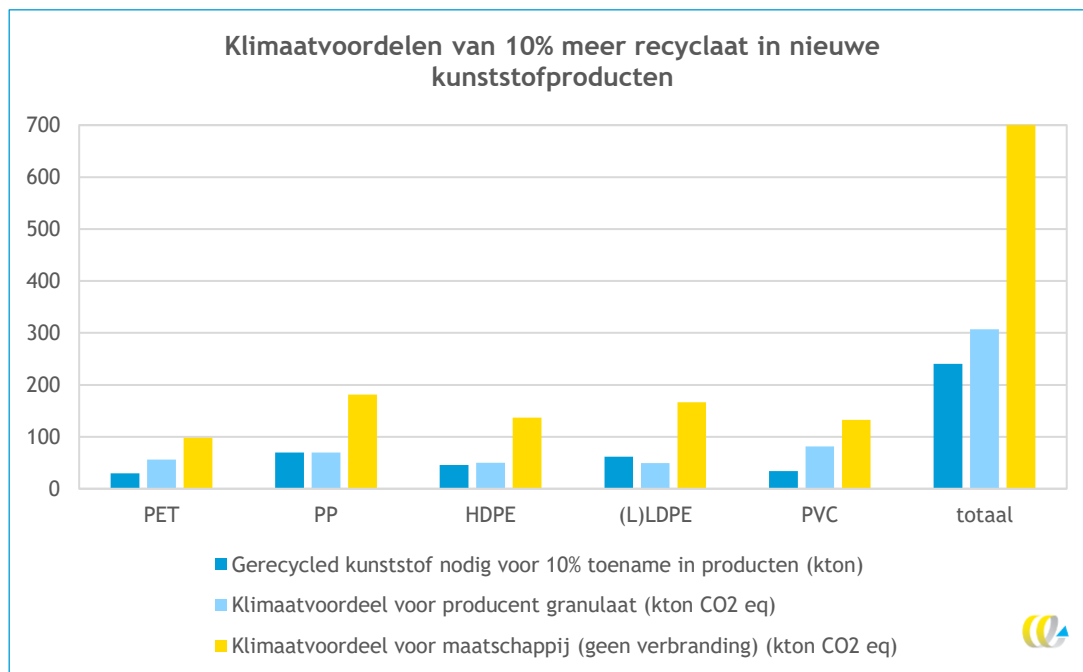
Een van de doelstellingen van de Transitieagenda Kunststoffen is om tegen 2030 40% van de kunststofproducten van gerecycled kunststof te produceren (I&W/EZK, 2018). Van deze 40% wordt verwacht dat 30% van mechanische en 10% van chemische recycling komt. Momenteel is dit nog slechts ongeveer 10% mechanische recycling (CE Delft, 2021a). Stel dat dit wordt verdubbeld, dat in totaal 20% van de nieuwe kunststofproducten uit (mechanisch) gerecycled kunststof bestaan. Wat levert dat voor klimaatwinst ten opzichte van virginkunststof?

In 2020 werd er 2363 kton kunststofproducten in Nederland geproduceerd (Plastics Europe, 2020b). Als daarvan 10% meer gemaakt wordt uit gerecycled kunststof, betekent dat dat er ongeveer 240 kton extra gerecycled kunststof nodig is.

We veronderstellen dat deze 240 kton kunststof afkomstig is van PET, PP, HDPE, (L)LDPE en PVC in dezelfde verhouding als de huidige Europese vraag naar kunststof types (Bijlage A.2). Met de CO₂-kentallen uit Tabel 2 tot en met Tabel 5 kan dan het totale klimaatvoordeel berekend worden.



Figuur 5 - Het verhogen van het recycleatgehalte in de huidige Nederlandse kunststofproductie met 10% zal leiden tot een collectieve daling van de klimaatimpact (en dus klimaatwinst). Voor de producenten ontstaat de winst door het vermijden van virginkunststoffen, en voor de maatschappij door het vermijden van virginkunststoffen en verbranding bij de EOL



Voor PVC bijvoorbeeld is de vraag 14% van de totale plastics markt. 14% van 240 kton is 34 kton. 34 kton aan 2.4 kg CO₂-eq./kg PVC-klimaatvoordeel (vermijden fossiel) geeft een totaal klimaatvoordeel van 82 kton CO₂-eq. ten opzichte van virgin. Voor de maatschappij is het voordeel nog groter: 34 kton aan 3.9 kg CO₂-eq./kg PVC-klimaatvoordeel (vermijden fossiel én verbranding) geeft een totaal klimaatvoordeel van 132 kton CO₂-eq. ten opzichte van virgin.

3.3 Hoe dicht ligt de CO₂-score van mijn product bij deze CO₂-kentallen?

De kentallen zijn afkomstig van gemiddelde productiegegevens van verschillende virgin of recycleat producenten. Het is dus niet mogelijk productieprocessen te vergelijken en exact te weten in welke mate een producent aansluit bij deze CO₂-kentallen. Als een producent vermoedt dat een product beter uitkomt, kan men dat alleen aantonen door een LCA voor het recycleproces uit te voeren.

Bijvoorbeeld, voor een CO₂-getal van Plastics Europe zijn de productiegegevens van vijf Europese producenten verzameld betreffende totaal verbruik elektriciteit, warmte, transport, uitval van kunststof, enzovoort. De recycleprocessen zijn niet altijd gelijk, en omvatten eventuele nasortering, scheiding op kleur, het wassen, vermalen en/of kristalliseren en nacondenseren, eventuele extra wastappen en drogen. Ook het percentage kunststofuitval kan verschillen. Voor het gemiddelde van al deze productieprocessen is vervolgens de CO₂-score berekend. Dit geldt ook voor de gegevens van CE Delft, Carbon Minds, en de Ecoinvent-databank.



Bij de CE Delft studie is onderscheid gemaakt tussen het inzamelen en sorteren tot een gestandaardiseerde monostroom (DKR-stromen) en de rest van het recycleproces dat plaatsvindt bij de verwerker. De producent van gerecycled kunststof die vertrekt van een DKR-stroom kan dus de getallen voor alleen het recycleproces gebruiken, bijvoorbeeld 0,4 kg CO₂-eq. per kg rHDPE (Tabel 4). Voor kunststoffen waarbij er geen CO₂-getallen zijn voor de inzameling/sortering (ABS, PVC, PS), kan een gemiddelde van de andere kunststoffen gebruikt worden als ruwe schatting (0,25 kg CO₂-eq. per kg recycalaat).

Andere CO₂-getallen komen van individuele producenten die zelf een LCA hebben laten uitvoeren voor hun specifieke proces en dit publiceren. De achterliggende procesdata zijn hierbij niet bekend. Het is mogelijk dat met name de producenten die een onder gemiddelde CO₂-score hebben, sneller geneigd zijn om een CO₂-waarde te laten bepalen en hiermee naar buiten te treden. Dit is iets om rekening mee te houden bij het vergelijken met individuele publieke CO₂-getallen.

3.4 Hoe belangrijk zijn energieverbruik en energiebron voor de CO₂-score?

Kan je dan op geen enkele manier weten hoe dicht je bij het gemiddelde CO₂-kental ligt dat hier is weergegeven, op basis van eigen productiegegevens? Jawel. Een belangrijke factor bij de uiteindelijke CO₂-score is de hoeveelheid energie (elektriciteit en warmte) en hoe die is opgewekt.

In Tabel 9 staat bijvoorbeeld de nodige energie voor een hypothetisch recycalaatproces (wassen, granuleren, drogen, enzovoort, gesommeerd) waarbij 1 kg recycalaat geproduceerd wordt in verschillende landen en/of met een verschillende energieopwekking. De energie voor een fictief Nederlands productieproces van 1 kg recycalaat met 0,3 kWh grijze elektriciteit en 0,03 m³ gas heeft een klimaatimpact van 0,23 kg CO₂-eq. Dit is bijvoorbeeld 33% van het CO₂-kental van rPP en rHDPE (0,7 kg CO₂-eq. per kg).

De CO₂-score van individuele productiestappen kan ook berekend worden. Stel bijvoorbeeld dat het wassen 17 kWh per ton rPP verbruikt. Dit komt neer op ongeveer 0,009 kg CO₂-eq. per kg recycalaat (17 kWh/1.000 kg * 0,526 kg CO₂-eq. per kWh⁵). Vergeleken met het CO₂-kental van het recycleproces van rPP (0,4 kg CO₂-eq. per kg), is dit zo'n 2,3% (0,009/0,4) van het gemiddelde rPP-recycleproces.

Echt additionele groene stroom

Belangrijk bij het mogen meerekenen van groene stroom in een LCA is de vraag of de inkoop van groene stroom echt leidt tot additionele productie van groene stroom. In de huidige groenestroommarkt in Nederland is deze relatie maar beperkt. Collega's bij CE Delft, (2020) kwamen eerder tot de conclusie dat afhankelijk van de bron (wind, zon, biomassa) deze bijdrage lag tussen de 3 en 47% (gemiddeld circa 20%).

⁵ De grijze elektriciteitsmix in Nederland in 2019 is 73,4% aardgas 18,5% kolen, 4% blast furnace gas en 4% nucleair (CE Delft, 2022). Dit heeft een klimaatimpact van 0,146 kg CO₂-eq. per MJ of 0,526 kg CO₂-eq. per kWh. Voor Europa is de elektriciteitsmix gebaseerd op Ecoinvent-proces "Electricity, high voltage {Europe without Switzerland}| market group for" en voor wereldwijde elektriciteitswinning "Electricity, high voltage {GLO}| market group for". De klimaatimpact in Europa is 0,107 kg CO₂-eq. per MJ en wereldwijd 0,188 kg CO₂-eq. per MJ elektriciteit.

Voor 0,3 kWh is de CO₂-score 0,3 kWh * 3,6 MJ/kWh * 0,146 kg CO₂-eq./m³ = 0,16 kg CO₂-eq./m³.



Dit betekent dat het inkopen van groene stroom slechts een klimaatvoordeel van gemiddeld 20% heeft ten opzichte van grijze stroom. Voor 0,3 kWh per kg recycalaat wordt dat $80\% * 0,158 \text{ kg CO}_2\text{-eq.} = 0,126 \text{ kg CO}_2\text{-eq.}$ per kg recycalaat (Tabel 9).

Wel 100% additionele groene stroom komt van zonnepanelen op uw eigen dak of een windmolen geplaatst op uw eigen bedrijfsterrein. Zo kan het gebruik van zonnepanelen in Nederland tot 0,16 kg CO₂-eq. per kg recycalaat kan schelen, ten opzichte van een grijze energiemix (Tabel 9).

Tabel 9 - Verschillende CO₂-score voor een recycalaatproces afhankelijk van de opwekking van energie

Locatie	Kg CO ₂ -eq. voor gas ⁶	Kg CO ₂ -eq. voor elektriciteit ³	Totaal kg CO ₂ -eq. per kg recycalaat
Nederland, gemiddelde energiemix	0,071	0,158	0,23
Nederland, inkoop van groene stroom	0,071	0,126	0,20
Nederland, producent recycalaat heeft eigen elektriciteitsvoorziening	0,071	0	0,07
EU gemiddeld	0,073	0,116	0,19
Wereld gemiddeld	0,073	0,203	0,28

Waarden hier gegeven voor een fictief recycalaatproces waarbij 0,03 m³ gas en 0,3 kWh elektriciteit wordt gebruikt per kg recycalaat granulaat.

⁶ De emissies van de verbranding van aardgas zijn gebaseerd op Ecoinvent-proces "Electricity, medium voltage {NL}| natural gas, burned in gas turbine, for compressor station | Alloc Rec, U". De winning van aardgas is gebaseerd op de Ecoinvent processes "Natural gas, high pressure {NL}| market group for", "Natural gas, high pressure {Europe without Switzerland}| market group for" en "Natural gas, high pressure {GLO}| market group for". De totale klimaatimpact voor de verbranding van gas in Nederland is 2,35 kg CO₂-eq. per m³; in Europa 2,42 kg CO₂-eq. per m³ en voor de wereld 2,43 kg CO₂-eq. per m³.



4 Literatuur

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. *LCIs for production of recycled plastics (PP, PS, ABS) from WEEE plastics managed in France and regenerated in Europe*, Mâcon, Frankrijk: Ecosystem

Carbon Minds GmbH, 2021. *CM.CHEMICALS. A new Life Cycle Inventory (LCI) database for environmental assessments of chemicals and plastics*. Cologne: Carbon Minds GmbH,.

CBS, 2021. *Bedrijfsafval; afvalsoort, verwerking, bedrijfstak (SBI 2008), 1994-2019*: CBS

CE Delft, 2016. *Handleiding Duurzaam Inkopen PVC-buizen*, Delft: CE Delft

CE Delft, 2020. *Inkoop groene stroom*, Delft: CE Delft

CE Delft, 2021a. *CO₂-reductie met circulaire kunststoffen in Nederland*, Delft: CE Delft

CE Delft, 2021b. *Klimaatimpact van afvalverwerkroutes in Nederland*, Delft: CE Delft

CE Delft, 2022. *Ketenemissies elektriciteit - Actualisatie elektriciteitsmix 2019*, Delft: CE Delft

Ecochain Technologies, 2020. *Post Consumer Regenerate (PCR) - Levenscyclus Analyse (LCA)*, Amsterdam: Ecochain Technologies B.V.

Ecoinvent.2021. *Ecoinvent database version 3.8* [Online] <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-8/#1610466712069-fcebe4bb-f802>.

Franklin Associates, 2011. *Life cycle inventory of 100% postconsumer HDPE and PET recycled resin from postconsumer containers and packaging*, Prairie Village, Kansas: ERG

Hedgehog Company, 2022a. *Environmental Product Declaration Moprylene granulate - Morssinkhof Plastics B.V.*: Hedgehog Company B.V.

Hedgehog Company, 2022b. *Environmental Product Declaration Mothylene granulate - Morssinkhof Plastics B.V.*: Hedgehog Company B.V.

I&W/EZK, 2018. *Transitieagenda Circulaire Economie Kunststoffen*, Nederland: I&W/EZK,

Ineos Styrolution.2021. *Measuring the carbon footprint of polystyrene recycling*, Ineos Styrolution Group GmbH

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/).

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>. 20-9-2022



Plastics Europe, 2020a. *Circular Economy for Plastics Netherlands 2020*, Brussel: Plastics Europe

Plastics Europe, 2020b. *Plastics - the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data*, Brussels: PlasticsEurope

Plastics Europe.2022. Eco-profiles for determining environmental impacts of plastics, Plastics Europe, <https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/life-cycle-thinking/eco-profiles-set/>.

Sphera Solution GmbH.2020. Process data set: Acrylonitrile-Butadiene-Styrene Granulate (ABS) <http://gabi-documentation-2021.gabi-software.com/xml-data/processes/bb14bc7e-9030-49c7-9217-f821f534474d.xml>.

Stichnothe, H. & Azapagic, A., 2013. Life cycle assessment of recycling PVC window frames. *Resources, Conservation and Recycling*, 71, 40-47.

Ye, L., Qi, C., Hong, J. & Ma, X., 2017. Life cycle assessment of polyvinyl chloride production and its recyclability in China. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2965-2972.



A Bijlage

A.1 Kunststof afval Nederland

Tabel 10 - Plastic afval in Nederland

Bedrijfsafval (kton) (CBS, 2021)	
Kunststof + rubber	156
Post-consumer waste (kton) (Plastics Europe, 2020a)	
packaging	630
building construction	76
agriculture	46
electrical electronic	63
automotive	41
houseware leisure sports	35
others	167
Plastic afval totaal	1.058

A.2 Vraag naar kunststoftypes in Europa

Tabel 11 - De Europese vraag naar kunststof per type kunststof in 2020

Type kunststof	Data Plastics Europe	Herschaald voor (L)LDPE, HDPE, PP, PVC en PET
(L)LDPE	17,4%	25,6%
HDPE	12,9%	19,0%
PP	19,7%	29,0%
PS, EPS	6,1%	
PVC	9,6%	14,1%
PET	8,4%	12,4%
PUR	7,8%	
other plastics	7,4%	
other thermoplastics	10,7%	
Total	100,0%	100,0%

Bron: (Plastics Europe, 2020b).

A.3 PET-data

Tabel 12 - Literatuurgegevens over CO₂-waarden van (r)PET gebruikt voor het berekenen van de kentallen

Bron	Regio	Recycled/ virgin	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Omschrijving
CE Delft, 2021b	NL	R	0,5	Bronscheiding (PMD, flessen)
	NL	R	0,2	Collecting + sorting from PMD (fles)
	NL	R	0,3	Recycling process (from deposit but is same as from bronscheiding fles)
	NL	R	0,6	Deposit system
	NL	R	0,3	Collecting + sorting from deposit system
	NL	R	0,3	Recycling process (from deposit but is same as from bronscheiding fles)
Packaging Europe Ltd., 2017	Oostenrijk	R	0,45	Collectie, sortering, transport, processing, granulating (entire recycling process)
Packaging Europe Ltd., 2017	Oostenrijk	V	2,15	
Plastics Europe, 2022	EU	V	2,2	Granulate bottle grade
Ecoinvent 3.8	EU	V	2,7	Polyethylene terephthalate, granulate, bottle grade {RER} production (excl. Transport)
Carbon Minds, 2021	NL	V	2,5	Cradle to gate (factory entrance gate), all relevant production steps (transport included)

A.4 PP-data

Tabel 13 - Literatuurgegevens over CO₂-waarden van (r)PP gebruikt voor het berekenen van de kentallen

Bron	Regio	Recycled of virgin	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Omschrijving
Bleu Safran, 2020	FR + EU	R	0,436	All the management phases from the collection of WEEE at collection points to the final regeneration of the rPP under granulate format, up to the point where the granulate is ready for transportation to the customer. Packaging of the granulate is not included.
CE Delft, 2021b	NL	R	0,7	PP-recycalaat verkregen via bronscheiding 2015 [NL].
CE Delft, 2021b	NL	R	0,3	Inzameling en sortering PP ingezameld via bronscheiding.
CE Delft, 2021b	NL	R	0,4	Productieproces PP-recycalaat, verkregen via bronscheiding, per ton input PP.
EPD Moprylene® (Hedgehog Company, 2022a)	NL	R	0,6	Cradle-to-gate. The declared life cycle stages contain all relevant upstream processes to the production site, as well as core production processes including material and energy inputs and related emissions.
Plastics Europe, 2022	EU	V	1,6	
Ecoinvent 3.8	EU	V	1,9	Alleen productie, geen transport. Data 2011, extrapolated to 2021 (business as usual model). Data collected from Plastics Europe members.
Carbon Minds, 2021	NL	V	1,5	Cradle to gate (factory entrance gate), all relevant production steps (transport included).



A.5 PE-data

A.5.1 HDPE-data

Tabel 14 - Literatuurgegevens over CO₂-waarden van (r)HDPE gebruikt voor het berekenen van de kentallen

Bron	Regio	Recycled/ virgin	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Omschrijving
Franklin Associates, 2011	USA	R	0,6	Cradle to grave. hier cut-off methode: alle burden voor virgin bij virgin blijft. Dus impact van gerecycled plastic heeft virgin er niet bij inzitten, wel collection sorting and reprocessing. IPCC2007.
CE Delft, 2021b	NL	R	0,6	HDPE recycleat verkregen via bronscheiding 2015 {NL}.
CE Delft, 2021b	NL	R	0,2	Inzamelen en sorteren van HDPE via bronscheiding 2015 {NL}.
CE Delft, 2021b	NL	R	0,4	Productieproces HDPE recycleat, verkregen via bronscheiding, per ton input HDPE.
EPD Mothylene (Hedgehog Company, 2022b)	NL	R	0,558	Cradle-to-gate. The declared life cycle stages contain all relevant upstream processes to the production site, as well as core production processes including material and energy inputs and related emissions.
Ecoinvent 3.8	EU no Sw	R	0,7	Polyethylene, high density, granulate, gerecycled {Europe without Switzerland}.
Carbon Minds, 2021	NL	V	1,8	Cradle to gate (factory entrance gate), all relevant production steps (transport included).
Plastics Europe, 2022	EU no Sw	V	1,8	

A.5.2 LDPE- en LLDPE-data

Tabel 15 - Literatuurgegevens over CO₂-waarden van (r)(L)LDPE gebruikt voor het berekenen van de kentallen

Bron	Regio	Recycled/ virgin	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Omschrijving
CE Delft, 2021b	NL	R	1,5	LDPE recycleat verkregen via bronscheiding 2015 {NL}.
CE Delft, 2021b	NL	R	0,3	Inzamelen en sorteren van LDPE uit bronscheiding 2015 {NL}.
CE Delft, 2021b	NL	R	1,1	Productieproces LDPE recycleat, verkregen via bronscheiding, per ton input LDPE.
Ecochain Technologies, 2020	BE	R	0,282	Post-consumer regenerate zijn gerecyclede afvalfolies. Cradle-to-factory-gate.
Plastics Europe, 2022	EU	V	1,9	LDPE granualte.
Carbon Minds, 2021	NL	V	2	LDPE, cradle to gate (factory entrance gate), all relevant production steps (transport included).
Plastics Europe, 2022	EU	V	1,8	LLDPE granualte.
Carbon Minds, 2021	NL	V	1,9	LLDPE, cradle to gate (factory entrance gate), all relevant production steps (transport included).



A.6 PS-data

Tabel 16 - Literatuurgegevens over CO₂-waarden van (r)PS gebruikt voor het berekenen van de kentallen

Bron	Regio	recycled of virgin	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Omschrijving
Ecoinvent 3.8	EU	V	3,5	Ecoinvent proces: Polystyrene, expandable {RER} production Cut-off, U. Data van ecoprofiles plastics europe. All processes from raw material extraction until delivery at plant.
Ecoinvent 3.8	EU	V	3,9	Ecoinvent proces: Polystyrene, extruded {RER} polystyrene production, extruded, CO2 blown Cut-off, U. Data van ecoprofiles plastics europe. All processes from raw material extraction until delivery at plant.
Ecoinvent 3.8	EU	V	26,3	Ecoinvent proces: Polystyrene, extruded {RER} polystyrene production, extruded, HFC-134a blown Cut-off, U. Data van ecoprofiles plastics europe. All processes from raw material extraction until delivery at plant.
Ecoinvent 3.8	EU	V	6,5	Ecoinvent proces: Polystyrene, extruded {RER} polystyrene production, extruded, HFC-152a blown Cut-off, U. Data van ecoprofiles plastics europe. All processes from raw material extraction until delivery at plant.
Ecoinvent 3.8	EU	V	3,7	Ecoinvent proces: Polystyrene, general purpose {RER} production Cut-off, U. Data van ecoprofiles plastics europe. All processes from raw material extraction until delivery at plant.
Ecoinvent 3.8	EU	V	3,6	Ecoinvent proces: Polystyrene, high impact {RER} production Cut-off, U. Data van ecoprofiles plastics europe. All processes from raw material extraction until delivery at plant.
Carbon Minds 2021	NL	V	2,9	High impact PS. Bulk polymerization. Cradle-to-gate.
Carbon Minds 2021	EU	V	2,6	High impact PS. Bulk polymerization. Cradle-to-gate.
Carbon Minds 2021	NL	V	2,8	GPPS (general purpose), pellets. Cradle-to-gate.
Carbon Minds 2021	EU	V	2,4	GPPS (general purpose), pellets. Cradle-to-gate.
Plastics Europe 2022	EU	V	2,3	GPPS (general purpose), pellets. Cradle-to-gate.
Plastics Europe 2022	EU	V	2,4	HIPS (high impact) pellets. Cradle-to-gate.
Plastics Europe 2022	EU	V	2,4	EPS (expanded PS) beads. Cradle-to-gate.
MBA Polymers UK Ltd, 2022	UK	R	0,6	Unpacked polymer, granulated. Cradle-to-gate. Starting from automotive shredder residue (all coming from vehicles), with transport, recycling and extrusion included.
Bleu Safran, 2020	FR	R	0,6	Cradle-to-gate. (All the management phases from the collection of WEEE at collection points to the final regeneration of the rPS under granulate format).
Ineos Styrolution, 2021	GE	R		No absolute value. 80% minder CO ₂ -eq. in vergelijking met virgin met verbranding. (total savings).
Axion Polymers, 2017	UK	R		No absolute value. 82,5% carbon saving for recycled HIPS. Post consumer recycled, pellets.



A.7 PVC-data

Tabel 17 - Literatuurgegevens over CO₂-waarden van (r)PVC gebruikt voor het berekenen van de kentallen

Bron	Regio	Recycled/ virgin	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Omschrijving
CE Delft, 2016	NL	R	2	Dit is voor PVC-buiseindproduct met 20% recycled, maar hier berekend alsof 100% recycled.
Stichnothe et al, 2013	UK	R	0,24	Windows recycled post consumer (white, granulatie van PVC en metaalverwijdering en ook kleur-sortering van granulaat).
Ye et al, 2016	China	R	0,6	Includes production from recycled granulate (PVC extruding and trimming).
Plastics Europe, 2022	EU	V	2,6	Emulsion.
Plastics Europe, 2022	EU	V	2,0	Suspension.
Carbon Minds, 2021	NL	V	3,1	Cradle to gate (factory entrance gate), all relevant production steps (transport included).
CE Delft, 2016	EU	V	3,7	Dit is voor PVC-buiseindproduct.
CE Delft, 2016	EU	V	4,4	Dit is voor PVC-buiseindproduct.
Ye et al, 2016	China	V	2,8	Includes polymerization, extruding, molding (start from ethylene).

A.8 ABS-data

Tabel 18 - Literatuurgegevens over CO₂-waarden van (r)ABS gebruikt voor het berekenen van de kentallen

Bron	Regio	recycled of virgin	kg CO ₂ -eq./ kg kunststof	Omschrijving
bage plastics, 2021	AU	R	0,59	Extraction and preprocessing of raw materials, sorting, extrusion and compounding, as well as the delivery of the product up to the customer's factory gate.
MBA Polymers UK Ltd, 2022	UK	R	0,425	Unpacked polymer, granulated. Cradle-to-gate. Starting from automotive shredder residue (all coming from vehicles), with transport, recycling and extrusion included.
Bleu Safran, 2020	FR	R	0,6	Cradle-to-gate. (All the management phases from the collection of WEEE at collection points to the final regeneration of the rABS under granulate format).
Axion Polymers, 2017	UK	R	0,4	Vershil 1 ton Axpoly ABS ipv virgin is 3380 kg CO ₂ of 89%. Post consumer recycled, pellets.
Axion Polymers, 2017	UK	V	3,8	Vershil 1 ton Axpoly ABS ipv virgin is 3380 kg CO ₂ of 89% Post consumer recycled, pellets.
Plastics Europe, 2022	EU	V	3,1	Granulate.



A.9 Verbranding kunststoffen in een Nederlandse AVI

Tabel 19 - Klimaatimpact van het verbranding van 1 kg virginkunststof in een afvalenergiecentrale in NL*

Kunststof	LHV** (MJ/kg)	Bron	Kg CO ₂ -eq./kg kunststof
HDPE	42,47	CE Delft 2021b	1,87
LDPE	42,47		1,87
PET	22,95		1,40
PP	32,78		1,64
PS	38,67		2,11
PVC	21,51		1,53
ABS	39,0	Sphera Solution GmbH, 2020	1,96

* Elektriciteits- en warmteopwekking zijn hierin al meegerekend voor een gemiddelde Nederlandse AVI met een thermisch rendement van 28% en een elektrisch rendement van 15% (CE Delft, 2021b).

** Lower heating value.