



## Technologien des werkstofflichen Recyclings in der Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe – eine kritische Bestandsaufnahme

### Dr. Gerald Altnau

CreaCycle GmbH, Auf der Artwick 74, D-41515 Grevenbroich  
[info@creacycle.de](mailto:info@creacycle.de), [www.creacycle.de](http://www.creacycle.de)

### Dipl.-Ing. Jörg Hamann

EPC Engineering & Technologies GmbH, Dr.-Bonnet-Weg 1, D-99310 Arnstadt  
[mail@epc.com](mailto:mail@epc.com), [www.epc.com](http://www.epc.com)

### Dipl.-Ing. José M. Dias Fonseca

LÖMI GmbH, Baumschulenweg 1, D-63762 Großostheim  
[sales@loemi.com](mailto:sales@loemi.com), [www.loemi.de](http://www.loemi.de)



Lösemittelbasiertes Recycling ist ein effektiver und effizienter Schlüssel zur stofflichen Wiederverwertung von fremd- und schadstoffbehafteten Kunststoffprodukten wie expandiertes Polystyrol aus der Anwendung am Bau; © PolyStyreneLoop (links), EPC (rechts)

Die Autoren beschreiben den Status quo des Kunststoff-Recyclings und bewerten die verfügbaren Verfahren hinsichtlich ihrer Schwächen, Stärken und Umweltverträglichkeit. Dabei legen Sie besonderen Wert auf die Definition und Positionierung des lösemittelbasierten Recyclings als physikalisches Verfahren, das die Lücke zwischen dem mechanischen und chemischen Recycling schließt. Speziell gehen sie auf den technisch und praktisch bewährten CreaSolv® Prozess ein, der unter anderem

zur Aufbereitung von schadstoffbelasteten Kunststoffen aus Anwendungen am Bau, in Verpackungen, Elektrik und Elektronik, etc. einen neuen Lösungsweg als Alternative zur Verbrennung bietet. Sie benennen Schwachpunkte hinsichtlich unpräziser, zu wenig differenzierter Definitionen in bestehenden Abfall-Richtlinien und formulieren darauf basierend Empfehlungen für das Erstellen spezifischer Richtlinien, die auch den Kunststoffen den Weg zu einer echten Kreislaufwirtschaft ebnen könnten.

# Technologien des werkstofflichen Recyclings in der Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe – eine kritische Bestandsaufnahme

Der eingeleitete Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft erfordert die weitere Steigerung des werkstofflichen Recyclings. Für den Bereich der Kunststoffe bedeutet dies, diese so aufzubereiten, dass die darin enthaltenen Polymere wiederverwendet werden können, um so einen wertvollen Beitrag zur Reduzierung der durch Kunststoffabfälle verursachten Umweltbelastung zu leisten.

Das Erreichen der Recyclingziele der EU-Strategie für Kunststoffe erfordert dabei neue, fortschrittliche Technologien. Diese müssen über die Grenzen des traditionellen mechanischen Recyclings hinausgehen, das heute hauptsächlich für die gemeldeten Recyclingquoten verantwortlich ist.

Der Fitness-Check der Abfall-Richtlinien der EU (2014) und der EASAC-Bericht „Packaging Plastics in a Circular Economy“<sup>1</sup> haben einen Bedarf für spezifischere Anforderungen und eine Anzahl systemischer Fehler im aktuellen linearen Wirtschaftsmodell für Kunststoffverpackungen festgestellt (z. B., dass das Recycling von minderwertigen gemischten Plastikabfällen unwirtschaftlich ist). Der Bericht betrachtet es als „essenziell, ein integriertes Recycling-System zu entwickeln, das in der Lage ist, alle Kunststoffabfälle zu verarbeiten, und gleichzeitig dabei die Emissionen und den Ressourcenverbrauch reduziert“<sup>1</sup>.

## Vergleichende Bewertung im Einklang mit den Naturwissenschaften erforderlich

Ein elementarer Schritt auf dem Weg in die Kreislaufwirtschaft ist die Bewertung aller aktuellen und innovativen Verwertungstechnologien in Kombination mit einer spezifischeren (genauerem) Definition des Begriffs „Recycling“. Diese muss

- Kunststoffe als *synthetischen Werkstoff* begreifen, der aus organischen Polymeren besteht, die aus fossilen oder anderen Ölen

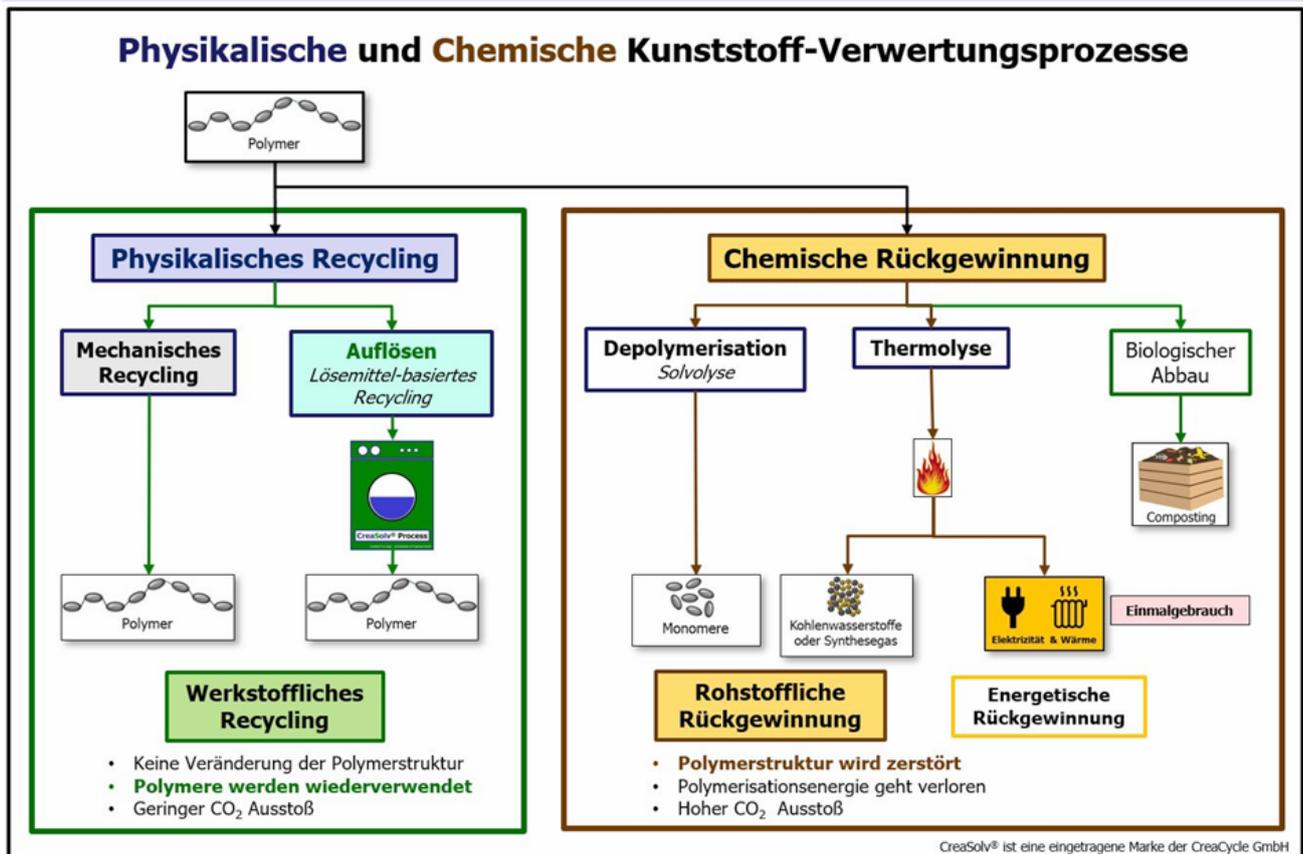
- hergestellt werden,
- im Einklang mit den Erkenntnissen der Physik und Chemie stehen,
- dem Konzept der Abfall-Hierarchie folgen (Reduzieren – Wiederverwenden – Recyceln),
- auf der Wertschöpfungskette für Kunststoffe basieren (*chemisches Element* -> *Zwischenprodukt* -> *Monomer* -> *Polymer* -> *Kunststoff*) und
- *werkstoffliches Recycling* (Polymer zu Polymer) als Vorbereitung zur Wiederverwendung der Polymerkomponente definieren.

Derzeit gilt in diesem Zusammenhang das *chemische Recycling* (Depolymerisation, Pyrolyse und Vergasung), das mittels chemischer Reaktionen als nicht recycelbar geltende Abfallströme verarbeiten kann, allgemein als einzige verfügbare Alternative zum mechanischen Recycling.

## Lösemittelbasiertes Recycling schließt die Lücke

Dieses Bild ist falsch und unvollständig, denn dabei bleibt das *physikalische Auflösen als Verfahren des werkstofflichen Recyclings* unberücksichtigt. Dieses Trennverfahren ist eine selektive Extraktion und basiert, ebenso wie das mechanische Recycling, auf physikalischen Prozessen. Es wird lediglich der Aggregatzustand (fest zu flüssig zu fest) verändert, nicht aber die Polymerstruktur, und die zur Polymerisation eingesetzte Energie bleibt erhalten. Im Gegensatz zu chemischen Prozessen, die die Polymerketten zerstören, so dass zum Schließen des Kreislaufs eine erneute Polymerisation erforderlich ist<sup>17</sup>, erlaubt physikalisches Auflösen die Wiederverwendung von Polymeren (**Bild 1**).

Das lösemittelbasierte Recycling beginnt mit dem Auflösen des nach Polymertyp sortierten Kunststoffabfalls. Es folgen das Filtrieren, um unlösliche Verunreinigungen zu entfernen, das Ausfällen des sauberen Polymers



**Bild 1.** Das mechanische und das lösemittelbasierte Recycling als physikalische Verfahren im Vergleich zur chemischen Rückgewinnung

(Trennung), das Trocknen und schließlich die Bereitstellung für die Extrusion zur Herstellung von Granulaten, mit denen dann neue Kunststoffartikel hergestellt werden können. Die dabei eingesetzten Lösemittel werden destilliert und wiederverwendet, die ausgeschleusten Verunreinigungen werden entsorgt (**Bild 2**).

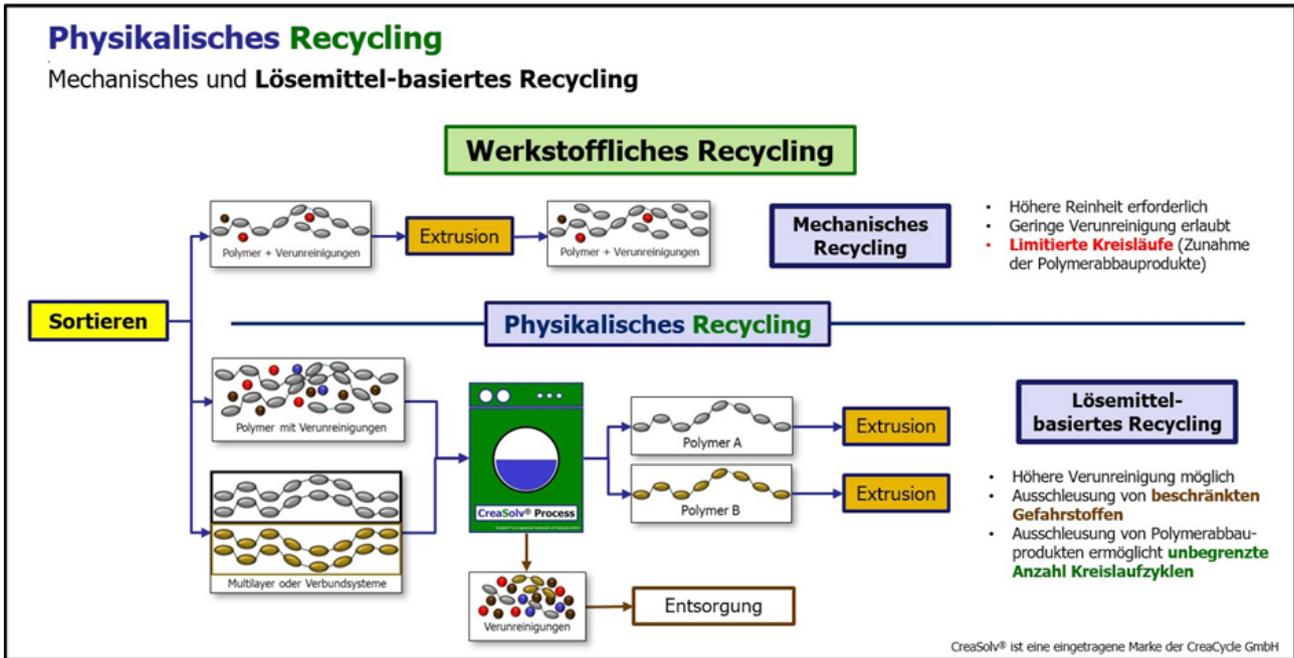
## Effektiv, effizient und richtlinienkonform

Lösemittelbasiertes Recycling erweist sich als effektive (wirksame) und effiziente (wirtschaftliche) Möglichkeit zur Wiederverwendung von Polymeren in Kunststoffabfallströmen, für die das mechanische Recycling aus unterschiedlichen Gründen nicht einsetzbar ist, denn es ermöglicht ein nahezu vollständiges Abtrennen von

- Additiven und eingeschränkt zugelassenen oder gefährlichen Stoffen, wie Flamm- schutzmittel, Weichmacher etc.,
- Abbauprodukten von Polymerketten, wie sie bei jeder thermischen Verarbeitung entstehen, um die Anzahl der möglichen Recycling-Zyklen zu erhöhen,
- anderen Polymeren aus Verbundmaterialien,

- wie Mehrschicht-Lamine für Verpackungen, und Metallen (Automobile / ELV und Elektro(nik)-Artikel / WEEE), sowie
- Karbon- und Glasfasern in verstärkten Kunststoffen (ELV, WEEE).

Das Auflösen erfüllt die *Recycling-Definition* der Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG (2018/851 EU) sowie der Richtlinie 2012/19 EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE), da die Kunststoffe wieder für den ursprünglichen oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Lösemittelbasiertes Recycling qualifiziert sich aber auch als *Vorbereitung zur Wiederverwendung*, denn es ist eine *Reinigung* der Polymerbestandteile von Kunststoffherzeugnissen als Voraussetzung für die Wiederverwendung (werkstoffliches Recycling, Polymer zu Polymer). Darüber hinaus erfüllt es die Definition der *stofflichen Verwertung* der Richtlinie 94/62 EG über Verpackungen (stoffliche Verwertung wird nur in Deutschland in der Verpackungsrichtlinie verwendet und ersetzt *recycling* im englischen Text) sowie die *Recycling-Definition* der Richtlinie 2000/53 EG über Altfahrzeuge, bei der Abfallmaterialien für den ursprünglichen oder für andere Zwecke aufbereitet werden (Polymer zu Polymer).



**Bild 2.** Vergleich des mechanischen und des lösemittelbasierten Recyclings als physikalische Verfahren

## Anerkannter Prozess

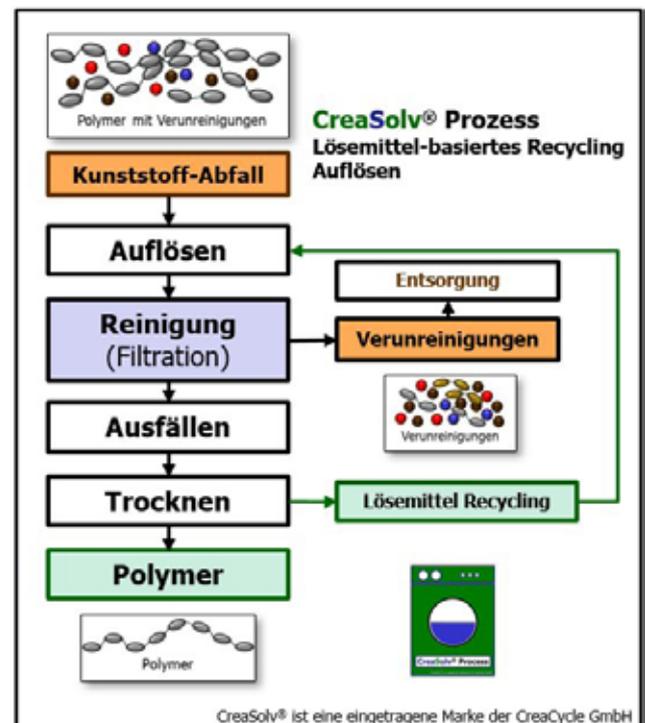
Ein technisch und praktisch bewährtes Verfahren des lösemittelbasierten Recyclings ist der von der CreaCycle GmbH und dem Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) gemeinsam entwickelte CreaSolv® Prozess (**Bild 3**). Hier kommen spezielle CreaSolv® Formulierungen zum Einsatz, die ein minimiertes Risikopotenzial für den Anwender und die Umwelt haben (d. h. idealerweise nicht kennzeichnungspflichtig nach GHS-Kriterien sind). Die Technologie funktioniert wie eine Waschmaschine für Polymerketten auf molekularer Ebene und wird unter <https://www.youtube.com/watch?v=43rqKlb-lsI8> anschaulich erklärt.

Mit Referenz zum CreaSolv® Prozess stuft das deutsche Umweltbundesamt (UBA) lösemittelbasierte Verfahren als werkstoffliches Recycling ein, weil diese auf physikalischen Prozessen basieren und die Polymerstruktur erhalten bleibt<sup>2</sup>. Sie fallen ebenfalls in die Kategorien c1 oder c2 der Abfall-Hierarchie des Niederländischen Abfallbewirtschaftungsplans (LAP3), da die Polymere als originale Werkstoffe wieder zurückgewonnen werden und damit zur Erfüllung der VANG-Ziele (Van Afval Naar Grondstof – Vom Abfall zum Grundstoff)<sup>3</sup> beitragen.

Speziell in Zusammenhang mit dem Recycling von flammgeschützten Polystyrolschaum-Abfällen aus dem Baubereich wurde 2017 das *Auflösen* mit dem CreaSolv® Prozess als

„beste verfügbare Technik“ (Best Available Technique, BAT) zum Abtrennen persistenter organischer Schadstoffe (persistent organic pollutants, POP)<sup>18</sup> in die *Technischen Richtlinien der Basler Konvention* aufgenommen.

2016 hat DEKRA eine Ökobilanz für den Vinyloop® Prozess<sup>4</sup> für PVC erstellt. Der TÜV Rheinland publizierte 2017 die Ökobilanz für den CreaSolv® Prozess für Bau-EPS



**Bild 3.** Lösemittelbasiertes Recycling am Beispiel des CreaSolv® Prozesses.

## Definition: Lösemittelbasiertes Recycling/Auflösen

Werkstoffliches Recycling von Kunststoffen oder Polymeren, bei dem anhaftende oder eingeschlossene Verunreinigungen, Schadstoffe oder Verbundmaterialien mit physikalischen Prozessen aufgelöst und abgetrennt werden, wobei nur der Aggregatzustand, nicht aber die Zusammensetzung der Polymere verändert wird, um sie erneut für den ursprünglichen oder einen anderen Zweck einsetzen zu können.

(PolyStyreneLoop)<sup>5</sup>. Beide zeigen einen um 40 bis 45 % niedrigeren CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Vergleich zur Verbrennung mit Energie-Rückgewinnung.

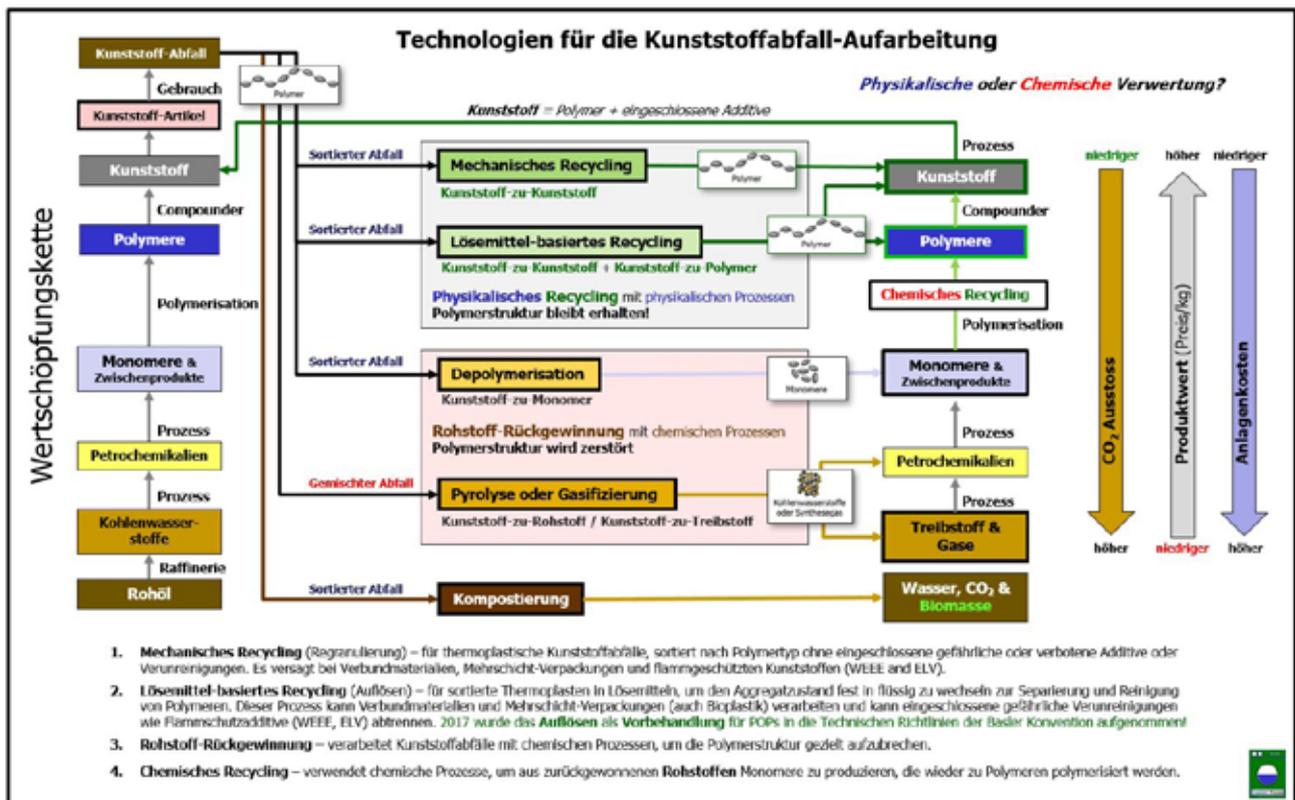
In einer effektiven Kreislaufwirtschaft hat die Wiederverwendung von Werkstoffen Vorrang. Sie orientiert sich darum an der Wertschöpfungskette und dem Umwelteinfluss verschiedener Verwertungsverfahren. **Bild 4** zeigt, welche Position und Funktion das lösemittelbasierte Recycling neben dem mechanischen Recycling und der rohstofflichen Rückgewinnung einnimmt.

## Unspezifische und widersprüchliche Anforderungen

Obwohl die technologischen Voraussetzungen bestehen, verhindern weiterhin unspezifische

und zum Teil widersprüchliche Anforderungen für das Kunststoff-Recycling eine effektive Kreislaufwirtschaft. Dies drückt sich unter anderem in den Recyclingquoten aus. Diese liegen aktuell bei über 70 % für Metall, Glas und Papier, während Kunststoff nur rund 30 % erreicht.

Eine funktionierende Kreislaufwirtschaft muss bestrebt sein, Werkstoffe (Materialien) zu erhalten und Erzeugnisse recyclinggerecht zu gestalten. Downcycling ist nur dann als Alternative zu akzeptieren, wenn keine bessere Lösung existiert. Darüber hinaus ist der Einsatz von Kunststoff-Rezyklaten zu bevorzugen, und es gilt, Randbedingungen zu schaffen, dass dies wettbewerbsfähig möglich ist. Leider sind die geltenden Vorgaben hier nicht immer zielführend.



**Bild 4.** Vergleich der aktuell verfügbaren Verfahren zur Aufbereitung von Kunststoffabfällen hinsichtlich Wertschöpfungskette, Umweltbelastung und Wert der Produkte

## **Historie des lösemittelbasierten Recyclings**

Lösemittelbasiertes Recycling ist schon lange bekannt und wird seit Jahrzehnten praktiziert. Billiges Deponieren, Verbrennen und Exportieren von Kunststoffabfällen nach Asien hat die Kommerzialisierung dieser Technologie aber bis heute begrenzt, verhindert oder beendet.

- 1996 – mit dem von Sony entwickelten System Orange R-net wurden in Tokyo Verpackungen aus expandiertem Polystyrol (EPS) in D-Limonen-Lösung gesammelt und wieder zu expandiertem PS für Verpackungen recycelt. Nach zirka 10 Jahren wurde das Projekt aus Kostengründen aufgegeben.
- 2002 – Solvay betreibt das über eine Kapazität von 10.000 t/a verfügende Vinyloop® Werk zum Recycling von Polyvinylchlorid (PVC) in Ferrara, Italien bis 2018. Dann wird das Werk geschlossen, weil der Prozess nicht dafür ausgelegt war, den ab 2018 verbotenen Weichmacher DEHP abzutrennen.
- 2011 – Polystyvert in Quebec, Kanada, sammelt Verpackungen aus Polystyrolschaum (EPS) in p-Cymol-Lösung (gehört wie D-Limonen zu den Terpenen) und recycelt es zu Polystyrol.
- 2018 – Unilever baut und betreibt ein Pilotwerk für den CreaSolv® Prozess mit einer Kapazität von 700 t/a zum Recyceln von Beutelverpackungsabfällen (multilayer sachets) in Indonesien – konstruiert von LOEMI.
- 2018 – APK betreibt ein Werk für den Newcycling® Prozess mit 8.000 t/a Kapazität für industrielle Polyethylen/Polyamid-Multilayer-Verpackungsabfälle in Merseburg, Deutschland.
- 2019 – PolyStyreneLoop baut ein Demonstrationswerk für den CreaSolv® Prozess mit 3.300 t/a Kapazität für das Recycling von Polystyrol-Isolierschaum aus dem Baubereich (EPS and XPS), der das verbotene Flammschutzadditiv HBCD enthält. Die Inbetriebnahme in Terneuzen, Niederlande, ist für das 2. Quartal 2021 geplant. Der Anlagenbau erfolgt durch die EPC Engineering & Technologies.
- 2020 – CreaSolv® Pilotanlage mit 700 t/a Kapazität für Multilayer-Kunststoffverpackungsabfälle von LÖMI in Bayern, Deutschland – Circular Packaging und MultiCycle Projekt.
- 2020 – PureCycle schließt die Finanzierung von 250 Millionen US-\$ ab und beginnt den Bau eines 48.000-t/a- Recyclingwerkes für Polypropylen in Ohio, USA.
- 2021 – CreaSolv® Pilotanlage mit einer Kapazität von 15-20 kg/h am Fraunhofer Institut IVV zum Recycling von PVC-Bodenbelägen (Circular Flooring Projekt) mit Ausschleusung von verbotenen Weichmachern (Phthalsäureestern). Die Inbetriebnahme ist für die 2. Hälfte 2021 geplant.

Metall:	anorganisches chemisches Element (Eisen, Kupfer, etc.) aus Mineralien
Glas:	anorganisches Molekül (Silikat) aus Mineralien (Sand)
Papier:	organisches Polymer (Zellulose) aus Pflanzen
Kunststoffe:	<b>synthetische</b> organische Polymere aus fossilen Brennstoffen oder Ölen

## ... Unterschiedliche Definitionen für Recycling in den EU Abfall-Richtlinien

- Die Abfallrahmen- und die Elektro(nik)-Altgeräte-Richtlinie unterscheiden nicht, ob Abfallmaterialien zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen aufbereitet werden. Sie enthalten die Definition *Vorbereitung zur Wiederverwendung*.
- Die Verpackungs- und die Altfahrzeug-Richtlinie definieren beide eine *Wiederaufbereitung der Abfallmaterialien für den ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke*. Während man bei den Altfahrzeugen von Recycling spricht, bezeichnet man in Deutschland bei der Verpackung die identische Verfahrensbeschreibung als *stoffliche Verwertung*. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung ist in keiner der beiden Richtlinien enthalten.
- Keine der Abfallrichtlinien enthält Definitionen für ein *Erzeugnis*, ein *Material*, einen *Stoff* oder einen *Bestandteil eines Erzeugnisses*.

## ... Keine klaren zielorientierten Richtlinien für Kunststoffrecycling durch Verwendung von Oberbegriffen

- Die chemische Industrie verkauft chemische Erzeugnisse der gesamten Wertschöpfungskette wie Kunststoffe (Polymer mit Additiven), Polymere, Monomere und Elemente. Produkt und Erzeugnis sind Synonyme.
- Kunststofferzeugnisse aus Verbundmaterialien/-werkstoffen bestehen aus einer oder mehreren Polymer-Komponenten, um die Produkteigenschaften den Anforderungen anzupassen (z.B. Flexibilität, Sauerstoff- und Wasserdampf-Barriere, Haftung usw.

bei Verpackungsfolien). Werkstoffe sind Materialien, die in Produktionsprozessen verarbeitet werden und in die Endprodukte eingehen.

- Polymere und Additive fallen unter REACH, wo Polymere, Monomere, Moleküle, und Elemente generell als Stoffe definiert sind.

## ... Fehlende Verwertungs-Hierarchie, zu geringe Differenzierung

Der EU fehlt eine Verwertungs-Hierarchie. Außerdem sind die aktuellen Abfall-Richtlinien für polymerbasierte Abfälle nicht differenziert genug, und sie berücksichtigen keine Bedingungen für wiederholtes Wiederverwenden von ein und demselben Material oder Werkstoff (Material- oder werkstoffliches Recycling von Polymeren). *Recycling* wird als allgemeiner Oberbegriff verwendet, der eine Wiederverwendung und Downcycling als gleichwertig definiert. Dadurch lassen sich zwar hohe Recyclingquoten durch Wiederverwendung für Metalle, Glas oder Papier erreichen, aber das sorgt für Konflikte bei Kunststoffen, da Wiederverwendung und Recycling zwei unterschiedliche Positionen in der Abfall-Hierarchie einnehmen (**Bild 5**).

## ... Keine Unterscheidung zwischen physikalischen und chemischen Verwertungsverfahren

Industrieberater, Interessensverbände und Umweltorganisation verwechseln immer wieder physikalische und chemische Prozesse zum Recycling von Kunststoffen, und sie bezeichnen lösemittelbasiertes Recycling fälschlich als chemisches Recycling<sup>6-15</sup>. Tatsächlich hat das deutsche Umweltbundesamt (UBA) aber in seinem Hintergrundpapier

	Recycling			Vorbereitung zu Wiederverwendung		Verwertungsverfahren		
	Input	Output	Output	Input	Output	Physikalisches Recycling	Chemische Rückgewinnung	
Abfallrahmenrichtlinie	Materialien Kunststoff Polymer	Erzeugnis Material Stoff für ursprünglichen oder anderen Zweck Kunststoff Polymer Polymer Monomer Zwischenprodukt Element		Erzeugnis Bestandteil Plastik-Artikel	Erzeugnis Bestandteil Kunststoff Polymer	Erzeugnis Bestandteil Kunststoff Polymer	Mechanisches Recycling / Auflösen Auflösen	Depolymerisation Pyrolyse Gasifizierung
Elektro(nik)-Altgeräte	Materialien Kunststoff Polymer	Erzeugnis Material Stoff für ursprünglichen oder anderen Zweck Kunststoff Polymer Polymer Monomer Zwischenprodukt Element		Erzeugnis components Plastik-Artikel	Erzeugnis components Kunststoff Polymer	Erzeugnis components Kunststoff Polymer	Mechanisches Recycling / Auflösen Auflösen	Depolymerisation Pyrolyse Gasifizierung
Alt-fahrzeuge	Materialien Kunststoff Polymer	Material Stoff für ursprünglichen oder anderen Zweck Kunststoff Polymer		keine Vorbereitung zur Wiederverwendung		Mechanisches Recycling / Auflösen Auflösen		
<b>Stoffliche Verwertung</b>								
Verpackung	Materialien Kunststoff Polymer	Material Stoff für ursprünglichen oder anderen Zweck Kunststoff Polymer		keine Vorbereitung zur Wiederverwendung		Mechanisches Recycling / Auflösen Auflösen		

WFD Richtlinie 2008/98/EG - Abfallrahmen-Richtlinie (2018/851 EU) - WFD  
 WEEE Richtlinie 2012/19/EG über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE)  
 ELV Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge (ELV)  
 Verpackung Richtlinie 94/62/EG über Verpackungen. Der Begriff "Recycling" wurde von Deutschland nicht übernommen, sondern durch "stoffliche Verwertung" ersetzt.  
 Auflösen = Lösemittel-basiertes Recycling

**Bild 5.** „Recycling“ und „Vorbereitung zur Wiederverwendung“ in EU Abfallrichtlinien und ihr Einfluss auf Kunststoffabfall

„Chemisches Recycling“ die technischen und rechtlichen Grundlagen ausführlich erläutert. Dabei hat es klargestellt, dass lösemittelbasiertes Recycling kein chemisches Recycling ist<sup>2</sup>, da es auf physikalischen Prozessen basiert und daher als werkstoffliches Recycling einzustufen ist.

Das Fehlen spezifischer Anforderungen für die Wiederverwendung und das Recycling ermöglicht den Konflikt mit den Naturwissenschaften und der Abfall-Hierarchie und versperrt den Weg zur Kreislaufwirtschaft. Dies ist umso weniger akzeptabel, da bereits der Entwurf der EU Verpackungsrichtlinie von 2002 klare Definitionen für verschiedene Arten von Recycling und Wiederverwendung enthielt. Prof. Arnold Tucker (TNO) hat sie in seinem Artikel „Plastics Waste – Feedstock Recycling, Chemical Recycling and Incineration“ festgehalten<sup>16</sup>.

1. *Wiederverwendung* impliziert die Verwendung desselben Erzeugnisses ohne wesentliche Veränderung in einem neuen Verwendungskreislauf (z. B. wiederbefüllbare Verpackung nach dem Reinigen);
2. *Material- (Werkstoff-) Recycling* impliziert die Anwendung des benutzten Materials für eine neue Anwendung ohne Veränderung der chemischen Struktur;
3. *Chemisches Recycling* impliziert einen Wechsel der chemischen Struktur des

Materials, aber auf eine solche Weise, dass die dabei entstehenden Chemikalien wieder dazu verwendet werden können, das ursprüngliche Material wiederherzustellen;

4. *Rohstoff Recycling* impliziert einen Wechsel der chemischen Struktur des Materials, wobei die dabei entstehenden Chemikalien für einen anderen Zweck verwendet werden, als das ursprüngliche Material wiederherzustellen;
5. *Recycling mit Energierückgewinnung* impliziert die Einspeisung in eine Vorrichtung, in der der Energieinhalt des Eingangsmaterials verbraucht wird.

Diese einfachen und geradlinigen Definitionen machen sehr viel Sinn, klingen vertraut und erfassen alles für eine logische Unterscheidung – wurden aber nie angewandt. Stattdessen definiert die ISO Norm 15270/2008 „Kunststoffe – Richtlinie für die Verwertung von Kunststoff-Abfällen“<sup>19</sup> heute Rohstoff-Recycling und Chemisches Recycling als Synonyme!

... Neuproduktion von Polymeren und Kunststoffen ignoriert die End-of-Life-Kosten

Sinkende Ölpreise führen immer wieder zu sinkenden Preisen für Polymere als Basis für Kunststoff-Neuware. Dies bewirkt, dass

Kunststoff-Recycler ihre Geschäftsgrundlage verlieren, da sie für das Sammeln und Sortieren aufkommen müssen. Obwohl sie nicht die Verursacher der Kunststoffabfälle sind, müssen sie sortierte Kunststoffabfälle einkaufen. In Branchen mit hohem Materialverbrauch wie der Verpackungs-, Fahrzeug- und Elektro(nik)-Industrie gelten Kunststoff-Rezyklate heute als günstige opportunistische Rohstoffquelle, die im Wettbewerb zu Neuware steht und je nach Preissituation an oder abgeschaltet wird.

## **Empfehlungen für eine effektive Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe**

---

Aus den bisher dargestellten Ausführungen, Erläuterungen und Übersichten ergibt sich die deutliche Forderung nach Maßnahmen, die endlich auch den Kunststoffen den Weg zu einer echten Kreislaufwirtschaft ebnen.

### *... Klare Definitionen als Teil zu erstellender kunststoffspezifischer Richtlinien*

---

Kunststoffe sind synthetische Materialien (Werkstoffe), die heute in allen Bereichen des täglichen Lebens zum Einsatz kommen. Die eingesetzten Mengen steigen ständig, die daraus entstehenden Abfälle passen aber nicht in unsere heutigen Abfall-Richtlinien. Zu fordern ist daher die Entwicklung und Einführung einer EU-Richtlinie speziell für Kunststoffabfälle. Diese sind ein schwerwiegendes globales Thema, das unsere volle Aufmerksamkeit verdient.

Abfall-Richtlinien müssen zwischen Erzeugnissen, Materialien, Stoffen und Bestandteilen unterscheiden! Wir brauchen Definitionen für alle Begriffe, um klare Beschreibungen zu etablieren. Damit lässt sich dann der Weg zum Upcycling anstatt zum Downcycling weisen.

### *... Einführung einer Verwertungshierarchie basierend auf physikalischen und chemischen Prozessen*

---

Künftige Richtlinien müssen die Begriffe *Wiederverwendung*, *Recycling* und *Rückgewinnung* von Materialien klar definieren und spezifizieren. Diese sind dann in eine Verwertungshierarchie einzubinden, die für alle Abfallrichtlinien anwendbar ist, mit den Naturwissenschaften und der Abfall-Hierarchie im Einklang steht und eine Kreislaufwirtschaft unterstützt. Die verwendeten Begriffe sollten in gleicher Weise sowohl für Kunststoffe als auch für Materialien oder Werkstoffe im Allgemeinen anwendbar sein, ohne dass es zu einer nachteiligen Auswirkung auf die aktuellen (hohen) Recyclingquoten für Materialien wie Metalle, Glas, Papier, etc. kommt.

**Bild 6** zeigt, wie eine solche Hierarchie aufgebaut sein sollte. Mit nur wenigen Modifizierungen basiert sie auf dem Vorschlag aus dem Entwurf der Verpackungsrichtlinie von 2002 und berücksichtigt dabei die inzwischen gesammelten Erfahrungen und Verbesserungen (z. B. die Unterscheidung zwischen physikalischen und chemischen Prozessen). Für alle anderen Richtlinien kann man den Begriff *Kunststoffabfall* durch *Abfallmaterialien* und *Polymere* oder *Kunststoffe* durch *Materialien* ersetzen. Die verschiedenen Wiederaufarbeitungsprozesse für Kunststoffe können für diese Bereiche entfallen.

### *... Kenntnis von Wirtschaftlichkeit und Umwelteinfluss*

---

Eine sinnvolle Entscheidung, welcher Weg in der Verwertungshierarchie zu wählen ist, erfordert die Kenntnis aller verfügbaren Wiederaufbereitungstechnologien mit ihren spezifischen Vor- und Nachteilen. Nur dann lassen sich diese im Sinne eines optimalen nachhaltigen Umgangs mit den wachsenden Kunststoff-Abfallmengen unter Berücksichtigung des Verbrauchs an Ressourcen und der Menge umweltschädlicher Emissionen nutzen.

## Wiederverwendung, Recycling und Rückgewinnung bei Kunststoffabfällen

### Verwertungs-Hierarchie: Definitionen für eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft

1. **Wiederverwendung** impliziert die Verwendung desselben Erzeugnisses ohne wesentliche Veränderung in einem neuen Verwendungskreislauf;
2. **Material/Werkstoff Recycling** impliziert die Wiederaufarbeitung von **Kunststoffabfall** mit **physikalischen Prozessen** für eine **neue oder ähnliche Verwendung**, ohne Veränderung der chemischen Struktur der Polymere durch
  - a. Schmelzen (Mechanisches Recycling)
  - b. Auflösen (Lösemittel-basiertes Recycling)
3. **Chemisches Recycling** impliziert die Wiederaufarbeitung von **Kunststoffabfall** mit **chemischen Prozessen**, wobei die chemische Struktur der Polymere durch
  - a. Depolymerisation (Solvolyse)
  - b. Pyrolyse (thermisches Aufspalten/Cracken)
  - c. Gasifizierung
 so verändert wird, dass die dabei entstehenden Chemikalien (Rohstoffe) wieder dazu verwendet werden können, **die ursprünglichen Polymere oder Kunststoffe wiederherzustellen**;
4. **Rohstoff Rückgewinnung** impliziert die Wiederaufarbeitung von **Kunststoffabfall** mit **chemischen Prozessen**, wobei die chemische Struktur der Polymere durch
  - a. Depolymerisation (Solvolyse)
  - b. Pyrolyse (thermisches Aufspalten/Cracken)
  - c. Gasifizierung
 so verändert wird, dass die dabei entstehenden Chemikalien (Rohstoffe) **für einen anderen Zweck verwendet werden**, als die ursprünglichen Polymere oder Kunststoffe wiederherzustellen;
5. **Energie Rückgewinnung** impliziert die Einspeisung in eine Vorrichtung in der der **Energieinhalt von Kunststoffabfall verbraucht wird**.



**Bild 6.** Verwertungshierarchie für Kunststoffabfälle

#### ... Verantwortung für Produkte bei den Erzeugern

Generell gilt die Forderung, dass die Hersteller von Kunststoff-Neuware auch die *End-of-Life-Kosten* tragen. Dabei sollte eine EU-Kunststoffsteuer in erster Linie die Kommerzialisierung neuer Recyclingtechnologien und die Kapazitätserhöhung von Recyclingprozessen unterstützen, die Polymerketten erhalten (physikalisches Recycling) oder wieder erzeugen (chemisches Recycling mit Polymerisation). Zugleich sollte sie zur Verbesserung der Sortier-Kapazitäten und -Qualität beitragen, um mehr werkstoffliches Recycling zu ermöglichen und den Anteil an chemischer Rohstoff-Rückgewinnung möglichst gering zu halten.

In dieselbe Richtung geht die Forderung nach *recyclinggerechter Gestaltung*. Diese sollte sich an den verfügbaren Wiederaufbereitungstechnologien orientieren. Dabei sollte der Fokus primär auf dem *physikalischen Recycling* liegen, um polymere Bestandteile wiederverwenden zu können und die Einmalverwendung zu reduzieren. Die Einführung von Prinzipien der *erweiterten Produzenten-*

*verantwortung* (Extended Producer Responsibility, EPR) dient dabei dem Ziel, den Anteil von Kunststoff-Rezyklaten in neuen Produkten zu erhöhen, um dadurch ein stabiles profitables Recyclinggeschäft zu etablieren, das nicht mehr vom Ölpreis abhängig ist.

#### ... Anerkennung und Einbeziehung des lösemittelbasierten Recyclings als Material/Werkstoff-Recycling

Auflösen erfüllt die Recycling-Definition der Abfallrahmen-Richtlinie und beruht auf physikalischen Prozessen, die – wie mechanisches Recycling – die chemische Struktur von Polymeren nicht verändern. Darum fordern die Autoren von den EU Mitgliedstaaten die Anerkennung des lösemittelbasierten Recyclings/Auflösens für die Berechnung von Recycling-Quoten.

Eine solche Anerkennung ist nötig, um zukünftige Investitionen in die Entwicklung und Kommerzialisierung der Auflöse-Technologie abzusichern, damit die ambitionierten Recycling-Ziele des EU Green Deals erreicht werden können.



**CreaCycle GmbH** und das Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung (IVV) haben ihre Kompetenzen in einer Kooperation mit dem Ziel "Kunststoff/Werkstoff-Recycling mit einem lösemittelbasierten Verfahren" (selektive Extraktion) vereint und zusammen den CreaSolv® Prozess entwickelt, der auf physikalischen Prozessen basiert und Polymerstrukturen nicht verändert. CreaCycle entwickelt und liefert spezielle CreaSolv® Formulierungen mit dem geringstmöglichen Risikopotenzial für Anwender und Umwelt.

Das Fraunhofer IVV ist ein führender F&E Anbieter im Nahrungsmittel- und Nahrungsmittel-Verpackungsbereich mit spezifischem Fachwissen auf dem Gebiet des Kunststoff-/Werkstoff-Recycling. Die Abteilung "Verfahrensentwicklung Polymer-Recycling" hat den CreaSolv® Prozess patentiert, der es ermöglicht, reine Polymere von hoher Qualität aus Kunststoff- und Verpackungsabfällen zu gewinnen. Das Leistungsangebot beinhaltet die Optimierung existierender Recyclingprozesse, die Analyse von Erzeugnissen auf gefährliche Inhaltsstoffe und die Unterstützung beim Ersatz von fossilen durch erneuerbare Rohstoffe.



**EPC Engineering & Technologies GmbH** ist ein deutsches Familienunternehmen, das auf über 145 Jahre Ingenieurstradition zurückblicken kann. Die Hauptgeschäftsfelder des Unternehmens sind die Lizenzierung von Prozesstechnologien, Ingenieurdienstleistungen sowie der Bau von Turnkey-Anlagen. Zu den Kernkompetenzen der EPC gehören die Bereiche Polymere & Fasern (sowohl Recycling- als auch Produktionsanlagen), Feinchemie & pharmazeutische Technologien, Chemieanlagen, nachhaltige Energien, Lebensmittel- und Biotechnologien sowie Bau- und Infrastrukturprojekte. EPC Engineering & Technologies war bereits an der Entwicklung des CreaSolv® Prozesses beteiligt und ist der exklusive Lizenzgeber für diese Technologie sowie Engineering-Partner von PolyStyreneLoop B.V.

*PolyStyreneLoop B.V.* ist eine holländische Kooperative mit mehr als 70 Mitgliedern der gesamten EPS/XPS-Wertschöpfungskette und errichtet gerade eine CreaSolv® Demonstrationsanlage mit einer Jahreskapazität von 3.300 Tonnen in Terneuzen, Niederlande, für das Recycling von expandiertem Polystyrol (EPS/XPS) Bauabfall, der mit dem heute als POP verbotenen Flammschutzadditiv HBCD (Hexabromcyclododecan) kontaminiert ist. Die Inbetriebnahme ist für das 2. Quartal 2021 geplant.



**LÖMI GmbH** entwickelt seit 1991 hochwertige und innovative verfahrenstechnische Anlagen, insbesondere zum Umgang mit Lösemitteln. LÖMI hat 2018 für Unilever die erste CreaSolv® Pilotanlage für das Recycling von Beuteln (Sachets) in Indonesien errichtet. 2020 wurde eine eigene CreaSolv® Pilotanlage in Deutschland installiert, um die Kommerzialisierung der eigenen Klienten zu unterstützen.

CreaSolv® ist eine eingetragene Marke der CreaCycle GmbH

## Quellen

1. EASAC report 'Packaging plastics in the circular economy', 2020, ISBN: 978-3-8047-4129-4; [www.easac.eu](http://www.easac.eu).
2. UBA, „Hintergrundpapier Chemical Recycling“ Juli 2020 [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17\\_hgp\\_chemisches-recycling\\_online.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17_hgp_chemisches-recycling_online.pdf)
3. VANG – the Netherlands' Waste-to-Resource program – <http://www.care4.earth/EN/waste-to-resource/>
4. Vinyloop® White Paper from 2012 – [https://plasticker.de/docs/news/VinyLoop\\_A4\\_ENG.pdf](https://plasticker.de/docs/news/VinyLoop_A4_ENG.pdf)
5. 5Life Cycle Assessment for End of Life Treatment of Expandable Polystyrene (EPS) from External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) from March 2017 – Link: [https://www.creacycle.de/images/2018.03.16\\_PSLoop\\_LCA.pdf](https://www.creacycle.de/images/2018.03.16_PSLoop_LCA.pdf)
6. Netherlands Institute for Sustainable Packaging (KIDV) "Chemical recycling of plastic packaging materials: analysis and opportunities for upscaling" published 25 October 2018 – Link: [https://kidv.nl/media/engelse\\_kidv\\_publicaties/chemical\\_recycling\\_of\\_plastic\\_packaging\\_materials\\_analysis\\_and\\_opportunities\\_for\\_upscaling.pdf?1.1.6#](https://kidv.nl/media/engelse_kidv_publicaties/chemical_recycling_of_plastic_packaging_materials_analysis_and_opportunities_for_upscaling.pdf?1.1.6#)
7. CE Delft – "Chemical recycling and its CO2 reduction potential published February 2019 – Link: <https://www.cedelft.eu/assets/upload/file/Presentaties/2019/Chemical%20recycling%20an%20environmental%20perspective%20CE%20Delft%2020%20february%202019%20brussel.pdf>
8. VNO-NCW - "Actieplan Doorbraakproject Chemische Recycling" - Innovatieve recycling: het reduceren van CO2 en ontwikkelen van groene chemie voor Nederland. Published 30 April 2019.
9. Zero Waste Europe "Eldorado of Chemical Recycling" from August 2019: Link <https://zerowasteurope.eu/2019/08/press-release-el-dorado-of-chemical-recycling-state-of-play-and-policy-challenges/>
10. Greenpeace "False Solutions Report: Throwing away the future", published October 2019 : Link <https://www.greenpeace.org/new-zealand/publication/throwing-away-the-future/>
11. EU-Recycling Magazin 11/2019 - Deutsche Gesellschaft für Abfallwirtschaft (German Association for Waste Management) „Chemisches Recycling – ein Lösungsweg für das Recycling von Mischkunststoffen" from December 2019 – Link <https://eu-recycling.com/Archive/25138>
12. AMI Consulting - White Paper "Chemical Recycling and the Plastics Industry" published 02 January 2020 Link: [https://www.ami.international/media/198178/chemical\\_recycling\\_plastics\\_industry\\_19.pdf?\\_cldee=Z2VyYWxkLmFsdG5hdUBjcmVhY3ljbGUuZGU%3d&recipientid=-contact-206851f56e12e811811e70106faab5f1-f9128f41664444c4a2ef9ec3eed9915&utm\\_source=ClickDimensions&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=200120\\_S002\\_Em\\_LG\\_AMI\\_UK\\_Customer\\_Leads\\_Rec%26Sustain&esid=ee434b5e-8333-ea11-a813-000d3a24e147](https://www.ami.international/media/198178/chemical_recycling_plastics_industry_19.pdf?_cldee=Z2VyYWxkLmFsdG5hdUBjcmVhY3ljbGUuZGU%3d&recipientid=-contact-206851f56e12e811811e70106faab5f1-f9128f41664444c4a2ef9ec3eed9915&utm_source=ClickDimensions&utm_medium=email&utm_campaign=200120_S002_Em_LG_AMI_UK_Customer_Leads_Rec%26Sustain&esid=ee434b5e-8333-ea11-a813-000d3a24e147)
13. GAIA (Global Alliance for Incinerator Alternatives) 2020 "Chemical Recycling: Status, Sustainability, and Environmental Impacts - [https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/CR-Technical-Assessment\\_June-2020.pdf](https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/CR-Technical-Assessment_June-2020.pdf)
14. Nova Institute – Press Release "New Market and Technology Report: Chemical Recycling - Status, Trends, and Challenges" from 05.11.2020 - <http://nova-institute.eu/press/?id=223>
15. Eunomia – "Chemical Recycling: State of Play", report for CHEM Trust, published 9 December 2020 – Link: <https://www.eunomia.co.uk/reports-tools/final-report-chemical-recycling-state-of-play/>
16. Rapra Review Reports, Volume 13, Number 4, 2002, Arnold Tucker, TNO "Plastics Waste - Feedstock Recycling, Chemical Recycling and Incineration" – Link: <https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=16-QHqe03foC&oi=fnd&pg=PA3&dq=Plastic+Waste,+Feedstock+recycling+Chemical+Recycling+and+incineration+-+TNO+A.Tucker&ots=kVBdr5V5hm&sig=ZOyHVic--VosZvZB-jF38QmJPFiM#v=onepage&q&f=false>
17. Kunststoffe international 5/2020 "The Role of Chemistry in Recycling" <https://www.creacycle.de/de/presse-news/2020-06-09-die-rolle-der-chemie-beim-recyclen.html>
18. Basel Convention "Technical Guidelines" addendum dated 29 June 2017 – Link: [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjM\\_rT1h8PtAhVM66QKHfEbnYQFjACegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.basel.int%2FPortals%2F4%2Fdownload.aspx%3Fd%3DUNEP-CHW.13-6-Add.1-Rev.1.English.pdf&usg=AOvVaw10q7et81zOIWM\\_0-H0MjLc](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKewjM_rT1h8PtAhVM66QKHfEbnYQFjACegQIBBAC&url=http%3A%2F%2Fwww.basel.int%2FPortals%2F4%2Fdownload.aspx%3Fd%3DUNEP-CHW.13-6-Add.1-Rev.1.English.pdf&usg=AOvVaw10q7et81zOIWM_0-H0MjLc)
19. ISO 15270:2008 Plastics - Guidelines for the recovery and recycling of plastics waste – Link: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:15270:ed-2:v1:en>