

Recyclingherausforderung Schuhe - Stoffstromvisionen



S. Dill
Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V.

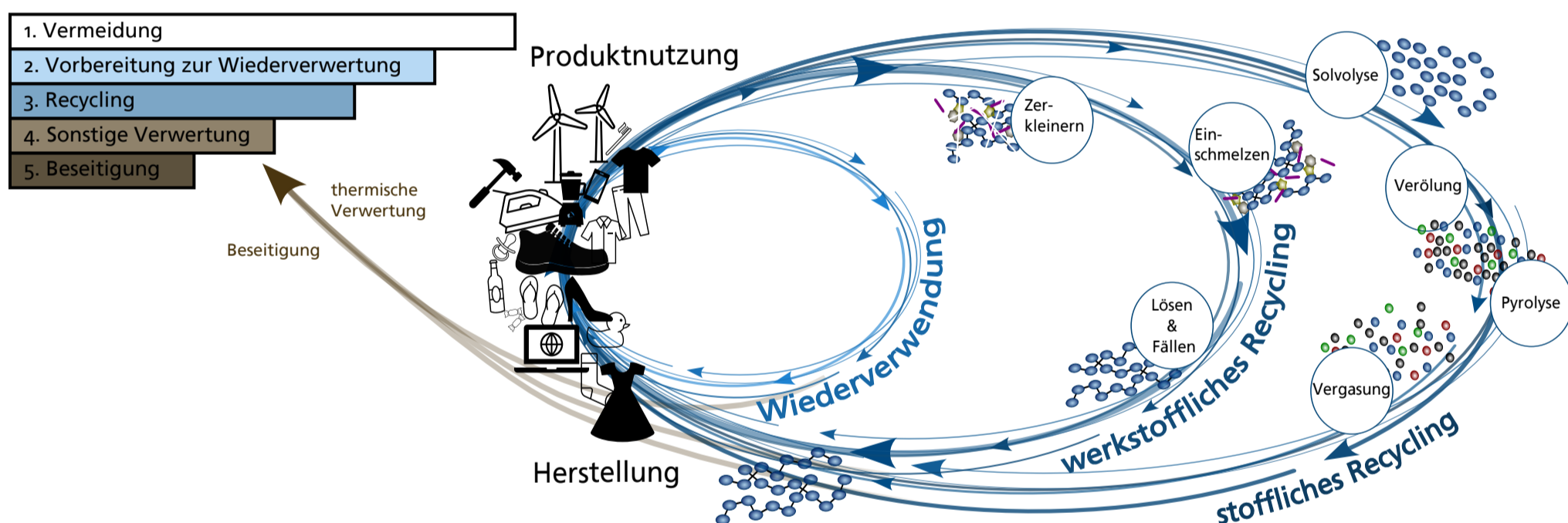
27. Juli 2022, InnoProKMU-Workshop, Pirmasens

Rahmenbedingungen

In Deutschland regelt das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) den Umgang mit Abfällen. Hierdurch wird bezweckt die Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu fördern und den Schutz von Mensch und Umwelt bei der Erzeugung und Bewirtschaftung von Abfällen sicherzustellen.

Kernelement des KrWG ist die fünfstufige Abfallhierarchie (§ 6) (s. Abb. oben links), welche die grundsätzliche Rangfolge durchzuführender Abfallbewirtschaftungsmaßnahmen definiert. Nach KrWG § 3 (25) ist Recycling jedes Verwertungsverfahren, das Abfälle zu Erzeugnissen, Materialien oder Stoffen entweder für den ursprünglichen oder einen anderen Zweck aufbereitet. Eine energetische Verwertung oder Aufbereitung zu Brenn- oder Verfüllstoffen (sonstige Verwertung) wird explizit ausgeschlossen. Chemische Verfahren zur Rückgewinnung organischer Stoffe zählen zu geeigneten Verwertungsverfahren, wenn die resultierenden Produkte als Chemikalien verwendet werden (KrWG Anlage 2). [1]

Recyclingverfahren lassen sich in werkstoffliche und stoffliche Verwertungen aufteilen. Werkstoffliches Recycling behält die grundlegende Werkstoffstruktur bei, stoffliche Rückgewinnung spaltet die Grundstruktur auf, es entstehen neue Stoffe. Bei der Verwertung von Kunststoffabfällen bedeutet dies, dass werkstofflich die Polymere des Kunststoffs intakt bleiben und neu arrangiert werden, während stofflich bspw. eine Depolymerisation stattfindet.



Wie schematisch gezeigt, ergibt sich hierdurch im Optimalfall einen mehrstufigen Kreislauf: Soweit möglich werden abgelegte Produkte zunächst aufbereitet und repariert, um wiederverwendet zu werden. Ist dies z. B. aus qualitativen Gründen (Defekt, Verschleiß) nicht mehr möglich, wird weiterführend eine Methode des werkstofflichen Recyclings durchlaufen. Die Wahl der Methode richtet sich hierbei nach dem Ausgangsprodukt, dessen Alterungszustandes und dem recycelten Zielprodukt. Sind werkstoffliche Methoden nicht (mehr) geeignet, kann noch ein chemisches Verfahren des stofflichen Recyclings Anwendung finden. Auch bei diesen Methoden besteht eine Wechselwirkung zwischen dem Zustand und der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials, dem zu wählenden Prozess sowie dem resultierenden Endprodukt.

Ziel einer erfolgreichen Kreislaufwirtschaft ist, alle in den Kreislauf eintretenden Stoffe möglichst lange in den Kreisläufen zu halten und den niedrigeren Hierarchiestufen „sonstige Verwertung“ und „Beseitigung“ nur geringe Restfraktionen zuzuführen.

Erzielung kritischer Massenströme

Bei den Recyclingverfahren handelt es sich im Allgemeinen um Prozesse, die erst im industriellen Maßstab ihr volles Potential entfalten. Dies bezieht sich auf den möglichen ökologischen Vorteil und die ausreichende Umsetzung von Recyclingprodukten, vor allem jedoch auf die ökonomische Effizienz. Für eine sinnvolle Kreislaufführung müssen somit alle Verfahren mindestens mit den kritischen Massenströmen versorgt und die Nutzung der erzielten Produkte gewährleistet sein.

Aufgrund der Vielfalt von Kunststoffen und Verbundprodukten umfassen die angesprochenen Methoden eine entsprechende Anzahl spezifischer Verwertungsprozesse. Abseits der vergleichsweise großen und sortenreinen Materialströme aus dem

Verpackungsbereich erfordert dies die Identifizierung, Separierung und Zusammenfassung geeigneter Fraktionen aus verschiedenen Produkten.

Um möglichst geeignete bzw. sortenreine Zuströme zu erreichen, müssen die Produkte bereits vor der Herstellung recyclinggerecht gestaltet und mit einem Produktpass ausgestattet werden. Dies gewährleistet eine bessere Zerlegung in relevante Baugruppen oder Einzelkomponenten und/oder die direkte Zuführung zu geeigneten Recyclingverfahren. Durch die spezifische Information über verwendete Rohstoffe und Materialien lassen sich auch kleinere Materialströme aus Nischenprodukten oder komplexen Verbunden, wie Schuhen, identifizieren und in geeignete stärkere bzw. bereits vorhandene Ströme zu Recyclingprozessen integrieren. Zudem können schwächere Ströme aus verschiedenen Industrien gezielt vereinigt werden, um hierdurch Recycling zu ermöglichen. Resultierend werden spezifische und geeignete Ausgangsstoffe für die Umwandlung in werkstofflich direkt wieder verwendbare Materialien oder für die chemische Industrie geeignete Sekundärrohstoffe gesichert.

Sekundärrohstoffe aus Sicherheitsschuhen

Aktuelle (Sicherheits-) Schuhe können nur bedingt zerlegt werden und umfassen kaum recyclebare Materialkombinationen. Werden durch ein kreislauffähiges Design eine vereinfachte Zerlegung in Baugruppen mit geringerer Materialvielfalt oder Einzelkomponenten erreicht wäre die Erzeugung folgender Sekundärrohstoffe realistisch:

Die Baugruppe **Sohle** besteht auch heute schon vorwiegend aus Polyurethanen (PU) u./o. (synthetischen) Kautschuken. Werden diese nach den einzelnen (Haupt-)Polymerbasen (Ether-PU, Ester-PU, NBR etc.) sortiert, lassen sich bspw. Solvolyse- oder Pyrolyseverfahren anwenden. Durch die Solvolyse werden PU in Recyclingpolyole aufgespalten welche erneut mit Isocyanaten zu Recycling-PU (rPU) reagieren können. Diese weisen i. A. jedoch andere Eigenschaften als das Ausgangspolymer auf und würden vermutlich keinen erneuten Einsatz im Sohlenbereich finden. Kautschukbasierte Sohlen können durch bspw. Pyrolyse in Pyrolyseöl oder Naphtha, Koks und Pyrolysegas zersetzt werden. Nach weiterer Aufbereitung lassen sich hieraus Syntheserohstoffen für z. B. Kunststoffe, Carbon Black und thermische Energie gewinnen.

Die Baugruppe **Schaft** ist i. d. R. aus verschiedensten Materialien zusammengesetzt. Obwohl auch einige Thermoplaste zum Einsatz kommen, können bei den aktuellen Materialmischungen nur thermochemische Recyclingverfahren angewendet werden. Dabei wird vorausgesetzt, dass bereits alle metallischen und nach Möglichkeit auch anorganischen Komponenten entfernt wurden. Wird der Schaft recyclinggerechter aufgebaut, kann z. B. die hauptsächliche Nutzung von Leder und Polyester oder Nylon und deren nachträgliche Trennbarkeit angedacht werden. In diesem Fall ließe sich das Leder durch Thermodruckhydrolyse aufspalten. Daraus resultieren Chrom, das erneut in der Gerberei eingesetzt werden kann, Biomasse zur biotechnologischen u./o. bioenergetischen Nutzung und eine Restphase zur Entsorgung. Die Nylon- oder Polyester-Fraktion kann je nach Alterungszustand entweder in seine polymeren Bestandteile aufgelöst und wieder ausgefällt oder ebenfalls durch Solvolyse in Monomere zerlegt werden.

[1] <https://www.gesetze-im-internet.de/krwg/> (Abgerufen am 19.07.2022)

