Verfahren des chemischen Recyclings

Der Begriff „Chemisches Recycling“ wurde in den letzten Jahren vor allem im Zusammenhang mit der Pyrolyse von Verpackungsabfällen aus Kunststoff diskutiert. Dabei verbergen sich hinter dem Begriff weitere Verfahren, die sich von der Pyrolyse technisch teils stark unterscheiden.

Aufgrund der verschiedenen Recyclingprodukte ist eine Unterscheidung zwischen werkstofflichen (mechanisches Recycling, Depolymerisierung, lösemittelbasierte Verfahren) und rohstofflichen Verfahren (Pyrolyse und Gasifikation) sinnvoll: Durch werkstoffliches Recycling entstehen feste Materialien wie Flocken, Pellets, Fasern bzw. komplexere, definierte Molekülstrukturen (Polymere oder Monomere). Durch rohstoffliches Recycling erhält man flüssige Kohlenwasserstoffgemische und Synthesegase, die viele weitere Prozessschritte benötigen, bevor sie zu neuen Produkten werden.

NABU-Forderungen

- Chemische Recyclingverfahren müssen mechanische Verfahren ergänzen, nicht ersetzen.
- Für Kunststoffe, die sehr gut mechanisch zu recyceln sind, muss das mechanische Recycling Priorität haben.
- Auch mechanische Verfahren sind weiterzuentwickeln, damit die Qualität der Rezyklate zunimmt.
- Aus ökologischen Gründen ist die Depolymerisierung der Pyrolyse vorzuziehen.
- Transparenz beim Rezyklatgehalt muss Greenwashing verhindern.

→ **Weitere Infos: www.NABU.de/chemisches-recycling**

Pyrolyse und Verölung

Prozess: Bei der Pyrolyse werden die Kunststoffe bei Temperaturen von ca. 550 bis 900 °C unter Ausschluss von Sauerstoff zersetzt. Dabei entsteht Pyrolyseöl, es fallen aber auch Gase und Feststoffe an, die zur Energiegewinnung verbrannt werden können. Ähnlich zur Pyrolyse ist die Verölung, die bei Temperaturen unter 400°C in einem Ölbad stattfindet. Auch hier ist das Hauptprodukt, das durch die Verölung gewonnen wird, das sogenannte Pyrolyseöl.

Produkte: Aus Pyrolyseöl können verschiedene neue Produkte erzeugt werden, ganz ähnlich zum Rohöl: Ein Beispiel sind Basischemikalien, die für die Produktion neuer Kunststoffe genutzt werden können. Auch zu Kraftstoffen kann das Pyrolyseöl weiterverarbeitet werden (energetische Verwertung). Allerdings muss es meist aufwendig gereinigt und mit fossilem Öl gemischt werden. Für die Kreislaufwirtschaft ist es wichtig, dass das Pyrolyseöl für neue Produkte genutzt wird, anstatt für die Herstellung von Kraftstoffen.

Eignung: Pyrolytische Verfahren können verschiedene Kunststoffarten verarbeiten wie Polyolefine, Polystyrol (PS) sowie PMMA (Plexiglas) und sie eignen sich auch für bestimmte gemischte Kunststoffströme.

Kunststoffe, die Sauerstoff oder Chlor enthalten, stören den Pyrolyseprozess. Beispiele hierfür sind PET oder PVC. Am besten für die Pyrolyse geeignet sind Polyolefine, insbesondere Polyethylen und Polypropylen. Diese können allerdings bereits sehr gut mittels mechanischer Verfahren recycelt werden. Daher sieht der NABU die Gefahr, dass die Pyrolyse-Anlagen den wesentlich energiesparsameren mechanischen Recyclinganlagen die besten Abfallströme entziehen.

Gasifikation

Prozess: Bei der Gasifikation wird der Kunststoff mithilfe von Sauerstoff und bei sehr hohen Temperaturen von circa 1.300 bis 1.500 °C in Gas umgewandelt.

Produkte: Der Output besteht aus einer Mischung aus Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid und kleinerer Mengen Methan und Kohlenstoffdioxid. Die Mischung wird Syngas genannt. Aus diesem können viele Chemikalien hergestellt werden. Da jedoch im Syngas diverse Verunreinigungen wie Ammoniak, Schwefelwasserstoff, Stickoxide oder Teere enthalten sind, braucht es weitere Reinigungsstufen, die den Energieaufwand und die Kosten in die Höhe treiben.

Depolymerisierung (Solvolyse)

Prozess: Die Kunststoffpolymere werden bei hohen Temperaturen (150 bis 400 °C) und mittels so genannter Reagenzien (z. B. Methanol, Glykol, Wasser) in kleinere Teile aufgespalten. Bei der enzymatischen Depolymerisierung werden Biokatalysatoren, das heißt Enzyme, eingesetzt.

Produkte: Es entstehen kürzere Molekülketten, die zu neuen Kunststoffen verarbeitet werden können. Beispielsweise entstehen bei der Depolymerisierung von Altmatratzen Polyole, die für neue Hart- und Weichschäume oder Klebstoffe und Lacke genutzt werden können.

Eignung: Diese Verfahren sind für verschiedene Kunststoffe geeignet wie Polyester (z.B. Textilfasern, PET-Verpackungen) oder Polyurethan-Schaumstoff in Möbeln und Matratzen. Die Abfälle müssen gut vorsortiert und möglichst wenig verunreinigt sein.

Der **Energie- und Chemikalienbedarf** bei der Depolymerisierung ist sehr viel höher als bei mechanischen Recyclingverfahren. Ein Grund dafür ist, dass am Ende des Prozesses die Molekülketten von dem Reaktionsgemisch abgetrennt werden müssen.

Lösemittelbasierte Verfahren

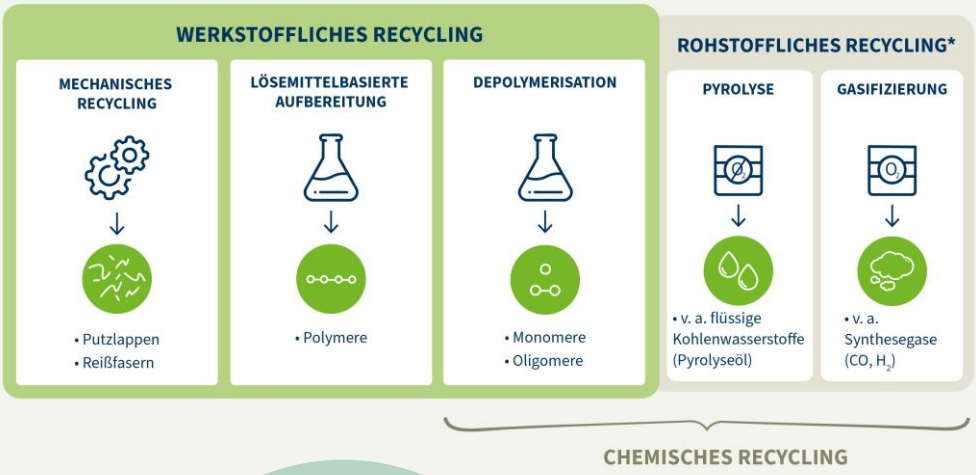
Das lösemittelbasierte Verfahren ist streng genommen kein chemisches Recycling, denn die chemische Struktur der Kunststoffe bleibt unberührt. Es spielt sich unterhalb der für Kunststoffe typischen Schmelztemperaturen ab und sollte nicht mit der chemischen Depolymerisierung (Solvolyse) verwechselt werden.

Prozess: Die Kunststoffe werden bei diesem Verfahren in Lösemittel-Bädern behandelt und so von Fremdkunststoffen und/oder bestimmten Additiven getrennt. Das Lösemittel wird so gewählt, dass sich ein Ziel-Material darin physikalisch löst, während das andere Material fest bleibt und mechanisch abgetrennt werden kann.

Eignung: Es können zum Beispiel Farben entfernt werden und man erhält „sauberen“ Kunststoff, der ähnliche Qualitäten besitzt wie neuer Kunststoff. Die Trennung von Polyester und Baumwolle beim Textilrecycling ist eine weitere mögliche Anwendung.

An die Grenzen kommt das Trennverfahren bei besonders vielschichtigen Kunststoffen: Je komplexer der Kunststoff, desto aufwendiger ist das Verfahren. Die Qualität der Rezyklate hängt von der Qualität des Inputmaterials ab. So muss ein hoher Sammel- und Sortieraufwand betrieben werden, um gute Qualitäten gewährleisten zu können. Auch besteht das Risiko, dass Rückstände der Lösemittel am Kunststoff verbleiben. Zudem muss das Lösemittel gereinigt werden, um es im besten Fall wiederverwenden zu können. Auch muss es aufwändig entsorgt werden, wenn es nicht wiederverwendet werden kann.

EINTEILUNG DER RECYCLINGVERFAHREN FÜR TEXTILIEN



Chemisches Recycling, einschließlich der Depolymerisierung, darf aus ökologischen Gründen mechanische Verfahren nur ergänzen, nicht ersetzen.

Ansprechpartnerin

Anna Hanisch
Referentin Kreislaufwirtschaft
Anna.Hanisch@NABU.de

* Wird der Output als Kraftstoff genutzt, zählt es als energetische Verwertung.

© 2025, NABU-Bundesverband, Naturschutzbund Deutschland (NABU) e. V., Charitéstraße 3, 10117 Berlin, www.NABU.de;Text: Anna Hanisch, Katharina Istel, Michael Jedelhauser; Gestaltung Layout: publicgarden GmbH; Gestaltung Grafik: Sapera Studios; 1. Auflage 04/2025