



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport

Chemische recycling van kunststoffen van voertuigen: Naar een veilige en circulaire economie



Naar een circulaire economie voor kunststoffen

Nederland heeft als doelstelling om in 2050 volledig circulair te zijn. Daarom is er bij beleidsmakers en de industrie veel aandacht voor kunststof en de recycling daarvan. Een voorbeeld is de nationale [‘Roadmap chemische recycling’](#).

Recycling van kunststof afvalstromen uit de ‘automotive’ sector (met name afgedankte auto’s) kan ook bijdragen aan de klimaatdoelstelling om CO₂-neutraal te worden. Kunststoffen worden veel toegepast in voertuigen. Alleen voor verpakkingen en in de bouw worden meer kunststoffen toegepast.

Het RIVM werkt aan de ontwikkeling van integrale beoordelingsmethoden voor het veilig en duurzaam hergebruiken van grondstoffen. Het gebruik van toekomstscenario’s en het doorrekenen van voor- en nadelen kan beleidsmakers en de industrie helpen om de verschillende opties voor recycling tegen elkaar af te wegen bij de transitie naar een veilige en circulaire economie. Aan de hand van deze verkennende studie over recycling van kunststoffen uit auto’s wordt geoefend met het toepassen van integrale beoordelingsmethoden. Ook blijkt welke gegevens nog nodig zijn om de analyse aan te scherpen.

Het doel van deze verkennende studie is om inzicht te geven in de voor- en nadelen van verwachte toekomstige recyclingmethoden van kunststoffen uit afgedankte Nederlandse voertuigen. We vergelijken een aantal mogelijke toekomstscenario’s voor de recycling van kunststofafvalstromen met de huidige afvalverwerkingsroute. We maken daarbij onderscheid tussen mechanische en chemische recyclingtechnologieën.

We verkennen de voor- en nadelen voor de **klimaatimpact** (als grove maat voor de milieu-impact), de **circulariteit** (materiaalbehoud) en het effect op de **aanwezigheid van zorgstoffen** van deze recyclingtechnieken. De vraag is in hoeverre de doelen voor circulariteit ook leiden tot het verminderen van de uitstoot van CO₂ en van landgebruik én wat recycling betekent voor de aanwezigheid van schadelijke stoffen (zorgstoffen) in onze economie. Worden tijdens de recycling deze ‘zorgstoffen’ vernietigd, of kunnen ze (deels) verwijderd worden (en daarna apart vernietigd)? Hoe scoren de recyclingprocessen als het gaat om circulariteit, dus het behoud van kunststoffen in de productiecycclus? De vraag is ook of doelen voor circulariteit en klimaatimpact leiden tot ongewenste neveneffecten (‘trade-offs’) voor mens en milieu. Aanwezigheid van chemische zorgstoffen in het kunststofafval kan leiden tot ongewenste blootstelling van mens en milieu als deze stoffen vrijkomen bij de verwerking of tijdens het gebruik van het gerecyclede materiaal.

Voor de uitgangspunten van de studie en achtergronden van de conclusies verwijzen we naar het [achtergrond-document](#).

Recyclingtechnologieën

Er zijn verschillende technologieën om afvalstromen met kunststoffen te recyclen. De eerste stap bij het recyclen is het scheiden van de verschillende typen polymeren. Daarna kunnen de verschillende polymeertypen mechanisch of chemisch verwerkt worden.

Mechanische recycling wordt nu al deels toegepast op de reststromen uit afgedankte auto’s. Dit bestaat uit het granuleren en omsmelten van kunststoffen voor de productie van nieuwe kunststoffen.

Bij **chemische recycling** worden de gescheiden polymeerfracties omgezet in nieuwe bouwstenen via chemische processen. Hiervoor zijn meerdere technieken beschikbaar, namelijk pyrolyse (selectief verbranden), depolymeriseren (opknippen tot monomeren of korte ketens), en oplossen (van polymeerketens en weer laten neerslaan). Met deze technologieën kan er meer kunststofafval gerecycled worden en hoeft er minder verbrand te worden. In de praktijk worden deze technieken nog niet toegepast voor kunststofafvalstromen afkomstig van afgedankte auto’s. Dit komt onder andere doordat deze technologie nog niet volwassen is en slechts toepasbaar voor een beperkt aantal polymeertypen. In de nationale [‘Roadmap chemische recycling’](#) is de doelstelling geformuleerd om de capaciteit voor chemische recycling op te schalen tot 500 kiloton in 2025 en 1000-1500 kiloton in 2030.

Zeer zorgwekkende stoffen (ZZS)

Een aantal kunststofafvalstromen uit auto’s kunnen zorgstoffen oftewel zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) bevatten die inmiddels niet meer toegestaan zijn. Oude auto’s bevatten ze echter nog wel. Het gaat hier bijvoorbeeld om bepaalde broomhoudende vlamvertragers en/of weekmakers.

Kunststofafvalstromen die veel niet meer toegelaten ZZS bevatten zijn niet geschikt voor mechanische recycling. Bij mechanische recycling vindt er namelijk geen zuivering van de kunststof plaats en blijven additieven, waaronder ZZS, in de herwonnen materialen aanwezig. Om deze kunststoffen veilig te kunnen recyclen, moeten de zorgstoffen eerst verwijderd worden. Ze voldoen dan aan de wetgeving (REACH, POP-verordening) en risico’s voor mens en milieu worden zo voorkomen. Het verwijderen van deze zorgstoffen kan mogelijk wel met chemische recycling. Dit hangt mede af van het type ZZS en het type chemische recycling.

Aanpak

Voor deze verkenning naar de mogelijkheden van automotieve kunststofrecycling is als eerste de Nederlandse situatie in kaart gebracht. Vervolgens zijn vijf mogelijke scenario's opgesteld. Deze scenario's zijn doorgerekend op klimaatimpact, circulariteit en de aanwezigheid van ZZS. De scenario's zijn naast elkaar gezet en met elkaar vergeleken op basis van de uitkomsten.

De Nederlandse situatie

De Nederlandse situatie van het recyclen van automotieve kunststoffen is in kaart gebracht aan de hand van interviews en literatuuronderzoek. De interviews zijn gehouden met stakeholders uit de chemische industrie en andere experts (zie achtergronddocument).

Hierbij zijn de volgende aspecten in kaart gebracht:

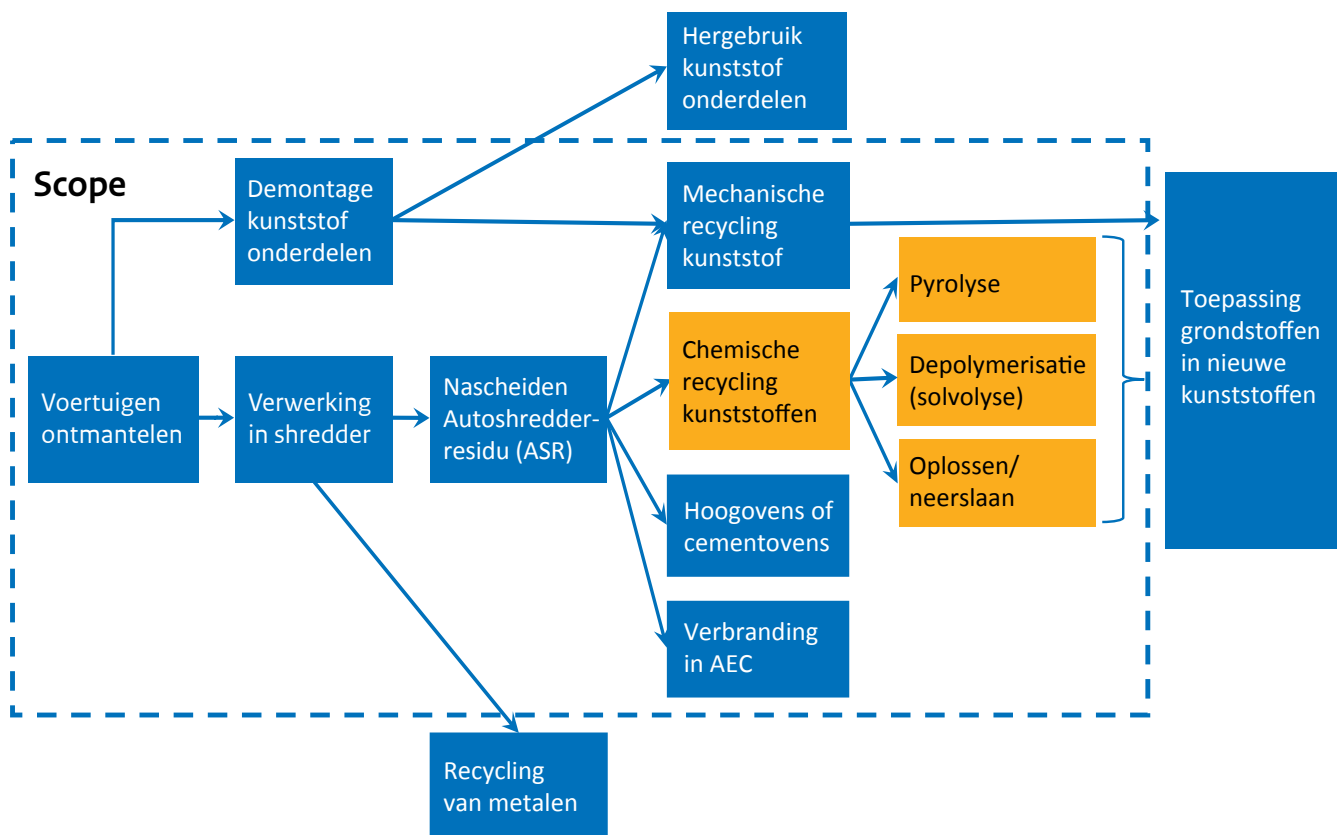
- de vrijkomende polymeertypen van kunststoffen afkomstig van afgedankte auto's;
- de omvang van de kunststofstromen;

- de huidige verwerkingsmethodes;
- ontwikkelingen op het vlak van chemische recycling;
- informatie over de aanwezigheid van zorgstoffen (ZZS).

Scope

Om mogelijke ontwikkelrichtingen voor recycling te verkennen, zijn naast de huidige verwerking vijf scenario's uitgewerkt voor 2030 (zie Figuur 1). Elk scenario gaat uit van een andere mix van recyclingtechnologieën: verbranding, mechanische recycling en chemische recycling (zie tekst kader).

Deze scenario's zetten vol in op de onderscheiden technieken, zodat de verschillen goed duidelijk worden. In werkelijkheid zal het waarschijnlijk gaan om een combinatie van de verschillende scenario's.



Figuur 1. Recyclingroutes van stoffen uit voertuigen in Nederland; huidige situatie in blauw; aanvullende toekomstige routes in geel. Binnen de gestippelde rechthoek de scope van deze verkenning.

Scenario's

Op basis van gesprekken met stakeholders zijn vijf scenario's uitgewerkt (zie Figuur 1 en Figuur 3 voor de bijdrage van elke technologie aan een scenario).

- **Scenario 0 'Huidig'**: Dit scenario is de huidige situatie. In figuur 1 is dit aangegeven in blauw. Het overgrote deel van de automotieve kunststofafvalstroom wordt verbrand. Een klein deel (15%) wordt mechanisch gerecycled.
- **Scenario A 'Verbranding'**: Dit scenario gaat uit van het volledig verbranden van de kunststofafvalstroom. In figuur 1 zijn dit de blauwe blokjes 'Hoogovens of cementovens' en Verbranding in AEC' (afvalenergiecentrale).
- **Scenario B 'Mechanisch'**: Dit scenario gaat uit van zoveel mogelijk mechanische kunststof recycling). De andere verwerkingstechnieken zullen ook in mindere mate worden toegepast.
- **Scenario C 'Pyrolyse'**: Dit scenario gaat uit van het toepassen van pyrolyse (selectief verbranden) als dat technisch mogelijk is. Het is een aanvulling op het deel dat met mechanische recycling wordt verwerkt (het gele blokje in figuur 1).
- **Scenario D 'Oplossen en depolymerisatie'**: Dit scenario gaat uit van een maximale inzet van beide chemische technologieën. Bij 'Oplossen' wordt de kunststof eerst opgelost in een oplosmiddel. Het oplosmiddel wordt vervolgens verdampt waarna er verschillende kunststoffracties overblijven. Bij 'Depolymerisatie' worden de lange polymeerketens 'opgeknip't in kleinere eenheden (gele blokjes in figuur 1).

Uit de literatuur en de stakeholderinterviews komt naar voren dat veel polymersoorten technisch gezien met nieuwe chemische recyclingmethoden te verwerken zijn. Voorwaarde is in veel gevallen wel dat ze vooraf goed gescheiden kunnen worden naar polymeertype, zodat er geschikte (mono)stromen ontstaan. Naar verwachting kunnen de recyclingpercentages stijgen ten opzichte van het huidige recyclingpercentage (15%), als deze technologieën voldoende grootschalig operationeel worden.

Scenario's vergelijken

We vergelijken de scenario's vanaf het punt in het proces waar de kunststofafvalstromen ingezameld en gesorteerd zijn. We gebruiken hiervoor het beoordelingsraamwerk 'safe and sustainable material loops' (SSML). Hiermee kunnen de scenario's vergeleken worden op milieu-impact, circulariteit en veiligheid voor mens en milieu. Voor de milieu-impact is als eerste benadering gekeken

naar de klimaatimpact en de impact op landgebruik. Voor circulariteit is als indicator het materiaalbehoud gekwantificeerd en voor de veiligheid voor mens en milieu is gekeken naar het vóórkomen en concentraties van ZZS ten opzichte van de wettelijke normen en de mogelijkheid deze te verwijderen. Er is niet gekeken naar de mogelijke milieu-impact van procesemissies van ZZS bij de recycling-technologieën of afvalstromen die daar ontstaan, omdat technologieën nog in ontwikkeling zijn en omdat deze studie een verkennend karakter heeft.

Bevindingen

Op basis van de gegevens uit de literatuur, uit de interviews met stakeholders en het vergelijken van de scenario's komen we tot de volgende bevindingen.

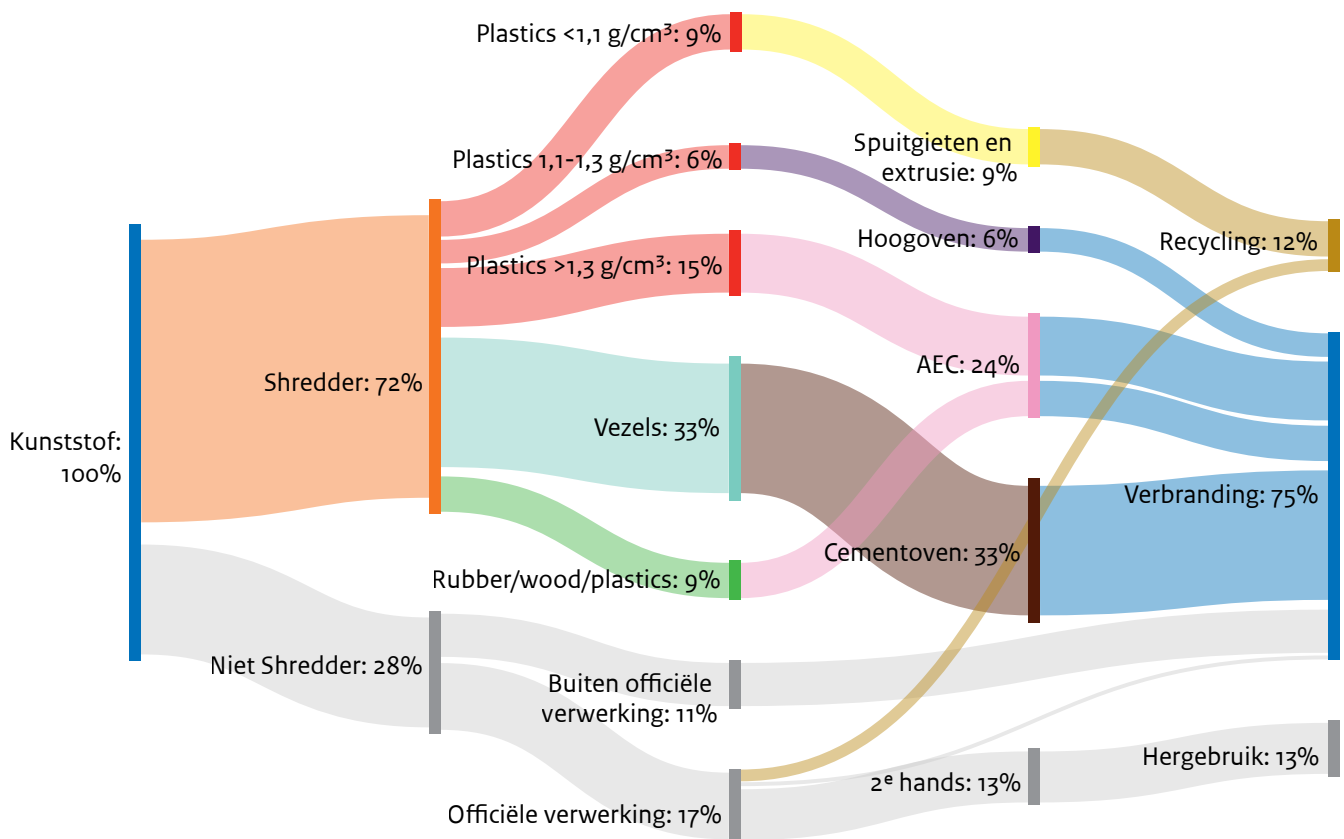
Bevinding 1: In Nederland wordt het grootste deel van de kunststof uit voertuigen centraal nagescheiden. Een kleine fractie daarvan wordt weer als kunststof ingezet.

Wanneer voertuigen worden afgedankt worden eerst vloeistoffen (bijvoorbeeld oliën) en makkelijk te verwijderen onderdelen (bijvoorbeeld motor, bumper) verwijderd. Vervolgens gaat het afgedankte voertuig door de shredder. De kunststoffen worden daarna gescheiden van de andere materiaalstromen (vooral metalen) en in verschillende fracties verdeeld.

De hoeveelheid kunststof die in Nederland uit de shredders komt verschilt niet veel van jaar tot jaar. Daarom gaan we uit van de omvang in 2018 en veronderstellen dat dit ook de komende jaren zo blijft.

In 2018 kwam naar schatting 19,3 kton kunststof uit de shredders. Hiervan is 9,4 kton in drie aparte fracties gescheiden door middel van dichtheidsscheiding. De lichtste fractie (circa 15% van de geshredderde kunststof) is mechanisch gerecycled. De andere fracties met kunststoffen zijn verbrand in een afvalenergiecentrale (AEC) of in hoogovens of cementovens.

In de middelzware en zware kunststoffracties zijn zeer zorgwekkende stoffen (ZZS) aanwezig, zoals broomhoudende vlamvertragers. Daardoor is het zonder extra bewerking niet mogelijk deze materialen te gebruiken als grondstoffen voor een algemene toepassing in nieuwe producten.



Figuur 2. Verwerkingsroutes van kunststoffen uit de automotive industrie in Nederland in 2018; 100% is 26,8 kton (bewerking Leslie et al, ARN en Nexant)

Bevinding 2: Niet elk type kunststofafvalstroom is geschikt voor elke chemische recycling.

Welke chemische recyclingtechnologie kan worden ingezet voor welk type kunststof? Niet elk type kunststof kan namelijk met elke chemische techniek gerecycled worden. In Tabel 1 zijn alle soorten polymeren aangegeven die in auto's aanwezig zijn. Na mechanische recycling kunnen in principe alle kunststoffen die smelbaar zijn (thermoplasten) omgesmolten worden tot nieuwe producten. Voor polyurethaan (PU) lukt dat niet. Momenteel wordt 15% van de kunststofafvalstroom die de shredder ingaat mechanisch gerecycled.

Bij pyrolyse, een vorm van chemische recycling, worden de polymeren door verhitting tussen circa 300 en 600°C zonder zuurstof afgebroken in, met name, een olie en syngas (bestaand uit H₂, CO en CO₂), en een vast koolproduct (char). Pyrolyse is naar schatting geschikt voor 24% van de kunststofafvalstroom uit de automotive industrie die de shredder in gaat (PP, ABS, (HD)PE, PS en PMMA). Kunststoffen met veel stikstof (N) of zuurstof (O) in de polymeerketens (zoals polyamide) hebben een negatief effect op het pyrolyseproces.

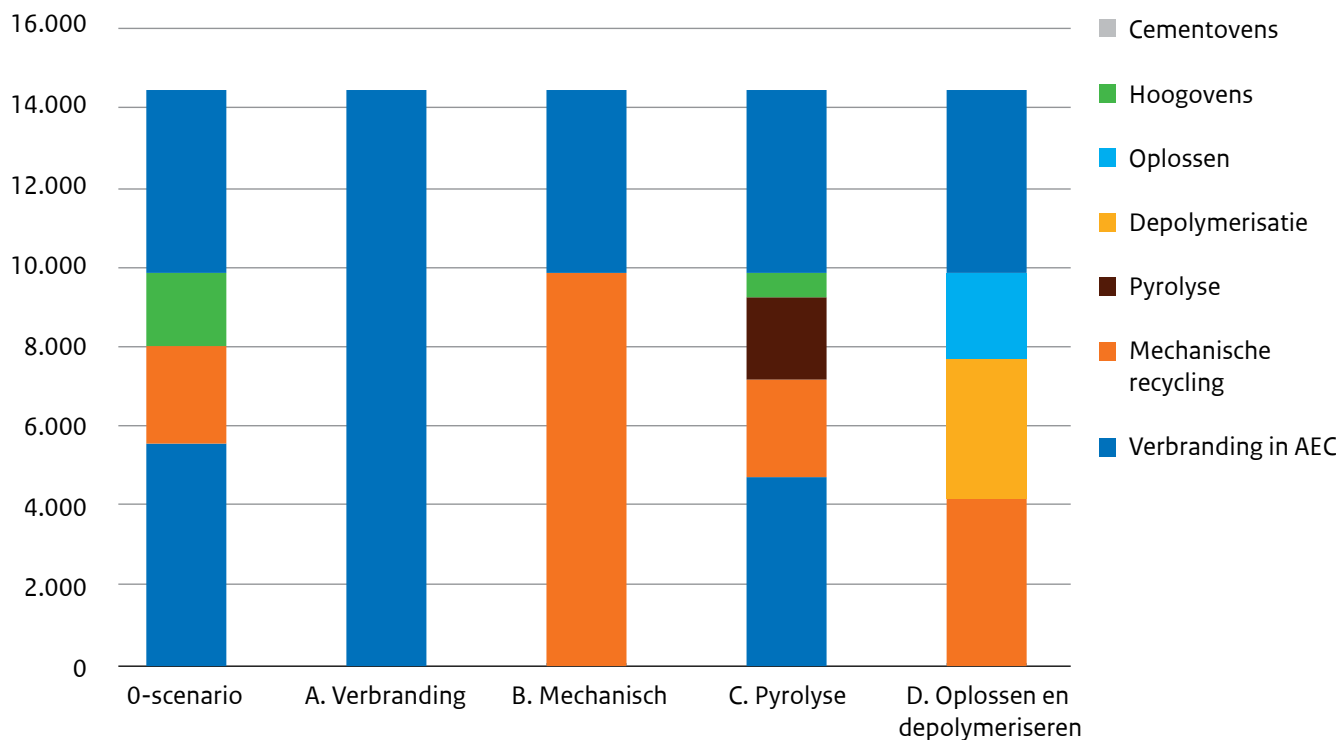
Als we kijken naar drie vormen van chemische recycling, (pyrolyse, depolymerisatie en oplossen/neerslaan), dan is de verwachting dat 28% tot 74% van de kunststof uit de automotive industrie (circa 19,3 kton) op termijn mogelijk te verwerken is met deze drie technieken. Vooral voor PU,

PVC en POM is het nog onzeker of dit mogelijk wordt, zie Tabel 1. Figuur 3 geeft aan hoe op basis van de scenario's en de technische mogelijkheden de kunststoffen zijn verdeeld over de verwerkingstechnologieën.

Tabel 1. Combinaties van type kunststof en verwerkingstechnologie die technisch mogelijk zijn. Gebaseerd op literatuur en gesprekken met stakeholders (groen is mogelijk, rood is niet mogelijk; laagwaardig betekent dat momenteel niet dezelfde kwaliteit als 'virgin' wordt gehaald; onzeker betekent dat er wisselende informatie of opinies zijn).

Polymeernaam	% kunststof uit shredder	Mechanisch	Pyrolyse	Depolymerisatie	Oplossen / Neerslaan
PU, polyurethaan	24%	Nee	Nee	Laagwaardig	Nee
PA (nylon of polyamide 6)	14%	Ja	Niet bruikbare kunststof	Ja	Onzeker
PP (+talk) (polypropyleen)	12,4%	Ja	Ja	Nee	Ja
PVC (polyvinylchloride)	5,8%	Ja	Nee	Nee	Onzeker
ABS (acrylonitril-butadiëen-styreen)	5,6%	Ja	Ja	Onzeker	Ja
(HD)PE (polyethyleen)	3,1%	Ja	Ja	Nee	Ja
PC (polycarbonaat)	2,8%	Ja	Nee	Ja	Nee
POM (polyacetaal of polyoxymethyleen)	2,6%	Ja	Nee	Laagwaardig	Nee
PS (polystyreen)	2,3%	Ja	Ja	Nee	Ja
PET/PBT (polyethyleen-tereftalaat / polybutyleentereftalaat)	1,8%	Ja	Nee	Ja	Nee
PEEK (polyether-etherketon)	0,4%	Ja	Nee	Nee	Nee
PPE's (polyfenylethers)	0,2%	Ja	Nee	Nee	Nee
PMMA (polymethyl-methacrylaat)	0,1%	Ja	Ja	Nee	Nee
Bakeliet	0,1%	Nee	Nee	Nee	Nee

Verwerking kunststof per scenario (in tonnen)



Figuur 3. Verwerking van automotive kunststof (in tonnen per jaar) zoals per scenario is bepaald, met de aanname dat de verwerkingstechnologie beschikbaar is in 2030.

Bevinding 3: Er zijn nieuwe prikkels nodig om recycling van kunststoffen uit de automotive sector te innoveren.

Met informatie uit de literatuur en van stakeholders zijn scenario's beschreven die technisch waarschijnlijk mogelijk zijn op basis van het polymeertype (zie Figuur 3). Voor alle genoemde verwerkingsmethoden is technologieontwikkeling nodig omdat kunststoffen niet voor 100% zuiver nagescheiden kunnen worden. Het pyrolysescenario (scenario C) sluit aan op de bestaande ontwikkeling van pyrolyse van verpakkingsplastics. Voor depolymerisatie en voor oplossen/neerslaan is nog technologieontwikkeling nodig om goed om te kunnen gaan met 'post-consumer'-afvalstromen.

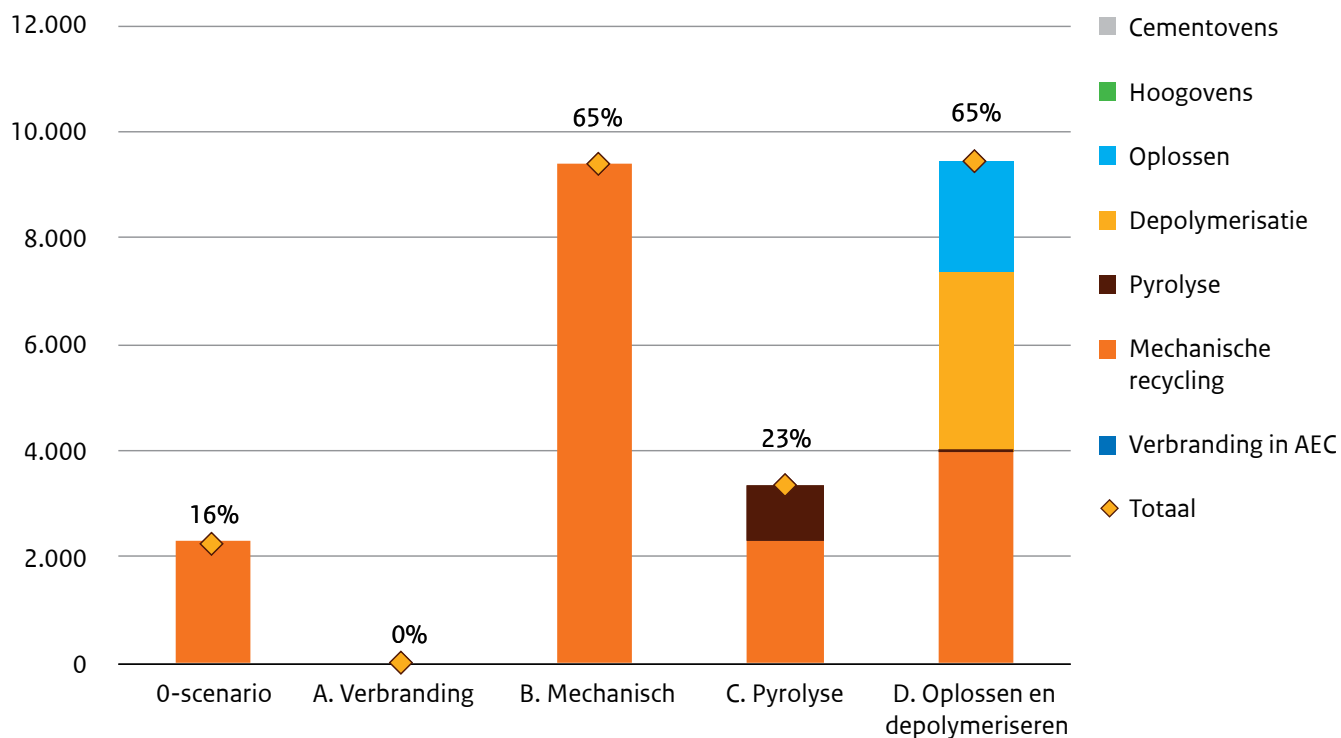
Er zijn verschillende prikkels nodig om ervoor te zorgen dat minder kunststof uit auto's wordt verbrand en meer wordt gerecycled of als product hergebruikt, zowel wettelijk als economisch. Denk hierbij aan minimale recyclingspercentages van afgedankte kunststof uit auto's en een minimale hoeveelheid recycalaat die toegepast moet worden in nieuwe auto's. Ook moet er nagedacht worden over het financieren van innovaties en hoe ervoor te zorgen dat het lonend is. Hiermee kunnen barrières mogelijk weggenomen worden.

Bevinding 4: De circulariteit kan sterk verhoogd worden met chemische recycling.

Als er meer kunststof afval gerecycled wordt (mechanisch of chemisch) blijft er meer materiaal behouden in de economie: het materiaalbehoud neemt dan toe van zo'n 15% nu tot maximaal 65% (bij scenario D 'oplossen en depolymerisatie'). Een percentage van 100% is in 2030 niet haalbaar, omdat wordt verwacht dat een deel van het kunststofafval (van de vezelfractie) alleen in cementovens als brandstof toegepast kan blijven worden. Bovendien zijn er zowel bij chemische als mechanische recycling materiaalverliezen. Zo is bij pyrolyse het verlies van materiaal ongeveer 50%.

Bij mechanische recycling kan het materiaal maar een beperkt aantal cycli doorlopen waarna het moet worden afgedankt.

Materiaalbehoud [in tonnen] en [%]



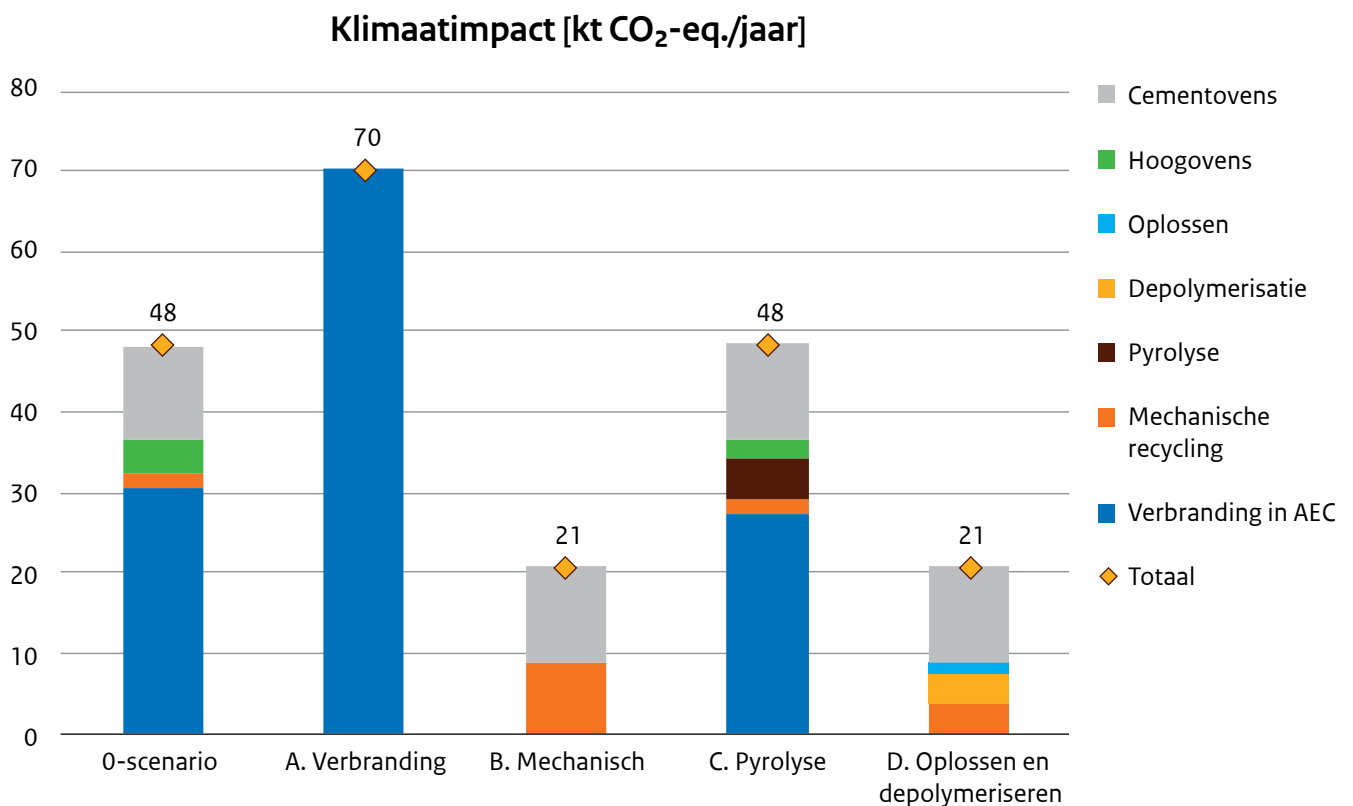
Figuur 4. Verwacht materiaalbehoud voor gerecyclede kunststoffen voor vijf scenario's (in tonnen per jaar en als percentage van de totale hoeveelheid automotive kunststof)

Bevinding 5: Innovatie van de verwerking van kunststoffen uit de automotive sector kan leiden tot een halvering van de klimaatimpact ervan.

De maximale klimaatwinst van het recyclen van 14,4 kton kunststof afval uit de automotive industrie ten opzichte van de huidige situatie wordt geschat op circa 25 kton CO₂-equivalent/jaar. Deze winst kan worden behaald volgens scenario B 'Mechanisch' en scenario D 'Oplossen en depolymerisatie' (zie Figuur 5).

In scenario C 'Pyrolyse' is de klimaatimpact gelijk tot iets lager dan in de huidige situatie, omdat kunststoffen die niet geschikt zijn voor pyrolyse een flink deel uitmaken van het totaal en nog steeds verbrand worden in een afvalenergiecentrale (zie Figuur 3).

NB De klimaatwinst is een grove schatting op basis van de huidige kennis over nieuwe recyclingtechnieken. Hierbij is aangenomen dat de verschillende kunststofsoorten goed gesorteerd kunnen worden en dat de mogelijke aanwezigheid van zorgstoffen geen problemen oplevert.



Figuur 5. Klimaatimpact voor de vijf scenario's (in kiloton CO₂-equivalent)

Bevinding 6: Chemische recycling heeft de potentie om schadelijke stoffen uit kunststoffen te halen, wanneer deze niet veilig mechanisch gerecycled kunnen worden.

In kunststoffen van voertuigen kunnen verschillende schadelijke chemische stoffen zitten. Dit kunnen stoffen zijn die inmiddels verboden zijn in nieuwe auto's: zogenaamde 'legacy'-stoffen. Een aantal gebromeerde brandvertragers hoort daarbij (zie Tabel 2).

Op basis van een verkenning van openbaar beschikbare gegevens blijkt er beperkte informatie beschikbaar over welke stoffen in de kunststofstromen van voertuigen aanwezig zijn en in welke concentraties. Hierdoor zijn er te weinig data om uit te rekenen of deze stoffen mogelijk risico's kunnen opleveren door potentiële emissies wanneer ze chemisch gerecycled worden of wanneer ze in nieuwe producten terechtkomen.

Bij mechanisch recycelen blijven de zorgstoffen in de materialen aanwezig. Als de concentraties van de zorgstoffen in de nieuw gemaakte producten voldoen aan de wettelijke normen (REACH of POP-verordening), hoeft dit geen risico's op te leveren. Op dit moment geldt dit voor de lichte fracties uit de shredder met vooral PP, HDPE en ABS. Voor de middelzware en zware fractie geldt dit niet. Daarin zijn broomgehalten van meer dan 2000 mg/kg gemeten. Voor de afzonderlijke polymeren zijn geen gehalten van broom bekend. Aangezien een aantal gebromeerde brandvertragers al meerdere jaren verboden is zal de concentratie daarvan in de automotive plastics in de toekomst afnemen. Wel is het mogelijk dat er weer nieuwe stoffen verboden worden of als schadelijk worden aangemerkt.

Chemische recyclingstechnieken zoals depolymerisatie en oplossen bieden mogelijkheden om deze zorgstoffen te verwijderen uit de kunststofpolymeren. Er is echter nog onvoldoende onderzoek gedaan naar de impact van zorgstoffen op het proces en de risico's van emissies van additieven en bijproducten.

Tabel 2. Lot van bekende chemische zorgstoffen in een aantal polymeren (excl. autobanden) bij verwerkingstechnologieën die technisch mogelijk zijn. ++ = ZZS te verwijderen tot onder norm (groen); + = ZZS mogelijk te verwijderen tot onder norm (donkergeel); - = ZZS blijft aanwezig, afhankelijk van concentratie onder de norm (geel) of erboven (rood).

Polymeernaam	Mogelijk aanwezige ZZS in afvalstroom	Mechanisch	Pyrolyse	Depolymerisatie	Oplossen / Neerslaan
Polypropyleen (PP)	<ul style="list-style-type: none"> Ftalaten Gebromeerde brandvertragers Nonylfenolen 	-* ZZS niet verwijderd; nu onder de norm	+ Afhankelijk van proces		++
Polyurethaan (PU(R))	<ul style="list-style-type: none"> Ftalaten Gebromeerde brandvertragers Nonylfenolen Formamide en amines 				
nylon 6 (PA6)	<ul style="list-style-type: none"> Ftalaten Gebromeerde brandvertragers Nonylfenolen Formamide en amines 	- ZZS blijven aanwezig; onbekend / boven norm		+	
Polyethyleen (PE)	<ul style="list-style-type: none"> Gebromeerde brandvertragers (in elektronica) 	-* ZZS niet verwijderd, momenteel onder de norm	+ Afhankelijk van proces		++
ABS	<ul style="list-style-type: none"> Gebromeerde brandvertragers 	Lichte fractie: -* ZZS niet verwijderd; nu onder de norm	+ Afhankelijk van proces		++
		Zware fractie: - ZZS blijven aanwezig; onbekend / boven norm			
PVC	<ul style="list-style-type: none"> Ftalaten Lood Cadmium (nonyl)fenolen Gechloroerde koolwaterstoffen Formamide en amines 	- ZZS blijven aanwezig; onbekend / boven norm			
(HI)PS	<ul style="list-style-type: none"> Gebromeerde brandvertragers 	Lichte fractie: -* ZZS niet verwijderd; nu onder de norm	+ Afhankelijk van proces		++
		Zware fractie: - ZZS blijven aanwezig; onbekend / boven norm			
PBT	<ul style="list-style-type: none"> Gebromeerde brandvertragers 	- ZZS blijven aanwezig; onbekend / boven norm		++	

* dit wordt reeds gedaan – uitgangspunt is dat het recyclaat aan de geldende normen voldoet

Conclusies en aanbevelingen

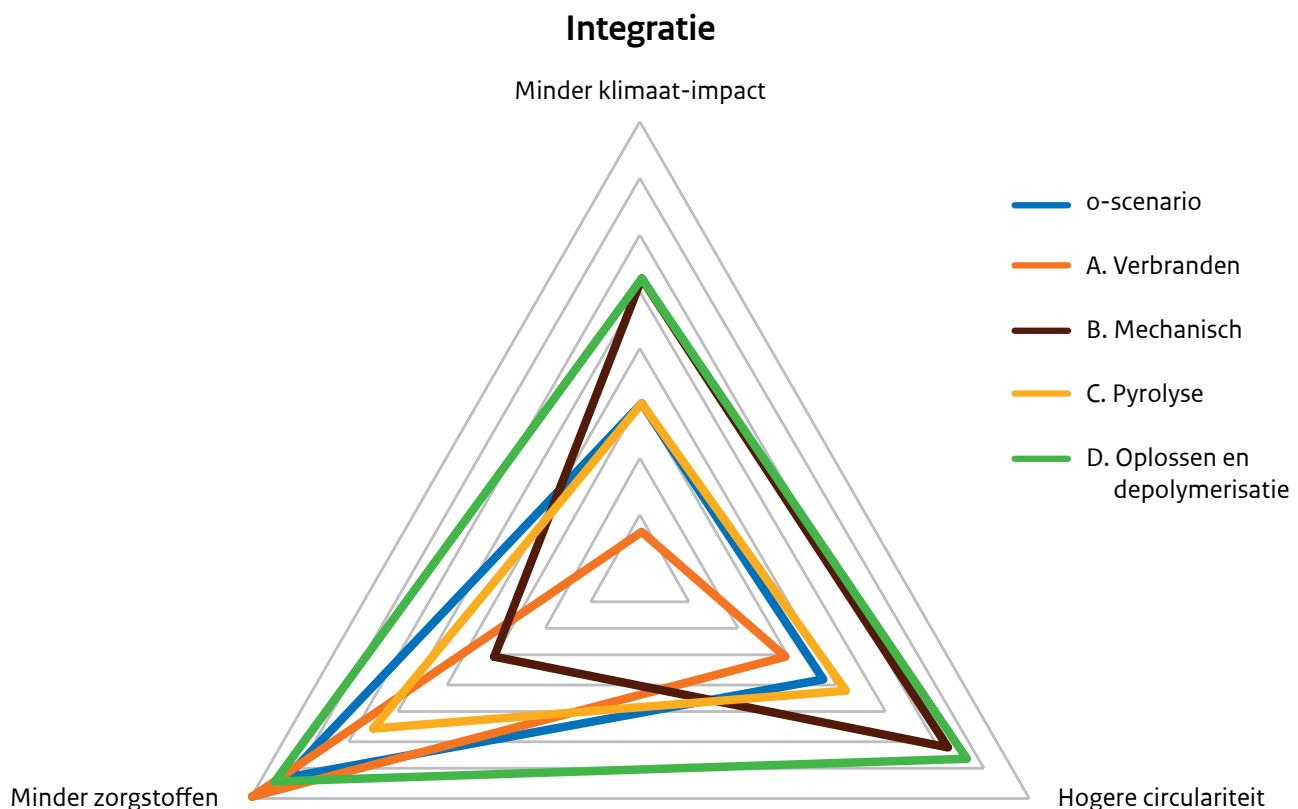
Op grond van de bevindingen trekken we twee samenvattende conclusies.

De chemische recyclingstechnieken verschillen flink van elkaar in hun bijdrage aan meer circulariteit, lagere klimaatimpact en verlaging van de concentratie zorgstoffen.

Wanneer we integraal kijken heeft chemische recycling de potentie om zorgstoffen uit kunststofstromen te verwijderen, om te besparen op grondstoffen én de klimaatimpact te verminderen (zie Figuur 6). Met 'oplossen' lijkt scheiding mogelijk van zorgstoffen en polymeren. Voor de technieken pyrolyse en depolymerisatie is er nog zeer beperkt kennis over de invloed van zorgstoffen op de recyclingprocessen en over wat er met deze stoffen gebeurt in de processen. Ook kunnen andere zorgstoffen gevormd worden tijdens de processen.

Scenario D 'Oplossen en depolymerisatie' heeft potentieel een lagere klimaatimpact dan scenario C waar ingezet wordt op pyrolyse (als aanvulling op mechanische recycling) aangezien pyrolyse energie-intensiever is. In scenario D kunnen ook andere typen kunststof (PA, PC, PET en mogelijk PVC) gerecycled worden.

Het is daarom aan te bevelen ook verwerking via oplossen en depolymerisatie verder te onderzoeken en te ontwikkelen voor de kunststoffen uit voertuigen. Daarnaast is er aandacht nodig voor het wegnemen van barrières voor verdere ontwikkeling van recycling van kunststoffen. Denk daarbij aan de complexiteit van het verwijderen van kunststoffen uit auto's en scheidingstechnieken voor kunststoffen uit auto's.



Figuur 6. Spiderdiagram met een integratie van de uitkomsten voor de vijf scenario's op de assen circulariteit, klimaatimpact en aanwezigheid zorgstoffen. Hoe hoger de waarde, des te beter de score van het scenario op elke as.

Scenarioanalyses stimuleren integraal denken over mogelijke positieve en negatieve effecten van een circulaire economie.

Scenarioanalyses in combinatie met duurzaamheids- en risicobeoordeling helpen om verder inzicht te krijgen in de reikwijdte van wat er mogelijk is met nieuwe verwerkingstechnieken en welke afwegingen op tafel liggen. In het spiderdiagram (zie Figuur 6) is weergegeven hoe verschillende scenario's op de drie hier onderzochte assen (klimaatimpact, circulariteit en zorgstoffen) scoren. Hogere waarden geven een betere score. Zichtbaar is bijvoorbeeld dat scenario D 'Oplossen en depolymerisatie' een hoge potentie heeft, de hoogste van alle scenario's, als we kijken naar de combinatie van vermindering van klimaatimpact en verwijdering van zorgstoffen.

We bevelen aan in de toekomst deze indicatoren ook op andere technologie-afval-combinaties toe te passen. Om de analyses aan te kunnen scherpen – is het belangrijk nog meer aandacht te hebben voor informatie over de aanwezigheid en het gedrag van zorgstoffen bij verwerking.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl

december 2022

De zorg voor morgen
begint vandaag