

Hoe plastic afval om te zetten in producten?

Introductie

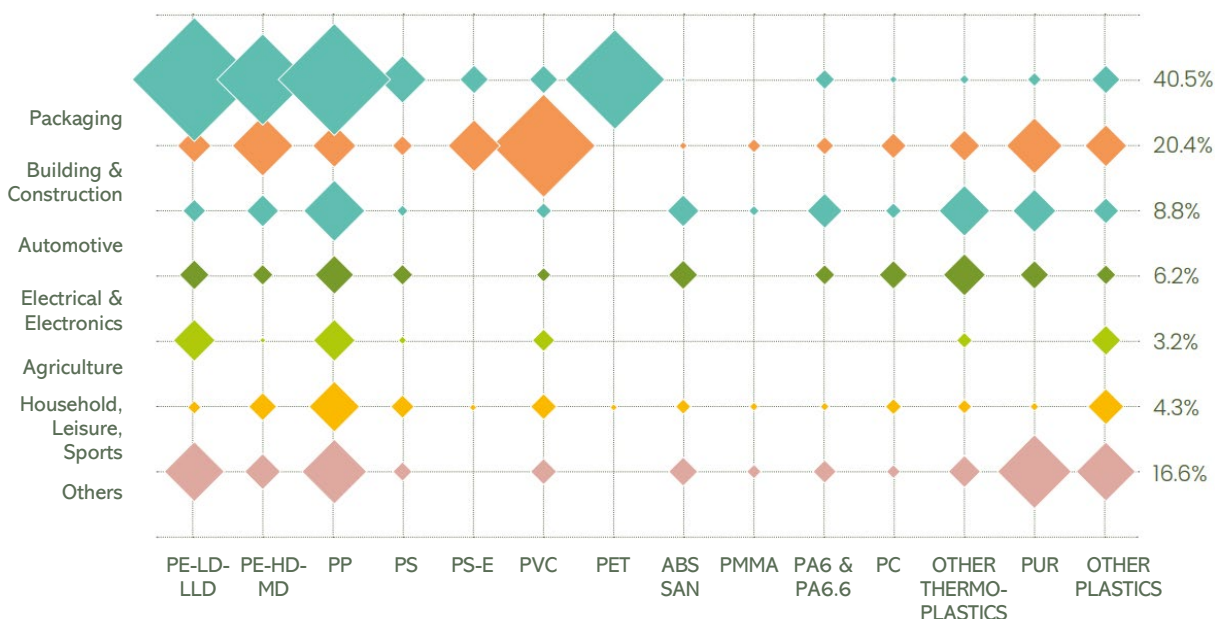
Plastic afval bestaat uit een breed scala aan materialen en komt uit verschillende segmenten van de economie. In Europa zijn er bijvoorbeeld zeven belangrijke economische activiteiten die plastic vereisen en daarom plastic afval produceren, vandaar dat het herwaarderen van plastic verschillende soorten plastic omvat en materiaalstromen sterk variëren. Deze hoofdactiviteiten zijn weergegeven in afbeelding 1.

Er zijn twee hoofdmethoden om plastic afval om te zetten in een geherwaardeerd materiaal voor de productie van nieuwe producten, de ene is door middel van een mechanische verwerking en de andere met behulp van chemische processen. Na de eerste fasen van het herwaarderingschema voor kunststof, d.w.z. na het terugwinnen van het materiaal uit een van de beschikbare bronnen, zijn mechanische en chemische verwerking de volgende stap om daadwerkelijk werkbare materialen te verkrijgen.

In deze kenniseenheid wordt een korte beschrijving gegeven van de samenstelling van kunststofafval, samen met een inleiding tot mechanische en chemische verwerking. Een meer gedetailleerde analyse van de samenstelling van plastic afval zal worden ontwikkeld in een andere kenniseenheid.

Start van het plastic herwaarderingsproces

Zoals eerder vermeld, kan een eerlijk beeld van de samenstelling van plastic afval worden verkregen door te kijken naar de plasticvraag naar nieuwe producten. Afbeelding 1 toont deze vraag gescheiden per economiesegment en per polymeertype.



Afbeelding 1. EU+3 plastic demand by segments and polymer 2020. Adapted from [1]

Zoals te zien is, overtreft het gebruik van plastic door de verpakkingindustrie de rest van de sectoren veruit de marge. Niet alleen hebben verpakkingen een kortere levenscyclus in vergelijking met de rest van plastic afvalsoorten, maar het is ook een van de moeilijkste soorten om te herwaarderen. Het brede scala aan containers en verpakkingen voor branding- en marketingdoeleinden vermindert herbruikbaarheid en recycleerbaarheid [2], afgezien daarvan zijn post-consumer (PC) plastics vaak verontreinigd met voedselresten en niet-recyclebare materialen. Daarom moet er goed afval worden ingezameld, getransporteerd en gesorteerd om grotere hoeveelheden PC-kunststoffen terug te winnen.

Het is belangrijk om te benadrukken dat de verschillende polymeren in figuur 1 verschillende waarden hebben als het gaat om herwaardering. Sommige polymeren zijn veel meer teruggewonnen dan andere, tarieven voor polyethyleentereftalaat (PET) en polyethyleen met hoge dichtheid (HDPE) overschrijden gewoonlijk 10%, terwijl die voor polystyreen (PS) en polypropyleen (PP) dichter bij nul liggen [3]. Afbeelding 2 toont enkele van de meest gebruikte kunststoffen op dit moment.



Afbeelding 2. Common plastic products-

Verwerkingsopties zijn vergelijkbaar voor zowel post-industrieel (PI) als pc-afval. Wanneer nieuwe grondstoffen worden verkregen via een mechanisch proces, leiden ze meestal tot granulaten, zoals die in figuur 3, en wanneer de chemische benadering wordt gebruikt, leidt dit meestal tot het verkrijgen van monomeerbouwstenen [4].

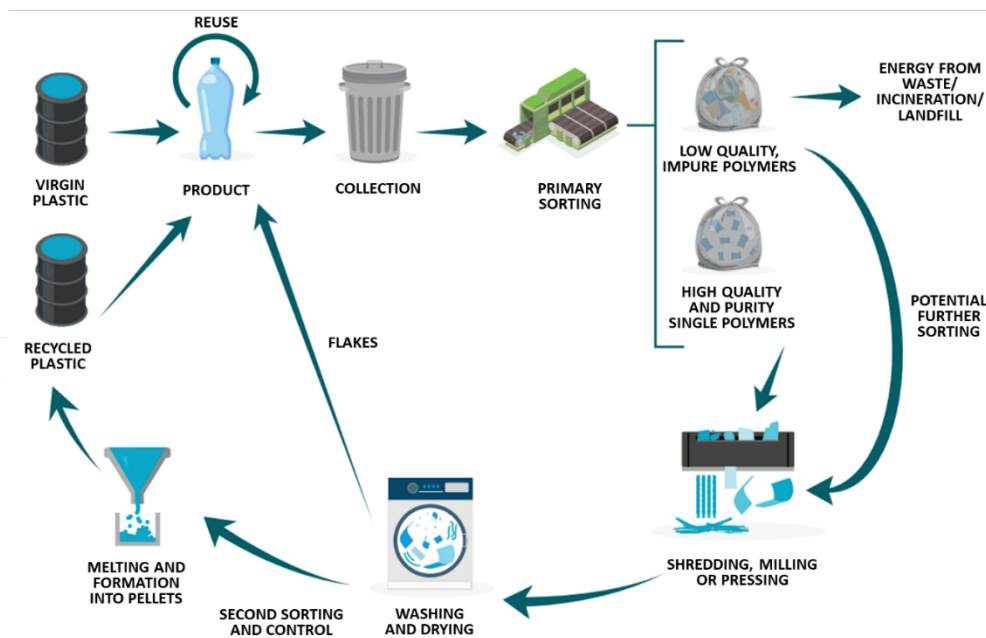


Afbeelding 3 Plastic pellets. Image from AdobeStock.

Mechanische processen van kunststofrecycling.

Mechanische terugwinning van plastic afval is de meest gebruikelijke methode voor recycling en de meest ontwikkelde markt met goed stabiele toeleveringsketens. Zoals uitgelegd door Plastics Europe [5], verloopt het proces zoals hieronder vermeld en weergegeven:

1. Inzameling: Inzameling van afgedankte kunststofproducten uit gescheiden en gemengde afvalstromen
2. Eerste sortering: Zodra plastic afval bij de recyclingfabriek aankomt, wordt het gesorteerd. Hoewel enige sortering kan hebben plaatsgevonden in de verzamel fase, kan verdere scheiding op kleur of dikte nodig zijn.
3. Versnipperen: Kunststoffen moeten in kleinere stukjes worden versnipperd voordat ze kunnen worden hergebruikt.
4. Wassen: Wassen verwijdert stof en vuil om ervoor te zorgen dat kunststoffen schoon zijn voordat ze naar de volgende fase gaan. Dit kan het verwijderen van sporen van voedsel, drank of etiketten omvatten.
5. Tweede sortering en controle: Kunststoffen worden opnieuw gesorteerd en gecontroleerd voordat ze naar extrusie worden verzonden.
6. Extrusie: Kunststofvlokken worden uiteindelijk omgezet in homogene pellets die klaar zijn voor gebruik bij de vervaardiging van nieuwe producten



Afbeelding 4 Diagram of the mechanical recycling system. Adapted from [6].

Zoals vermeld in de inleiding, is plastic afval afkomstig van industriële en consumenten oorsprong, waar PI-afval meestal beter wordt gescheiden op basis van samenstelling, dus sorteren wordt veel vaker toegepast op PC-afval dan op PI-afval. Hetzelfde geldt voor wassen, omdat pc-afval meestal meer vervuild is [4].

De meest ontwikkelde toeleveringsketens van mechanische recycling zijn die voor PET en PE (HDPE), dit komt omdat hun polymeerketen bij een relatief lage temperatuur afbreekt en er dus minder degradatie is tijdens het recyclingproces [7]. Niettemin kunnen in theorie alle thermoplasten mechanisch worden gerecycled met weinig of geen impact op de kwaliteit, de volgende lijst toont enkele van de meest voorkomende voorbeelden van thermoplasten [5].

- Acrylonitril butadiëen styreen (ABS)
- Polycarbonaat (PC)
- Polyethyleen (PE)
- Polyethyleentereftalaat (PET)
- Polytetrafluorethyleen (PTFE)
- Polyvinylchloride (PVC)
- Polymethylmethacrylaat (PMMA)
- Polypropyleen (PP)
- Polystyreen (PS)
- Geëxpandeerd polystyreen (EPS)

Voordelen en uitdagingen

Het grote voordeel van de mechanische recycling is dat het geschikt is voor een decentrale implementatie. Mechanische recyclinginstallaties zijn eenvoudig en goedkoop, hebben een relatief lage vraag naar energie en hulpbronnen in vergelijking met installaties die nodig zijn voor chemische recycling [8].

Mechanische recycling werkt het beste met homogene stromen kunststoffen. Volgens K. Ragaert et al. (2017) bemoeilijkt het gebruik van coatings en verven het proces. Bovendien, als verontreinigingen niet volledig oplosbaar zijn, kunnen ze fasescheiding induceren met een negatieve invloed op de mechanische eigenschappen [4].

Tijdens mechanische recycling van polymeren zijn twee soorten afbraak de belangrijkste:

1. Afbraak door opwerking (thermisch-mechanische afbraak)
2. Degradatie tijdens het leven.

Zowel PI- als PC-kunststofrecycling lijden onder degradatie veroorzaakt door een combinatie van hitte en mechanische afschuiving. Degradatie die optreedt tijdens de levensduur door de langdurige blootstelling aan allerlei factoren in het milieu (warmte, zuurstof, licht, vocht, enz.). Niettemin is dit soort afbraak alleen belangrijk in het geval van pc-kunststofrecycling [4].

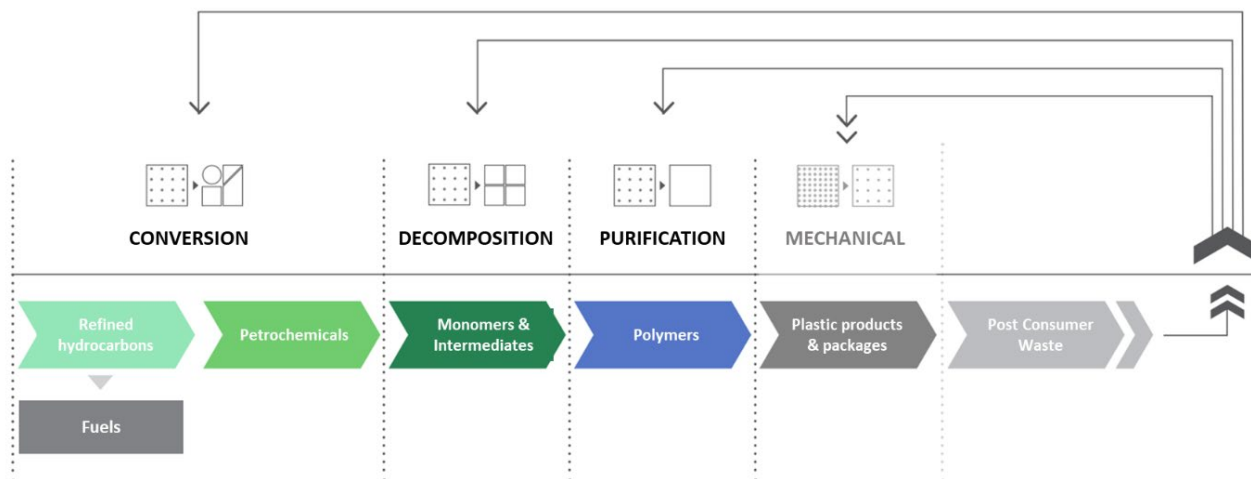
Chemische processen van plastic recycling.

Elke opwerkingstechnologie die de formulering van het polymere afval of het polymeer zelf beïnvloedt en omzet in chemische stoffen en/of producten, kan worden gedefinieerd als chemische recycling (met uitzondering van energierterugwinning). Chemische recycling biedt een haalbare optie voor kunststofafval dat ofwel meer verontreinigd is, ofwel gemengd en/of uit meerdere materialen bestaat [9].

Het is gebaseerd op het omzetten van de polymeren in kleinere moleculen. Chemische recyclingroutes kunnen grofweg worden onderverdeeld in thermochemische en katalytische omzettingprocessen [4]. Enkele van de technologieën die men kan vinden binnen deze paraplu van chemische recycling zijn [9]:

1. Depolymerisatie: richt zich meestal op monostromen die onafhankelijk zijn gesorteerd op kunststofsoorten, d.w.z. PET (inclusief vezels), polyamiden of nylon (PA), polyurethaan (PU), PMMA en polymelkzuur (PLA).
2. Pyrolyse en hydrothermale opwaardering: meestal gericht op gemengde polymeren, waaronder meerlagen, Multi materialen binnen gecontroleerde grenzen (LDPE, HDPE, PP, PS).
3. Vergassing: richt zich vooral op gemengde polymeren.

Een andere classificatie van het proces kan worden verkregen wanneer wordt gekeken naar de outputs van de technologieën. Mechanische recycling verandert de structuur van de polymeren niet. Zuivering houdt zich bezig met het gebruik van oplosmiddelen voor het verwijderen van additieven uit de polymeren, waardoor de polymeren vrijwel ongewijzigd blijven. Depolymerisatie (ontleding) breekt de lange koolwaterstofketens af in kortere koolwaterstoffracties of in monomeren met behulp van chemische, thermische of katalytische processen. Ten slotte brengen conversietechnologieën plastic materialen terug naar de basiscomponenten die te vinden zijn in de inputstroom van de petrochemische industrie [10]. Een grafische samenvatting is weergegeven in afbeelding 5.



In the illustration above, “Monomers” includes other intermediates, such as paraxylene. In the current landscape, these intermediates are often made from petrochemicals produced by the conversion process.

Afbeelding 5 Chemical technologies to revalue plastics waste. Adapted from [11].

Voordelen en uitdagingen

In tegenstelling tot de mechanische recycling is de kwaliteit van het recyclaat (de output van het recyclingproces) die aan het einde van de chemische recycling wordt bereikt, vergelijkbaar met de kwaliteit van nieuwe kunststofmaterialen [8].

Vanuit algemeen perspectief zijn de resultaten van de levenscyclusanalyse voor chemische recyclingprocessen positief. Chemische recycling heeft een lagere milieu-impact in vergelijking met verbranding tijdens energierugwinning; ook lager dan het maken van kunststoffen of speciale chemische producten uit fossiele bronnen. Het heeft echter meestal een hogere milieu-impact dan mechanische recycling, hoewel het varieert tussen technologieën en behandelde kunststofstromen [9].

Hieronder vindt u een vergelijkingstabel voor de voor- en nadelen van zowel mechanische als chemische recycling.

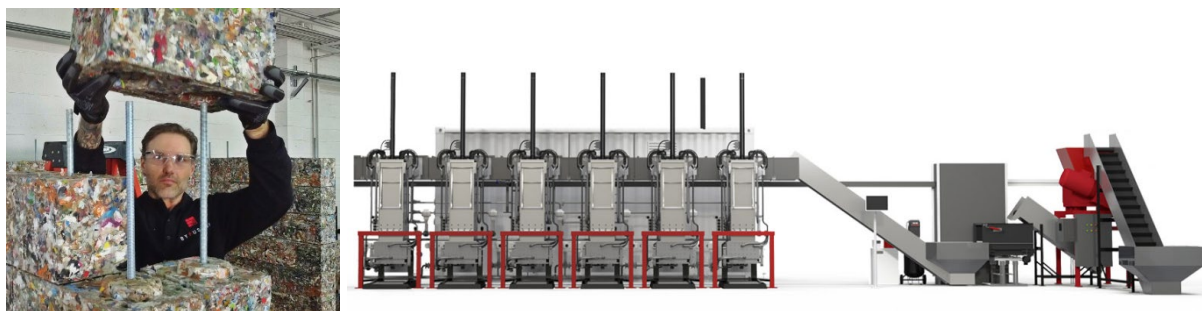
Eigenschap	Mechanische recycling	Chemical Recycling
<i>Technische eisen voor infrastructuur / processen</i>	Laag	Hoog
<i>Mogelijkheid tot decentrale verwerking</i>	Mogelijk	Momenteel technisch uitdagend en onrendabel
<i>Kwaliteitseisen voor inputstroom</i>	Hoog	Laag-gemiddeld
<i>Kwaliteit van het uitgangsmateriaal</i>	Afhankelijk van de kwaliteit van het invoermateriaal. Matige kwaliteitsverbetering met behulp van procesparameters en additieven is mogelijk, maar het is omgekeerd evenredig met de technische kosten	Zeer hoog
<i>Goedkeuring van de output door de voedselregelgeving</i>	In special cases possible	Hoog
<i>Mogelijkheid tot meervoudige recycling</i>	Bepert	Mogelijk
<i>Industriële volwassenheid</i>	Hoog	Afhankelijk van het proces, niet volledig volwassen

<i>Cost</i>	Laag	Hoog
<i>Environmental assessment</i>	Vanwege het gebrek aan gegevens over de gehele levensduur, inclusief meervoudige recycling, kwaliteitsverbeteringsstappen en toepassings specifiek gebruik van de teruggewonnen materialen, is een nauwkeurige vergelijking momenteel niet mogelijk. Hoewel wat het ecologische effect betreft, wordt verwacht dat mechanische recycling voordeliger zal zijn.	

Tabel1 Advantages and disadvantages of chemical vs mechanical recycling. Adapted from [8].

Casestudy's & Voorbeelden

In een puur mechanische recyclingbenadering [creëerde ByFusion](#) de ByBlock. Met behulp van alleen stoom (warmte) en compressie, hergebruikt het bedrijf zero-waste proces ongesorteerd gemengd plastic afval in ByBlock zonder secundaire additieven of vulstoffen. De ByBlock kan worden aangepast aan specifieke dichtheden, barst of brokkelt niet af zoals betonblokken, vereist geen lijm of lijmen, genereert 83% minder CO₂-uitstoot dan betonblokken en kan bouwrestmateriaal gebruiken om meer ByBlocks te creëren.



In Italië gebruikt [Ecoplasteam een](#) gepatenteerd proces om poly laminaten (plastic + metaallagen) uit pc-afvalstromen te behandelen om een nieuwe secundaire lijn van recyclebare materialen te creëren. Door het gebruik van mechanische recycling en enkele additieven te combineren, bedacht Ecoplasteam een nieuw materiaal dat wordt geproduceerd uit voedselverpakkingsafval. Wanneer PC-poly laminaten afkomstig zijn van vergelijkbare stromen, resulteert dit consistent in de loop van de tijd in termen van samenstelling en kenmerken. Hierdoor kan het nieuwe EcoAllene-materiaal® consistent en herhaalbaar zijn, waardoor hun klanten er op dezelfde manier mee kunnen werken als met grondstoffen. Enkele beelden van het proces en de toepassingen van het nieuwe materiaal worden hieronder getoond.



Automotive components



Packaging

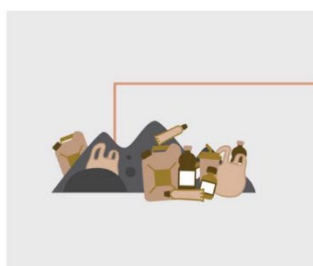


Furnishing and accessories

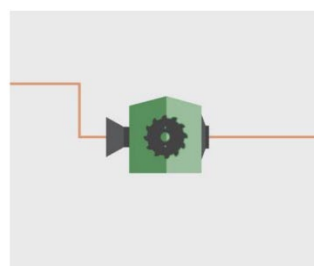
Makeen Energy company ging verder met chemische recycling en ontwikkelde de Plastcon-fabriek. Deze technologie maakt het mogelijk om onbehandeld en ongesorteerd plastic afval om te zetten in pyrolyseolie en andere grondstoffen die kunnen worden gebruikt voor de productie van nieuwe plastic materialen. Het systeem accepteert alle soorten plastic afval, geen uitzonderingen.

Afhankelijk van de specifieke opstelling en context kan het systeem ongeveer het volgende produceren:

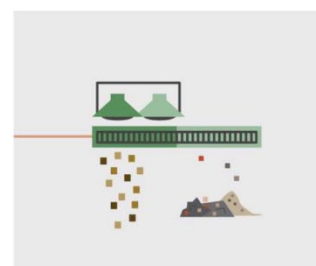
- 75% pyrolyse-olie, die kan worden gebruikt bij de productie van nieuwe plastic materialen.
- 15% gas dat kan worden gebruikt om stroom of warmte te produceren. De gasproductie bestaat uit een mix van methaan, ethaan en propaan.
- 10% carbon black die kan worden gebruikt om nieuwe plastic materialen te kleuren.



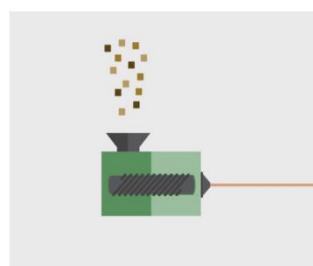
1. Plastic afval



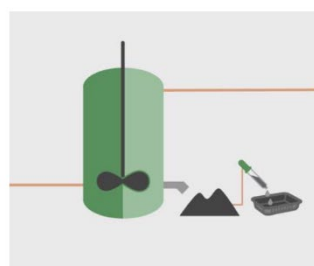
2. Versnipperaer



3. Sorteren



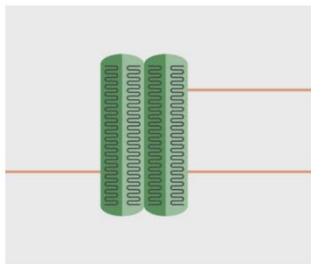
4. Verdichten



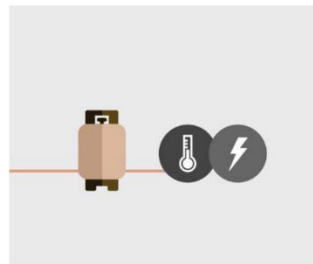
5. Pyrolyse



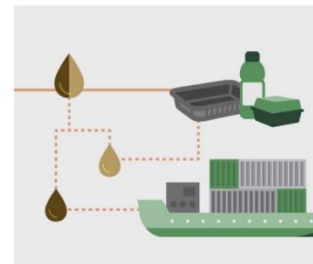
6. Carbon zwart



7. Condensatie



8. Gas



9. Pyrolyse-olie



Bronnen

Papers:

Chemical recycling and its CO2 reduction potential

<https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/04/Chemical-recycling-and-its-CO2-reduction-potential.pdf>

Chemical recycling explained: an overview

<https://pryme-cleantech.com/chemical-recycling>

What is Mechanical Recycling?

<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-mechanical-recycling>

Graphical content:

Plastics: The Facts 2021

https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf

Videos:

How does plastic recycling really work?

<https://www.youtube.com/watch?v=zO3jFKiqmHo&t=213s>

How to recycle the unrecyclable?

<https://www.youtube.com/watch?v=cPEDdrGDGr>

Other resources:

Precious Plastic Academy

<https://community.preciousplastic.com/academy/plastic/basics>

The Circular Economy for Plastics – A European Overview

<https://plasticseurope.org/knowledge-hub/the-circular-economy-for-plastics-a-european-overview-2/>

References:

- [1] "Plastics - the Facts 2021," Plastics Europe, 2021. Accessed: Feb. 16, 2023. [Online]. Available: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/AF-Plastics-the-facts-2021_250122.pdf
- [2] J. Hopewell, R. Dvorak, and E. Kosior, "Plastics recycling: challenges and opportunities," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 364, no. 1526, pp. 2115–2126, Jul. 2009, doi: 10.1098/rstb.2008.0311.
- [3] "Improving Plastics Management: Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade," OECD Environment Policy Papers 12, Sep. 2018. doi: 10.1787/c5f7c448-en.
- [4] K. Ragaert, L. Delva, and K. Van Geem, "Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste," *Waste Manag.*, vol. 69, pp. 24–58, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.07.044.
- [5] "Recycling technologies • Plastics Europe," *Plastics Europe*. <https://plasticseurope.org/sustainability/circularity/recycling/recycling-technologies/> (accessed Feb. 17, 2023).
- [6] Z. O. G. Schyns and M. P. Shaver, "Mechanical Recycling of Packaging Plastics: A Review," *Macromol. Rapid Commun.*, vol. 42, no. 3, p. 2000415, Feb. 2021, doi: 10.1002/marc.202000415.
- [7] "Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET or PETE)," *AZoCleantech.com*, Jul. 24, 2012. <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=254> (accessed Feb. 24, 2023).
- [8] M. Shamsuyeva and H.-J. Endres, "Plastics in the Context of the Circular Economy and Sustainable Plastics Recycling: Comprehensive Review on Research Development, Standardisation and Market," *Compos. Part C Open Access*, vol. 6, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.jcomc.2021.100168.
- [9] "About Chemical Recycling | Chemical Recycling Europe," *ChemRecEurope*. <https://www.chemicalrecyclingeurope.eu/copy-of-about-chemical-recycling-1> (accessed Feb. 17, 2023).
- [10] B. P. Federation, "Chemical Recycling 101," *British Plastics Federation*. <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/chemical-recycling-101.aspx> (accessed Feb. 17, 2023).
- [11] "Accelerating Circular Supply Chains for Plastics," Closed Loop Partners, 2021. Accessed: Feb. 17, 2023. [Online]. Available: https://www.closedlooppartners.com/wp-content/uploads/2021/01/CLP_Circular_Supply_Chains_for_Plastics_Updated.pdf