

Chemisches Recycling – Alle Fragen auf einen Blick

- Warum ist es wichtig Kunststoffabfälle zu recyceln? 1
- Welche Recyclingverfahren gibt es für Kunststoffe? 2
- Was ist chemisches Recycling? 3
- CO₂-Bilanz: Recycling ist immer besser als energetische Verwertung oder Deponierung 5
- Verfahren des Kunststoffrecyclings im Vergleich 7
- Mechanisches Recycling: Am besten geeignet für saubere, sortenreine Kunststoffabfälle 7
- Chemisches Recycling: Ein komplementäres Recyclingverfahren um gemischte und verunreinigte Kunststoffabfälle zu recyceln 9
- Fünf Beispiele für chemisches Recycling 10
- Chemisches Recycling trägt zur Defossilisierung der Kunststoffproduktion bei 11
- Massenbilanzen ermöglichen die Bestimmung des Rezyklat-Anteils in chemisch recycelten Kunststoffen 12
- Rechtliche Einordnung: chemisches Recycling als Baustein für eine zirkuläre Wirtschaft 15

Warum ist es wichtig Kunststoffabfälle zu recyceln?

Wir Menschen erzeugen immense Mengen an Kunststoffabfällen, beispielsweise in Form von Verpackungen, Haushaltsartikeln oder Elektronikgeräten. Diese Abfälle bergen einen immensen Schatz an Rohstoffen, die von der Industrie genutzt werden können, um wiederum neue Kunststoffanwendungen zu produzieren. Durch ein effektives Sammeln, Sortieren und Recyceln von Kunststoffabfällen ist es heute bereits möglich, einen großen Teil dieser Wertstoffe zurückzugewinnen und zu neuen Produkten weiterzuverarbeiten. Recycling trägt somit dazu bei, den Verbrauch von fossilen Ressourcen zu reduzieren, die Abhängigkeit von Rohstoffimporten zu verringern und verhindert, dass Kunststoffabfälle in die Umwelt gelangen.

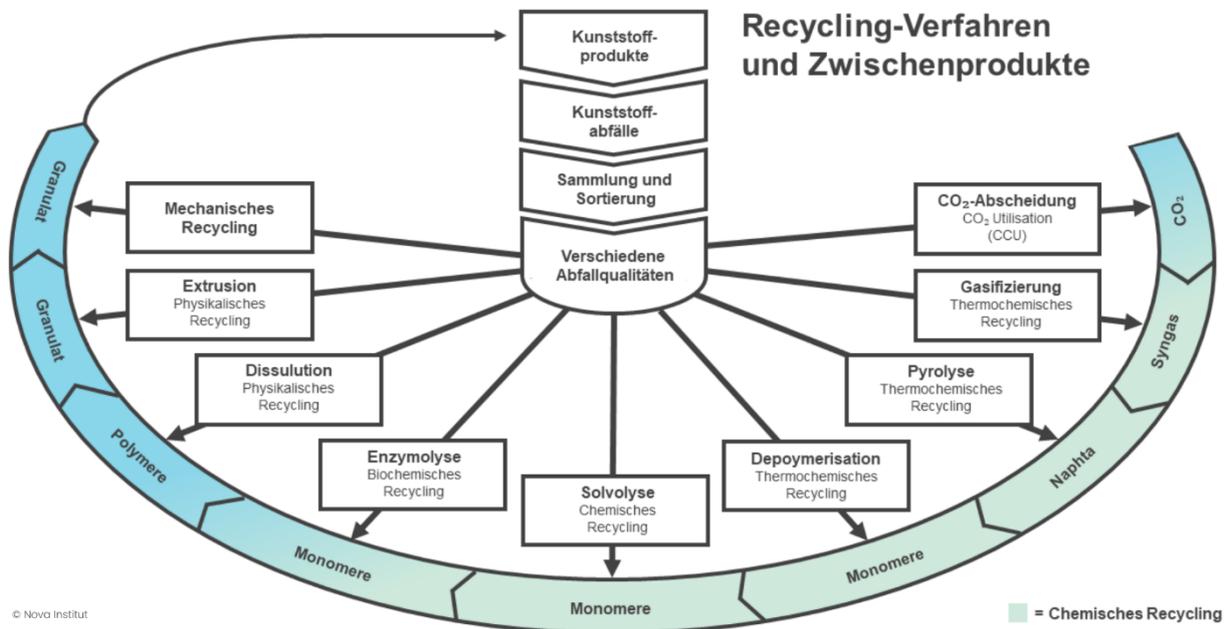


Recycling reduziert den Verbrauch fossiler Ressourcen, verringert Rohstoffimporte und verhindert die Umweltverschmutzung durch Kunststoffabfälle.

Welche Recyclingverfahren gibt es für Kunststoffe?

Recycling beschreibt einen Prozess, bei dem Abfälle gesammelt, sortiert, gereinigt und in neue Produkte umgewandelt werden. Je nach der Zusammensetzung, dem Material und

der Art der Kunststoffabfälle gibt es dabei verschiedene Recyclingverfahren, um eine optimale Wiederverwertung der Kunststoffe zu gewährleisten.



Eine Übersicht verschiedener Recyclingverfahren für Kunststoffe. Quelle: nova-institute.eu, at www.renewable-carbon.eu/graphics

Saubere und sortenreine Kunststoffabfälle, wie beispielsweise PET-Getränkeflaschen, werden in der Regel mechanisch recycelt und zu Granulat weiterverarbeitet. Beim Recycling von gemischten oder verunreinigten Abfällen, wie zum Beispiel benutzten FFP2-Masken, werden in der Regel spezialisierte Recyclingverfahren benötigt, um die Kunststoffe aufzubereiten und in neue Produkte umzuwandeln. Werden durch diese Recyclingverfahren die chemische Struktur der Kunststoffabfälle verändert, um sie in Sekundärrohstoffe, wie Synthesegas, Monomere und Pyrolyseöle (Naphtha) umzuwandeln, so spricht man von chemischem Recycling.

Was ist chemisches Recycling?

Chemisches Recycling beinhaltet verschiedene Recyclingverfahren wie Pyrolyse, Solvolyse oder Depolymerisation, bei denen Kunststoffabfälle in ihre chemischen

Bestandteile wie Oligomere und Monomere zerlegt werden, um sie dann erneut als Rohstoff für die Produktion neuer Kunststoffe zu nutzen.

Es stellt daher eine sinnvolle Ergänzung zu anderen Recyclingverfahren dar und wird zur Aufbereitung von Abfallströmen eingesetzt, die sich bisher nicht oder nur unzureichend durch mechanisches Recycling zurückgewinnen lassen.

Durch den Einsatz von chemischem Recycling ist es beispielsweise möglich, auch verschmutzte oder gemischte Kunststoffabfälle in hoher Qualität zu recyceln, wie alte Autoreifen, abgenutzte Matratzen, oder Verpackungsabfälle aus Verbundmaterial.



Stark verschmutzte oder gemischte Kunststoffe können mit chemischem Recycling ein neues Leben erhalten.

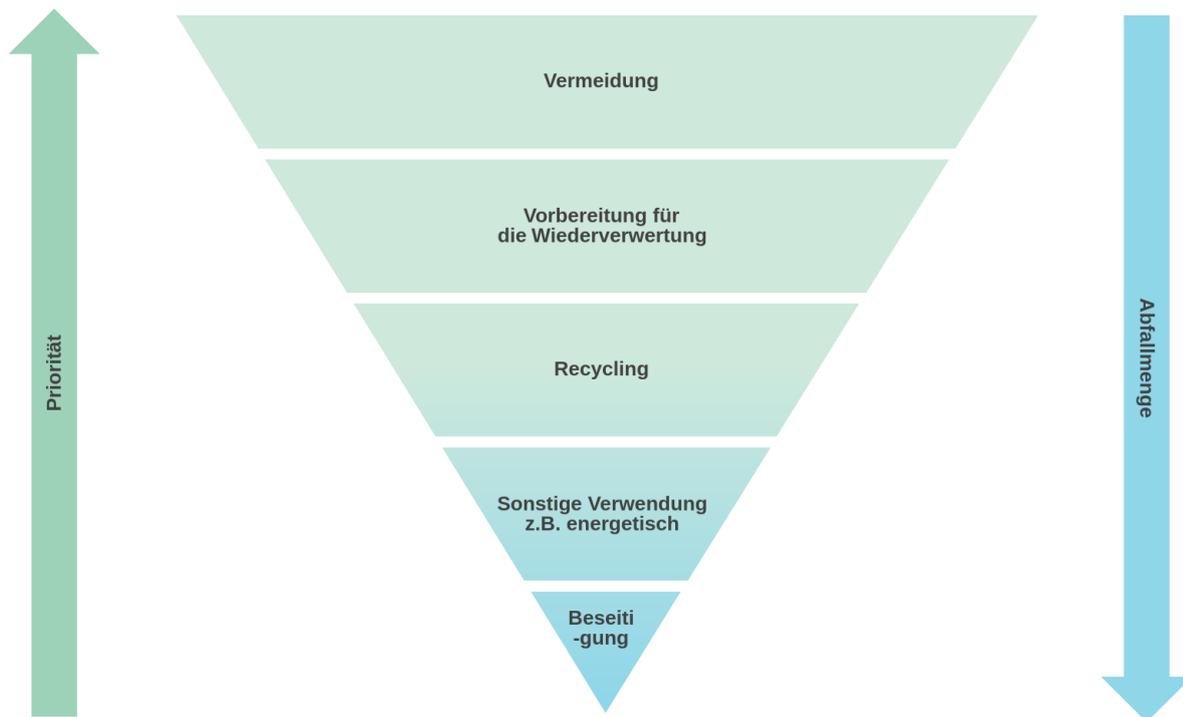
Mit chemischem Recycling können aus Kunststoffabfällen bestimmte Zwischenprodukte zurückgewonnen werden, wie Naphtha und Pyrolyseöl, die wiederum als Rohstoff für die Herstellung neuer und qualitativ hochwertiger Kunststoffe verwendet werden können. Die Kunststoffe, die auf diese Weise hergestellt werden, haben Neuausgangsmaterialqualität und können auch in Bereichen eingesetzt werden, in denen es besonders hohe Hygiene- und Qualitätsstandards gibt, zum Beispiel in der Medizintechnik oder in Lebensmittelverpackungen.



Medizinanwendungen und Lebensmittelverpackungen haben hohe Hygiene- und Qualitätsanforderungen. Mit chemischem Recycling können nun auch diese Anwendungen aus recyceltem Material hergestellt werden.

CO₂-Bilanz: Recycling ist immer besser als energetische Verwertung oder Deponierung

Die [EU-Abfallrahmenrichtlinie](#) legt eine klare Rangfolge für die Abfallentsorgung fest, wobei die Vermeidung von Abfällen immer an erster Stelle steht. Recycling ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zur [klimaneutralen Kreislaufwirtschaft](#), der jedoch auch immer von weiteren Maßnahmen zur Reduzierung von Abfällen flankiert werden sollte, beispielsweise durch Mehrwegsysteme und nachhaltiges Produktdesign. Erreichen Produkte das Ende der Nutzungsphase, sollten sie so umfänglich wie möglich recycelt werden.



Die Abfallhierarchie gemäß EU-Abfallrichtlinie

Der Energieeinsatz von chemischen Recyclingprozessen, wie beispielsweise der Pyrolyse, ist dabei mit dem Energiebedarf des mechanischen Recyclings vergleichbar. Im Unterschied zum mechanischen Recycling entsteht jedoch kein Regranulat, sondern Sekundärrohstoffe, wie Pyrolysoöl.

Diese Sekundärrohstoffe können für die Produktion von neuen Kunststoffen oder anderen Produkten eingesetzt werden und ersetzen somit fossile Rohstoffe in der Produktion, wie Erdöl und Erdgas. Diese, im Vergleich zum mechanischen Recycling zusätzlich erforderlichen Prozessschritte für die Erzeugung von Rezyklat aus Pyrolyseöl, führen zu einem höheren Gesamtenergiebedarf als beim mechanischen Recycling.

Mit chemischem Recycling kann allerdings je nach Recyclingverfahren und Abfallart zwischen **50-80%** des Kohlenstoffs zurückgewonnen werden. Das **Joint-Research-Center (JRC)** der EU-Kommission kommt daher in einer vergleichenden Studie der verschiedenen Recyclingverfahren zu dem Schluss, dass die Maximierung des Recyclings ökologisch in jedem Fall vorteilhafter ist als die bloße energetische Verwertung oder Deponierung von Abfällen.



Das Joint Research Center der EU-Kommission spricht sich dafür aus alle verfügbaren Recyclingtechnologien zu nutzen, um möglichst viel Kunststoffe im Kreislauf zu halten.

Verfahren des Kunststoffrecyclings im Vergleich

In Deutschland wird das Recycling im [Kreislaufwirtschaftsgesetz](#) definiert. Das Gesetz umfasst alle Verfahren zur Verwertung von Abfällen, bei denen Produkte, Materialien oder Rohstoffe entweder für ihren ursprünglichen Zweck oder für andere Zwecke aufbereitet werden. Dazu zählen verschiedene Verfahren, die auch unter der Rubrik mechanisches Recycling und chemisches Recycling zusammengefasst werden können.

Mechanisches Recycling: Am besten geeignet für saubere, sortenreine Kunststoffabfälle

Mechanisches Recycling ist die beste Methode, um saubere und sortenreine Kunststoffabfälle wiederzuverwerten. Dabei werden die Kunststoffe gesammelt, sortiert und aufbereitet. Anschließend werden sie zerkleinert, gereinigt und eingeschmolzen, um neue Produkte herzustellen.

Auf diese Weise werden zum Beispiel viele PET-Flaschen recycelt, da sie in der Regel nur aus einem einzigen Kunststoff bestehen. Die Flaschen können leicht nach Form, Farbe

und Material getrennt werden. Zudem gibt es in ganz Deutschland effektive Sammelsysteme für PET-Flaschen. Dank dieser Maßnahmen werden in Deutschland schon heute 94% aller PET-Getränkeflaschen recycelt und in den Kreislauf zurückgeführt.

Je besser die Abfallströme sortiert sind, desto effizienter und ressourcenschonender lassen sich Kunststoffe recyceln. Dieser Grundsatz gilt für alle Recyclingverfahren, einschließlich des chemischen Recyclings, weshalb auch hier eine gründliche Vorsortierung der Abfallströme durchgeführt wird.

Das mechanische Recycling stößt jedoch an seine Grenzen, wenn die Abfallströme vermischt, stark verunreinigt oder nicht aufschmelzbar (duroplastische Kunststoffe) sind. Zudem können viele Produkte, die aus **Verbundmaterialien** bestehen, nicht alleine mit diesem Verfahren verarbeitet werden. Das gilt beispielsweise für viele Lebensmittelverpackungen, in denen mehrere Kunststoffschichten verarbeitet sind, oder für Medizinprodukte, die häufig aus Hochleistungskunststoffen hergestellt werden.



Beim mechanischen Recycling werden möglichst saubere und sortenreine Kunststoffe gesammelt, sortiert und zu Granulat weiterverarbeitet.

Chemisches Recycling: Ein komplementäres Recyclingverfahren, um gemischte und verunreinigte Kunststoffabfälle zu recyceln

Chemisches Recycling, oder auch rohstoffliches Recycling, umfasst verschiedene Verfahren zum Aufbereiten von Kunststoffabfällen, bei denen die chemische Struktur des Materials verändert wird. Die Polymerketten können dabei mit verschiedenen Methoden aufgespalten werden, zum Beispiel durch Pyrolyse (Verflüssigung), die Umwandlung in Gas (Gasifizierung) oder die Zersetzung der Kunststoffe in ihre einzelnen chemischen Bausteine (Depolymerisation).

Bei jedem dieser chemischen Recyclingverfahren entstehen unterschiedliche Zwischenprodukte und Sekundärrohstoffe, wie Oligomere, Monomere, Pyrolyseöl (z.B. Naphtha), und Synthesegas, die für verschiedene Zwecke in der Industrie verwendet werden können. Zum Beispiel für die Produktion neuer und hochwertiger Kunststoffe, die die gleiche Qualität wie Neuware aufweisen.



Beim chemischen Recycling werden Kunststoffabfälle aufbereitet und in kohlenwasserstoffreiche Zwischenprodukte (Sekundärrohstoffe) umgewandelt.

Aus diesen Sekundärrohstoffen, wie Synthesegas, Monomere oder Pyrolyseöl können im Anschluss wiederum neuwertige Kunststoffe hergestellt werden.

Fünf Beispiele für chemisches Recycling

- **Recycling von alten Autoreifen**

Mit chemischem Recycling können ausgediente Autoreifen zu Pyrolyseöl verarbeitet werden. **BASF** und der Kunststoffrecycler Pyrum Innovations betreiben für diesen Zweck eine gemeinsame **Pyrolyseanlage** in Dillingen, an der Saar. In dieser Anlage werden jedes Jahr über 10.000 Tonnen Altreifen recycelt.

- **Recycling von alten Matratzen und Schaumstoffen**

Jedes Jahr werden in Europa über 40 Millionen Matratzen entsorgt. In der Vergangenheit wurden diese Matratzen energetisch verwertet, oder deponiert. Doch heute ist es möglich diese Schaum-Matratzen zu recyceln. Evonik betreibt dafür im Chemiepark Marl, unter anderem eine Anlage für die **Solvolyse von Schaum-Matratzen**. In dieser Anlage wird das Polurethan (PU) aus den Schaum-Matratzen in Polyol und Amin (TDA) umgewandelt. In einer Folgereaktion lassen sich daraus Isocyanate herstellen, die wiederum für die Herstellung neuer Schaum-Matratzen gebraucht werden.

- **Recycling von gemischten Kunststoffabfällen**

Im Industriepark Höchst, bei Frankfurt am Main, betreibt der Kunststoffrecycler **ARCUS Greencycling** eine innovative Anlage für chemisches Recycling von gemischten Kunststoffabfällen. In der **Pyrolyseanlage** können verschiedene Polymere wie PP, PE, PS sowie schwer zu verarbeitende Materialien wie PVC, ABS oder verunreinigtes PET recycelt werden. Hier werden vor allem solche Kunststoffabfälle recycelt, die sich mit mechanischem Recycling bisher gar nicht, oder nur unzureichend recyceln lassen.

- **Recycling von Acrylglas und Auto-Scheinwerfern**

Acrylglas wird überall dort eingesetzt, wo ein besonders robustes, leichtes und witterungsbeständiges Material gebraucht wird, das gleichzeitig transparent ist. Zum Beispiel im Baugewerbe, als Glasersatz, oder in der Automobilindustrie, in Form von Auto-Scheinwerfern und Seitenfenstern. Bisher gestaltete sich das Recycling von Acrylglas jedoch schwierig. Doch nun haben [Mitsubishi Chemical Group](#) und [Agilx](#) ein Verfahren entwickelt, mit dem [gemischte PMMA-Abfälle](#) aus Auto-Scheinwerfern (Acrylglas) und Fensterscheiben in reines Methyl Methacrylat (MMA) umgewandelt werden kann. Aus diesem MMA kann wiederum neues Acrylglas hergestellt werden.

- **Recycling von komplexen Verbundkunststoffen**

DOW und Mura Technology planen zurzeit den Bau Europas größter Anlage für chemisches Recycling am sächsischen Dow-Standort in Böhlen. Die neue Anlage soll 2025 in Betrieb gehen und soll bei voller Auslastung eine Recyclingkapazität von etwa 120 Kilotonnen pro Jahr (KTA) bieten. In der Anlage können auch flexible und mehrschichtiger Verbundkunststoffe aus Verpackungsabfällen recycelt werden. Die Abfallströme können aufgrund spezieller [Aufbereitungsverfahren](#) sogar organische Rückstände beinhalten und müssen nicht sauerstoffrein sein.

Chemisches Recycling trägt zur Defossilisierung der Kunststoffproduktion bei

Bis 2050 soll die Kunststoffproduktion in Europa, nach den Plänen der [Kunststoffhersteller und der EU](#), vollständig klimaneutral ausgerichtet werden. Um dieses ambitionierte Ziel zu erreichen, muss der Einsatz von fossilen Ressourcen in der Kunststoffproduktion signifikant reduziert werden.

Die unterschiedlichen Zwischenprodukte und Sekundärrohstoffe, die im chemischen Recycling-Prozess gewonnen werden, wie beispielsweise Synthesegas und Pyrolyseöl

(Naphtha), können dabei als alternative Kohlenstoffquellen genutzt werden, um neuwertige Kunststoffe herzustellen.



Naphtha, das aus fossilem Rohöl gewonnen wird und chemisch recyceltes und aufbereitetes Naphtha sind sich von ihren Stoffeigenschaften sehr ähnlich und sind im Produktionsprozess prinzipiell austauschbar. Sie werden daher bei der Herstellung von Kunststoffen gemeinsam verarbeitet, um den Anteil von fossilen Rohstoffen in der Produktion zu reduzieren.

Die Zwischenprodukte und Sekundärrohstoffe, die aus dem chemischen Recycling gewonnen werden, sollen daher schrittweise den Einsatz von fossilen Ressourcen in der Kunststoffproduktion ersetzen.

Da sich die Kapazitäten für chemisches Recycling zurzeit noch in der Aufbauphase befinden, müssen fossile und chemisch recycelte Sekundärrohstoffe bislang noch gemeinsam verarbeitet werden. Langfristig wird es jedoch mit chemischem Recycling möglich sein, Kunststoffe im industriellen Maßstab herzustellen, ohne dabei auf fossile Rohstoffe angewiesen zu sein.

Massenbilanzen ermöglichen die Bestimmung des Rezyklat-Anteils in chemisch recycelten Kunststoffen

In großen Anlagen, in denen sowohl fossile als auch chemisch recycelte Sekundärrohstoffe gemeinsam verarbeitet werden, ist es kompliziert, den Rezyklat-Anteil im Produktionsprozess genau nachzuvollziehen. Das liegt daran, dass aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen in der Regel darauf verzichtet wird, die Verarbeitungsprozesse für die Produktion von fossilen und recycelten Kunststoffen voneinander zu trennen. Das ist technisch zwar möglich, dafür müssten jedoch eine Menge neuer Anlagen gebaut werden und viel Energie aufgewendet werden.

Eine weitaus sinnvollere und energiesparende Lösung besteht darin, chemisch recycelte Sekundärrohstoffe in den bereits existierenden Anlagen direkt in den Produktionsprozess einzuspeisen und den Rezyklat-Anteil von chemisch recycelten Kunststoffen mithilfe von **Massenbilanzen** zu bestimmen. Massenbilanzen sind ein buchhalterischer Ansatz, der es ermöglicht, die in einen Produktionsprozess eingespeisten Sekundärrohstoffe spezifischen Produktgruppen zuzuordnen. Der Ansatz ist mit der Ökostrom-Lieferungen vergleichbar.



© BASF: Massenbilanzen einfach erklärt (3:36 Min)

Denn das Produktionsnetzwerk der Kunststoffindustrie ähnelt dem Stromnetz, in dem sowohl Energie aus konventionellen Kraftwerken als auch aus erneuerbaren Quellen eingespeist wird. Die Kunden können darüber entscheiden, welche Art der Energie sie

unterstützen möchten. Eine Entscheidung für Ökostrom treibt den Wandel zu erneuerbaren Energien voran, die in das Netz eingespeist werden. Auf eine ähnliche Weise ermöglicht der Einsatz von Massenbilanzen den Rezyklat-Anteil in chemisch recycelten Kunststoffen, im bestehenden Produktionsnetzwerk, kontinuierlich zu erhöhen.

Kunststoff- und Chemieunternehmen investieren in chemisches Recycling

Um den Kunststoffkreislauf möglichst effektiv zu schließen und Emissionen beim Transport und der Lagerung von Kunststoffabfällen und Sekundärrohstoffen zu reduzieren, investieren Kunststoff- und Chemieunternehmen im großen Ausmaß in chemisches Recycling. Bis 2030 wollen die Kunststoffhersteller mehr als 7,2 Milliarden Euro in den Ausbau von chemischen Recyclinganlagen in Europa investieren.



© OMV-Aktiengesellschaft: Chemische Recyclinganlage für Post-Consumer Abfälle in der OMV-Raffinerie in Schwechat, bei Wien.

Durch diese Maßnahmen könnten bis 2030, allein in Europa, bis zu 3,4 Millionen Tonnen Kunststoff zurückgewonnen werden und die Abhängigkeit von fossilen Ressourcen

deutlich reduziert werden. Bis 2050 planen die europäischen Kunststoffhersteller nahezu vollständig ohne fossile Rohstoffe auszukommen.

Rechtliche Einordnung: chemisches Recycling als Baustein für eine zirkuläre Wirtschaft

In Politik, Verwaltung, Wissenschaft und Wirtschaft wird derzeit intensiv über chemisches Recycling diskutiert, da es dazu beitragen kann, die europäischen Klima- und Kreislaufwirtschaftsziele zu erreichen. Dafür müssen jedoch bestimmte Rahmenbedingungen erfüllt sein. Der [Verband der chemischen Industrie](#) (VCI) und der [Verband der Kunststoffhersteller](#) (Plastics Europe Deutschland) haben daher in einem gemeinsamen Positionspapier dargestellt, wie chemisches Recycling rechtlich eingeordnet und im Rahmen der europäischen Abfallhierarchie integriert werden kann, damit es seine volle Wirkung entfaltet.

Das [Positionspapier](#) geht zudem darauf ein, wie die Industrie zur Erreichung der Klima- und Kreislaufwirtschaftsziele beitragen kann und schafft bei chemischen Recycling Klarheit, in Bezug auf die in Deutschland geltenden abfallrechtlichen Regelungen für Verpackungsabfälle.

Fragen zum chemischen Recycling?

Haben Sie Fragen zum chemischen Recycling? Oder sind Sie auf der Suche nach guten Beispielen für chemisches Recycling in der Praxis? Wir stehen Ihnen gerne als Ansprechpartner zur Verfügung!

Alexander Kronimus

PlasticsEurope Deutschland e.V.

Geschäftsführung, Klimaschutz und Kreislaufwirtschaft

E-Mail: alexander.kronimus@plasticseurope.de