

Recyclingherausforderung Schuhe - Verwertungsverfahren



S. Dill
Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.
27. Juli 2022, InnoProKMU-Workshop, Pirmasens

Werkstoffliche Verwertung

Hierunter fällt die Rezyklierung von Kunststoffen durch verschiedene physikalische Methoden.

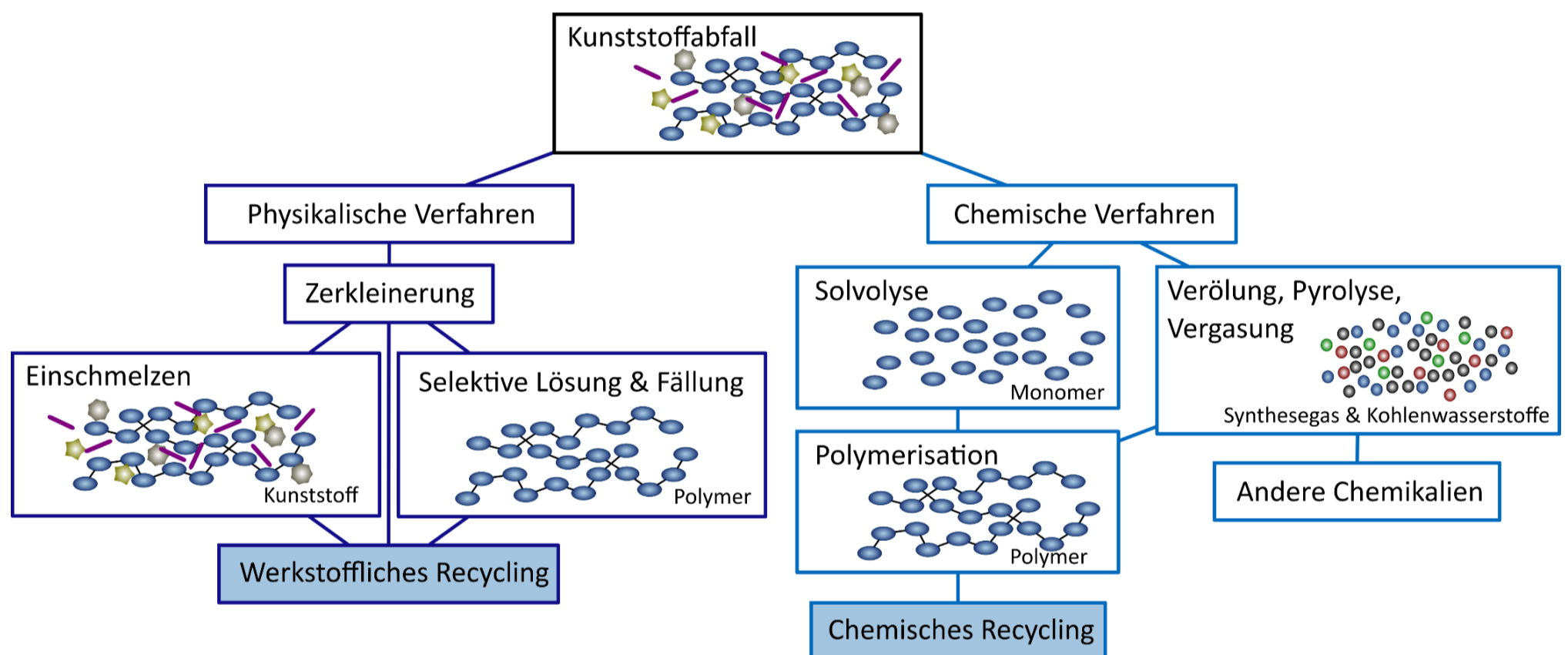
Neben rein mechanischen Mahl- und Zerkleinerungsvorgängen ist bei schmelzbaren Kunststoffen vorrangig das erneute **Einschmelzen** (Aufbereiten) etabliert. Der Kunststoff wird hierzu gereinigt, zerkleinert und nach Polymerbasis sortiert. Danach erfolgt in einer Compoundieranlage der Aufschmelzprozess, evtl. die Einarbeitung von Additiven und die Granulatherstellung. Das Verfahren eignet sich nur für saubere, qualitativ hochwertige und sortenreine Thermoplaste. Trotzdem weisen die Rezyklate i. A. nicht dieselben mechanischen, chemischen und thermischen Eigenschaften wie Neuware auf. Dies ist z. B. auf unterschiedliche Additivierungen, Farben und Alterungszustände der Ausgangsmaterialien sowie Vermischungsschäden zurückzuführen. Je ausgeprägter die Verunreinigungen, Alterung und/oder die Vermischung mit anderen Kunststoffen, desto minderwertiger sind die resultierenden Granulate im Vergleich zur Neuware.

sich aus Polyethylenterephthalat (PET) Terephthalsäure und Monoethylenglykol recyceln, woraus erneut PET polymerisiert werden kann. Bei aus Polyurethanen gewonnenen Recyclingpolyolen ist deren Einsatz im abstammenden Polyurethansystem jedoch nicht immer sichergestellt.

Wird ein **Verölungsprozess** durchgeführt, werden die Kunststoffe thermisch oder katalytisch zu gasförmigen, flüssigen und festen Kohlenwasserstoffmischungen zersetzt. Hauptprodukt ist die flüssige Öl-Phase, ungeeignete Bestandteile (bspw. Verunreinigungen, Füll- und Verstärkungstoffe) verbleiben als Rückstand vorrangig in der Festphase.

Auch bei **Pyrolysen** werden aus Kunststoffen verschieden zusammengesetzte Kohlenwasserstoffmischungen erzeugt. Die Ausgangsstoffe werden unter Ausschluss von Sauerstoff thermisch zersetzt und können je nach Druck und Temperatur vorwiegend zu Wachsen, Ölen oder Naphtha reagieren. Zudem fallen Pyrolysegase und Koks an.

Kommt eine **Vergasungstechnologie** zum Einsatz, ist das erzeugte Hauptprodukt



In Deutschland bislang weniger verbreitete Verfahren basieren auf der **selektiven Lösung und Fällung** spezifischer Polymere. Hierbei werden Kunststoffe gezielt mit entsprechend angepassten Lösemitteln in Lösung gebracht und in einem mehrstufigen Prozess abgetrennt. Ursprünglich enthaltene Fremdkunststoffe, Additive oder auch Schadstoffe werden während des Prozesses separat abgefangen. Resultierend liegen in der Lösung die Polymere des Zielkunststoffs in hoher Reinheit vor, werden ausgefällt, getrocknet und zu Granulaten verarbeitet. Vorteil gegenüber dem Umschmelzen ist, dass auch aus Kunststoffverbunden bestimmte Polymere zurückgewonnen werden können. Nachdem die Polymerstruktur selbst nicht geändert wird, wirken sich vom Ausgangsmaterial durchlittene Alterungsprozesse auch auf das Rezyklat aus. [1, 2]

Stoffliche Verwertung

Sind Kunststoffe qualitativ nicht für das werkstoffliche Recycling geeignet oder lassen sich nicht der Gruppe der Thermoplaste zuordnen, kann eine stoffliche Verwertung möglich sein. Jedoch auch in diesem Fall gilt, dass die eingesetzten Ausgangsstoffe die resultierende Produktqualität direkt beeinflussen. Je ausgeprägter Verschmutzung und/oder Heterogenität desto höher der Aufbereitungsaufwand der Sekundärrohstoffe und größer die zu entsorgende Reststoffmenge.

Die stoffliche Verwertung umfasst verschiedene chemische Verfahren: Bei **Solvolysen** werden die Polymerketten zu Monomeren depolymerisiert. Dies geschieht durch geeignete Lösemittel sowie, je nach spezifischem Prozess, unter erhöhter Temperatur und Druck. Je nach Ausgangsstoff und gewähltem Verfahren resultieren zu den ursprünglichen Syntheserohstoffen analoge oder abweichende Monomere. So lässt

Synthesegas. Feste und flüssige organische Materialien werden hierbei thermisch unter Einsatz von Vergasungshilfen (Sauerstoff, Luft und Dampf) zur Reaktion gebracht. Es resultieren Synthesegas (Wasserstoff und Kohlenmonoxid-Gemisch) und feste Reststoffe. Das Synthesegas kann nach weiteren Aufbereitungsschritten als Rohstoff in der chemischen Industrie genutzt werden. Grundsätzlich gilt, alle durch thermochemische Verfahren entstehende Produkte müssen für den Einsatz als Sekundärrohstoff in der Chemieindustrie noch weiter aufgereinigt, fraktioniert und aufbereitet wird. [1, 2, 3]

Alternativ befassen sich zahlreiche F&E-Projekte auch mit **biotechnologischen Verfahren**. Die Zerlegung der Polymerketten erfolgt in diesem Fall durch Bakterien oder Pilze und deren Enzyme. Bislang konnten zwar schon Erfolge bei Anwendungen an PET, Polyurethanen und anderen Polymeren erzielt werden, jedoch sind die Durchsätze noch deutlich geringer als bei den voran genannten Verfahren. [4]

Die meisten chemischen Verfahren stehen aktuell erst an der Schwelle zu großtechnischer und dauerhafter Umsetzung. Trotz allgemein guter Erforschung steht somit ein abschließender Beleg für die umfassende technische Eignung und den ökologischen wie ökonomischen Nutzen noch aus [1].

[1] https://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/rep0744_hauptteil.pdf (Abgerufen am 19.07.2022)
[2] Probst, BVSE, Auf dem Prüfstand: Chemisches Recycling - Alternativen und Innovationen beim Kunststoffrecycling, Vortrag, IFAT 2022, München
[3] https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17_hgp_chemisches-recycling_online.pdf (Abgerufen am 19.07.2022)
[4] <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/ange.201915651> (Abgerufen am 19.07.2022)