



Frank Fiedler / Shutterstock

Müll als Rohstoff

Nur das sortenreine Trennen der Bestandteile von Müll ermöglicht ein effizientes Recyceln.

Ulrich Kilian

Wachsende Müllberge sind ein großes Problem unserer Zeit: 46,2 Millionen Tonnen „haushaltstypische Siedlungsabfälle“ hinterließen die Deutschen 2017 – 557 Kilogramm pro Einwohner (**Abb. 1**). Vieles wurde getrennt gesammelt: Glas, Papier, Bioabfälle, Verpackungen und Restmüll. Während sich Glas, Papier und Bioabfälle nahezu direkt weiterverwerten lassen, gilt es, Restmüll und Verpackungen in Mülltrennungsanlagen zu sortieren, um sie wiederzuverwenden. Der Aufwand hängt davon ab, ob am Ende Brennstoffe für die thermische Verwertung stehen sollen oder ob es Ziel ist, aus dem Abfall Rohstoffe für ein neues Produkt zu gewinnen, sogenannte Recyclate.

Letzteres ist am schwierigsten für den Restmüll, der chemisch gesehen ein heterogenes Stoffgemenge darstellt. Seine Bestandteile unterscheiden sich sehr in ihren physikalischen Eigenschaften wie Größe, Dichte, elektrische Leitfähigkeit und Magnetisierbarkeit. Das nutzen Mülltrennungsanlagen aus. In einer typischen Anlage für Rest- und Sperrmüll erfolgt zunächst das manuelle Aussortieren von Möbeln, Matratzen und anderen großen Teilen. Der Rest wird zerkleinert und gesiebt. Windsichter

trennen im Anschluss nach leicht und schwer: Ein Luftstrom reißt leichtere Teilchen mit, die meist aus Kunststoffen bestehen. Schwerere Stücke aus Metall fallen nach unten. Nach dem gleichen Prinzip trennt man in der Landwirtschaft schon seit Jahrtausenden die Spreu vom Getreide.

Im nächsten Schritt erfolgt die magnetische Separation. Beim Magnetscheiden passiert der Abfall in Schrittgeschwindigkeit auf einem Förderband einen starken Permanentmagneten. Die Flussdichte beträgt auf der Bandoberfläche bis zu einem Tesla. Das Feld zieht magnetische Materialien wie Weißblech auf ein zweites, kleineres Förderband, das um den Permanentmagneten läuft. Darauf gelangen die Fragmente aus dem Wirkungsbereich des Magneten und lassen sich in einem separaten Behälter sammeln. Um Nichteisenmetalle rückzugewinnen, nutzen Wirbelstromscheider ein magnetisches Wechselfeld mit einer Frequenz von mehreren Hundert Hertz, das von einem rotierenden Magnetsystem kurz vor Ende des Förderbands erzeugt wird. Passieren Metalle wie Aluminium, Kupfer, Zink oder Messing dieses Wechselfeld, induziert es in ihnen starke Wirbelströme. Diese

erzeugen ein Magnetfeld, das dem äußeren Feld entgegengesetzt ist. Die metallischen Teilchen werden beschleunigt und fliegen am Ende des Förderbands entlang einer anderen Bahn als die nichtleitenden in eigene Sammelbehälter (**Abb. 2**). Der verbleibende Rest eignet sich meist nur als Brennstoff: Holz aus dem Sperrmüll und Biomasse lassen sich zusammen mit konventionellen Brennstoffen in Kraft- oder Zementwerken verheizen.

Immer feiner trennen

Eine zuverlässige feinere Trennung ermöglichte lange Zeit nur das manuelle Aussortieren. Dieses sogenannte Klauben kommt in Anwendungsnischen, beispielsweise für Batterien, nach wie vor zum Einsatz, wird jedoch mehr und mehr von sensorgestützten Methoden abgelöst, die auf Verfahren aus der Qualitätskontrolle beruhen. Beispielsweise messen CCD-Kameras die Reflexion und Transmission von Müllstücken, sodass ein Algorithmus deren Farbe ableiten kann. Dieses Verfahren kommt bei Glas, Metallen und Kunststoffen zum Einsatz. Sensoren sind aber nicht auf visuelle Merkmale beschränkt, sondern können auch andere Bereiche des elektro-

◀ Aus sortenrein getrennten Kunststoffflaschen lässt sich ein Granulat herstellen, das als Rohstoff für neue Flaschen dienen kann.

magnetischen Spektrums erfassen. So lassen sich die Nichteisenmetalle aus dem Wirbelstromscheider per Röntgenfluoreszenzspektroskopie weiter sortieren und trennen.

Eine besondere Rolle kommt der Nahinfrarot-Spektroskopie mit Wellenlängen zwischen 800 und 2500 nm zu. Dieses Licht reflektieren Moleküle abhängig von ihrer Anordnung und Gruppierung im Material: Ihre Eigenschwingungen entscheiden, welche Frequenzen stärker absorbiert und welche stärker reflektiert werden. Die Absorptionsbanden entsprechen bei der NIR-Spektroskopie Oberton- und Kombinationsschwingungen der Moleküle. Diese sind zwar deutlich schwächer als die Absorptionsbanden der Grundschiebungen, dennoch benötigt eine Messung weniger als eine halbe Millisekunde Zeit. Die NIR-Spektroskopie arbeitet nicht nur sehr schnell, sondern identifiziert verschiedene Materialien auch aus großer Entfernung, ohne dass Verunreinigungen dabei ablenken. Das Licht stammt in der Regel aus einer Halogenlampe. Die charakteristischen Absorptionsspektren nimmt ein fiberoptischer Messkopf auf und

leitet das Licht weiter auf eine Photodiode. Eine Analysesoftware vergleicht das Spektrum mit den Spektren bekannter Materialien. Findet sich eine passende Referenz, sorgt eine mechanische oder pneumatische Einrichtung dafür, das entsprechende Stück abzusondern.

Das Verfahren hilft insbesondere dabei, verschiedene Kunststoffe zu unterscheiden. Was der Verbraucher als „Plastik“ entsorgt, ist alles andere als ein Einheitsbrei. So besteht eine Spülmittelflasche aus Polyethylenterephthalat (PET) und ihr Verschlussdeckel aus Polypropylen (PP), während der Joghurtbecher aus Polystyrol (PS) gemacht ist. Nur ein sortenreines Trennen erlaubt es, ein Recyclat für den nächsten Produktionszyklus zu gewinnen. Bleiben die Kunststoffe gemischt, lassen sie sich nur zu minderwertigeren Produkten verarbeiten und bilden beispielsweise das Ausgangsmaterial für Blumenkübel oder Palisaden. Noch schlechter schneiden aufwändig designte Verbundmaterialien aus verklebten Werkstoffen inklusive Weichmachern und anderen Beistoffen ab, die oft nur als Brennstoff taugen.

PET ist nicht gleich PET

Selbst innerhalb einer Kunststofffamilie gibt es feine Unterschiede, die ein anderes Vorgehen beim Recyclen erzwingen. Ein Beispiel ist PET. Je nachdem, ob es als dünne Schale beispielsweise für Obst und Gemüse oder

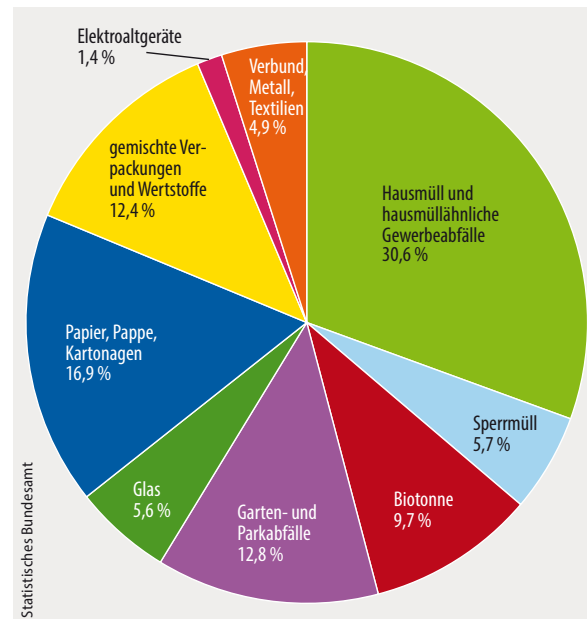


Abb. 1 In Deutschland fielen 2017 mehr als 46 Millionen Tonnen „haushaltstypische Siedlungsabfälle“ an.

als Flasche für Getränke daher kommt, ist die chemische Zusammensetzung leicht verschieden. Das wirkt sich auf den Schmelzpunkt des Materials aus – ein wichtiger Aspekt, wenn Schalen und Flaschen als Recyclat dienen sollen. Als sich die Schalen und Flaschen noch deutlich nach Gewicht unterscheiden, reichte ein Windsichter aus, um sie zu trennen. Mittlerweile lassen sich aber auch Flaschen so dünn herstellen, dass diese einfache Methode nicht mehr funktioniert. Abhilfe schafft die Hyperspektrolsensoren, eine hochauflösende Weiterentwicklung der NIR-Spektroskopie. Für jedes Kunststoffteil liegt dabei nicht nur ein Spektrum vor, sondern Messungen an mehreren hundert Punkten. Dazu scannt eine Zeilenkamera das Förderband über die gesamte Breite kontinuierlich ab. Die feinen Abweichungen in den Spektren helfen, die verschiedenen PET-Varianten auseinanderzuhalten. Das dabei anfallende Datenvolumen stellt für heutige Computer keine Herausforderung mehr dar.

So getrennt lassen sich auch Kunststoffe mehrfach recyceln, und es besteht die Chance, eine Kreislaufwirtschaft zu etablieren. Die technischen Hürden dafür sind genommen – bleibt nur die Frage, ob sich der Aufwand zum Erzeugen der hochwertigen Recyclate im Vergleich zum „normalen“ Rohstoff rechnet.

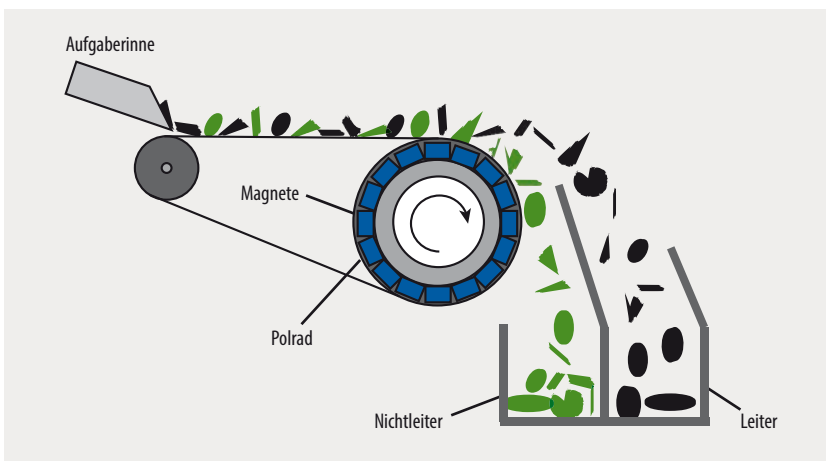


Abb. 2 Mit Wirbelstrom lassen sich nichtleitende und leitende Materialien trennen, weil ein rotierendes Wechselfeld in den Leitern (schwarz) ein Magnetfeld induziert. Dadurch folgen diese Materialien hinter dem Polrad einer anderen Flugbahn als die Nichtleiter (grün).