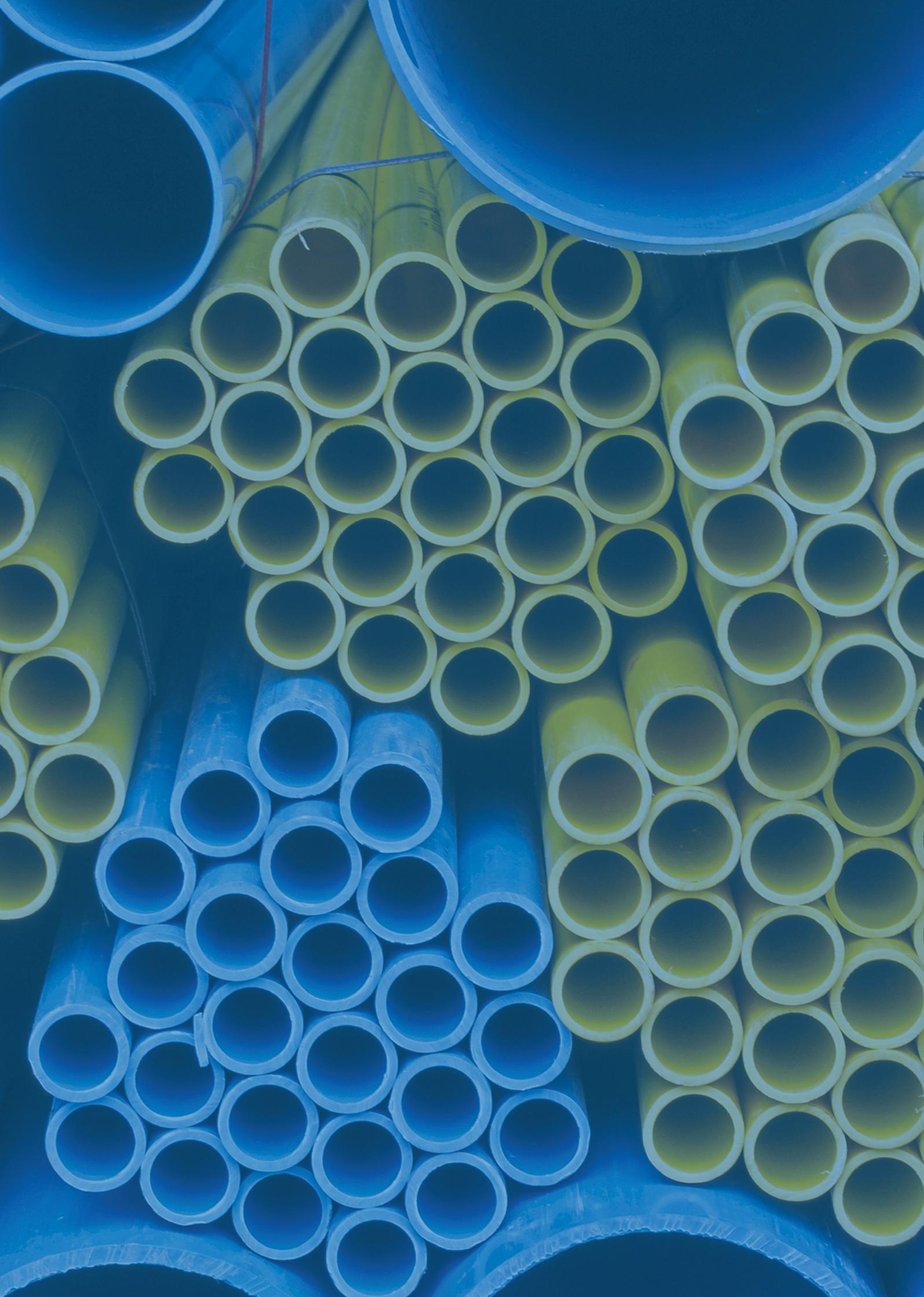


vinyl<sup>plus</sup>

# PVC-Recycling- Technologien







# Einleitung

VinylPlus ist die freiwillige Selbstverpflichtung der europäischen PVC-Branche zur nachhaltigen Entwicklung. Geografisch bezieht sich dieses 10-Jahres-Programm auf die Staaten der EU-28 sowie auf Norwegen und die Schweiz. Eines der fünf zentralen Nachhaltigkeits-Ziele der VinylPlus-Initiative ist das Kreislaufmanagement: Durch erhöhte Effizienz im Gebrauch und Steuerung des gesamten Lebenszyklus von PVC – von der Herstellung bis zur Verwertung.

Im Bereich des Kreislaufmanagements ist die Entwicklung und Förderung von innovativen Recycling-Technologien eines der wichtigsten Elemente zur Verbesserung des PVC-Recyclings in Europa.

Auf Grundlage von langjährigen Erfahrungen im PVC-Recycling, auch aus der vorherigen Selbstverpflichtung Vinyl 2010, werden Technologien stetig weiterentwickelt, um die Nachhaltigkeit von PVC in der gesamten europäischen PVC-Branche weiter zu verbessern.

Diese Broschüre beschreibt die aktuelle Situation und die Möglichkeiten des PVC-Recyclings in Europa sowie die Herausforderungen und Lösungsansätze, die mit einer Steigerung des Recyclings verbunden sind.

Im Fokus stehen vor allem zukunftsweisende PVC-Recycling-Technologien, die sich zur Lösung der Probleme von besonders schwer zu verwertenden Abfallströmen anbieten.

VinylPlus hat sich das ehrgeizige Ziel gesteckt in 2020 800.000 Tonnen recyceltes PVC zu registrieren. Bestandteil dieses Ziels ist die Verwertung von 100.000 Tonnen besonders schwer zu recycelnder PVC-Abfälle. Der Einsatz von einer oder mehrerer der hier beschriebenen Technologien wird für das Erreichen dieses ehrgeizigen Ziels entscheidend sein.

[www.vinylplus.eu/documents/42/68/New-Progress-Report-2016](http://www.vinylplus.eu/documents/42/68/New-Progress-Report-2016)



PVC: Etabliert,  
nachhaltig,  
wiederverwertbar



**PVC (Polyvinylchlorid) ist einer der weltweit am häufigsten eingesetzten Kunststoffe.**

Das Polymer war eines der ersten modernen Kunststoffmaterialien, das entdeckt wurde. Die wirtschaftliche Nutzung von PVC, das bereits im neunzehnten Jahrhundert erstmals synthetisiert wurde, begann in den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts und nahm in den 1950er Jahren einen rapiden Aufschwung.

Heute werden weltweit etwa 37 Millionen Tonnen PVC produziert, 5,5 Millionen davon in Europa. Damit nimmt PVC in Europa den dritten Platz unter allen Kunststoffen ein.

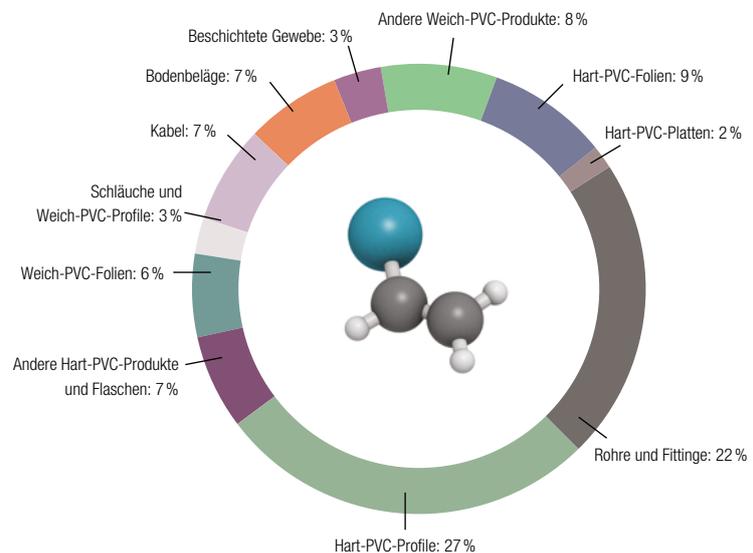
Die europäische PVC-Industrie, von den Rohstoffherstellern bis zu Herstellern von Fertigprodukten, beschäftigt etwa eine halbe Million Menschen in rund 21.000 Unternehmen, vom großen Konzern bis hin zu kleinen Familienbetrieben.

## Großes Anwendungsspektrum

Aufgrund seiner Vielseitigkeit wird PVC für sehr unterschiedliche Anwendungen in der Industrie und Technik sowie im täglichen Leben genutzt. In Europa werden gut zwei Drittel des produzierten PVC im Bausektor verwendet, etwa für Kunststofffenster, Bauprofile sowie für Rohre und Bodenbeläge bis hin zu Kabelummantelungen, Dach- und Dichtungsfolien und beschichtete Gewebe.

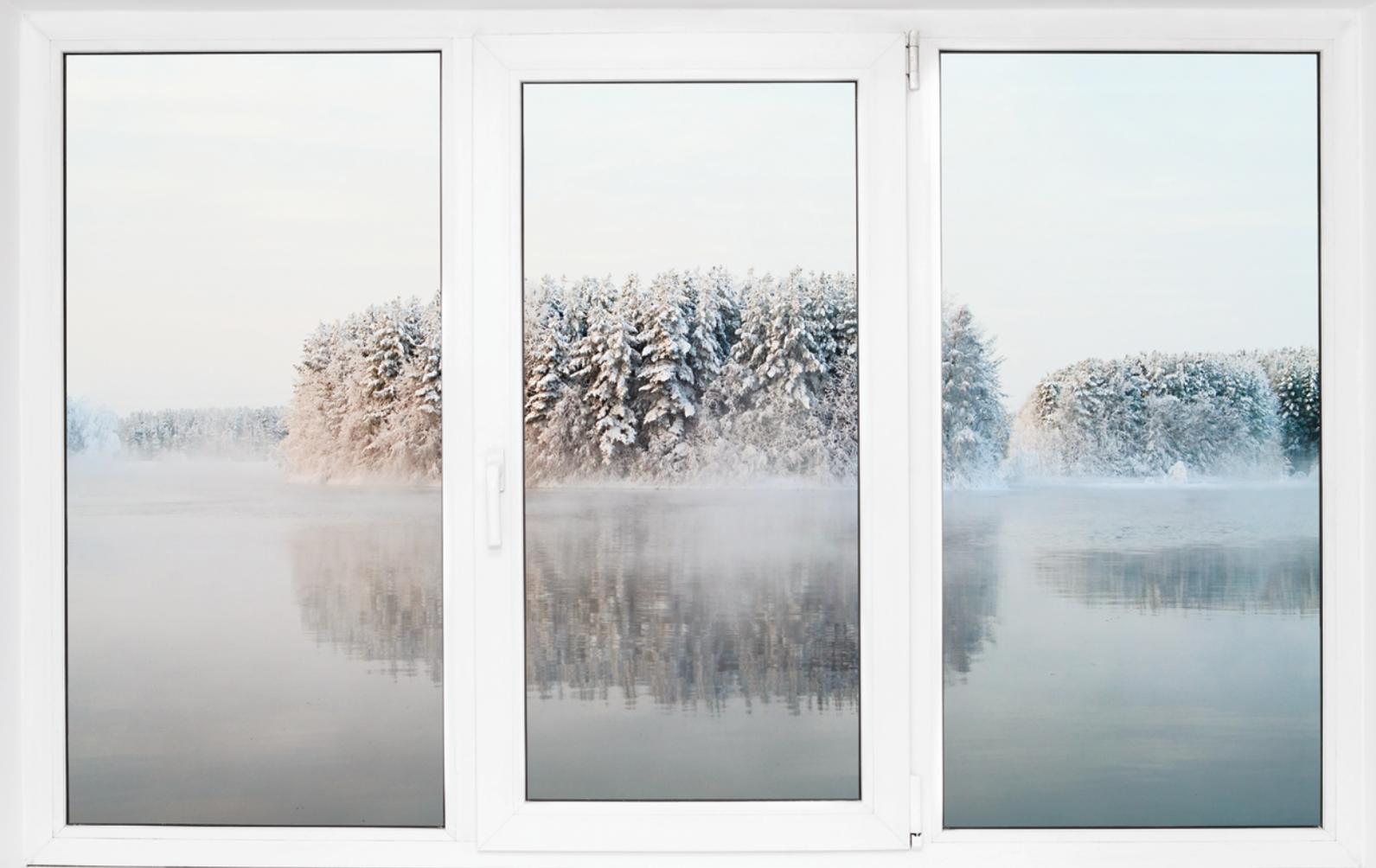
**PVC (Polyvinylchlorid) ist einer der weltweit am häufigsten eingesetzten Kunststoffe.**

Weitere wichtige Anwendungsfelder sind: der Verpackungsbereich mit Folien und Blistern, die Automobilindustrie mit Außenprofilen, Kabeln und Innenverkleidungen sowie Anwendungen in der Möbelindustrie, für Freizeit- und Regenbekleidung und Medizinprodukte.



PVC-Anwendungen in der EU

VinylPlus, 2015



## Ein nachhaltiger Kunststoff

Nachhaltigkeit ist bereits in den Eigenschaften von PVC angelegt. Es besteht aus Steinsalz (57 %), das auf der Erde praktisch unbegrenzt vorhanden ist, und aus Öl oder Gas gewonnenen Kohlenwasserstoffen (43 %). Damit ist es weit weniger vom Öl abhängig mit entsprechend besserer CO<sub>2</sub>-Bilanz als viele andere Kunststoffe. PVC wird für besonders langlebige Anwendungen verwendet und trägt auch dadurch zur Schonung von Ressourcen und Energie bei.

**Nachhaltigkeit ist bereits in den Eigenschaften von PVC angelegt.**

Und nicht zuletzt ist PVC wiederverwertbar. Die europäische PVC-Branche hat sich mit Nach-

druck darum bemüht, das Sammeln von PVC-Abfällen voranzutreiben und Recyclingtechnologien zu optimieren. Mit dem Ziel, sowohl den Abfall als auch den Energieverbrauch zu verringern und den Recycling-Anteil in neuen Produkten zu erhöhen. Eine 2011 im Auftrag der Generaldirektion Umwelt der Europäischen Kommission erstellte Studie kam zu dem Ergebnis, dass sich das Abfallaufkommen aus Bau- und Abbrucharbeiten im Jahr 2005 auf etwa 460 Millionen Tonnen belief. Kunststoffabfälle machten hier weniger als 2 % aus. Für 2013 schätzte Consultic die Menge an verfügbarem PVC-Abfall in Europa mit weniger als 2,5 Millionen Tonnen ein, PVC stellte somit weniger als 0,4 % des gesamten Abfalls aus Bau und Abbruch dar.

## ... mit nachhaltigen Einsatzmöglichkeiten

PVC ist äußerst vielseitig. Im Vergleich zu anderen Werkstoffen können PVC-Rezepturen in Bezug auf die Sicherheit und Effizienz von Endprodukten optimiert werden, ohne dabei die technische Leistungsfähigkeit zu beeinträchtigen.

Die gute Möglichkeit der PVC-Rezeptierung erweist sich auch für das Recycling als besonders nützlich, da auch hier Recyclat-Eigenschaften und Recycling-Prozesse beeinflusst werden können. Recycling erhöht die Nachhaltigkeit eines PVC-Produktes signifikant durch geringeren Energieverbrauch und niedrigere Emissionen.

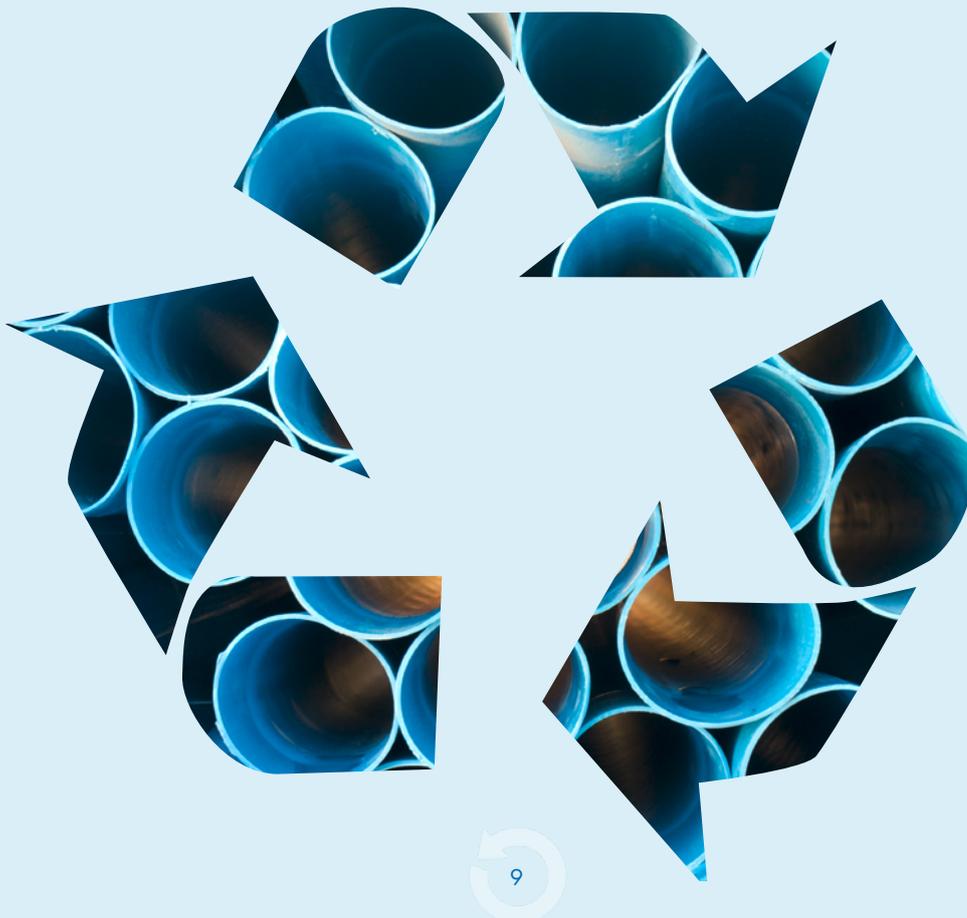
PVC trägt zur Sicherung und zum Komfort unseres Lebensstils bei. Dabei verbessern PVC-Produkte unser tägliches Leben, schützen natürliche Ressourcen und tragen zu einer besseren Versorgung mit Trinkwasser und Lebensmitteln bei. Darüber hinaus verbessern sie den Wohnkomfort, sichern die Energieversorgung und bieten wichtige Unterstützung im Gesundheitswesen. PVC ist ein unverzichtbarer und langlebiger Werkstoff, der

zur Erfüllung dieser grundlegenden Bedürfnisse beiträgt. Zudem weist es im Vergleich zu denselben Produkten aus Glas und Metall eine deutlich bessere CO<sub>2</sub>-Bilanz auf.

**Durch die guten Isoliereigenschaften tragen PVC-Produkte erheblich zur Verbesserung der Energieeffizienz bei.**

Durch die guten Isoliereigenschaften tragen PVC-Produkte erheblich zur Verbesserung der Energieeffizienz bei. PVC-Fensterprofile erfüllen heute den Passivhaus-Standard und tragen so während der Nutzung erheblich zur Energieeffizienz sowie zum Komfort in Wohn- und Gewerbegebäuden bei.

Die PVC-Branche ist sich des Nachhaltigkeitspotentials ihres Werkstoffs bewusst und arbeitet systematisch daran, sicherzustellen, dass der Kunststoff auch in Zukunft seinen Stellenwert für eine nachhaltige Entwicklung behält und einen erheblichen Beitrag zu einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft leistet.



# Warum recyceln?



Die Beteiligten der europäischen PVC-Wertschöpfungskette nehmen ihre Unternehmensverantwortung sehr ernst und setzen sich seit Mitte der 1990er Jahre intensiv mit dem Thema Nachhaltigkeit auseinander.

### Das Recycling von PVC hat folgende Vorteile:

- PVC-Recycling ist etabliert – von allen Kunststoffen hat es die längste Recycling-Historie;
- Für PVC existiert ein gut entwickeltes werkstoffliches Recycling;
- Wiederverwertbares PVC ist in großen Mengen verfügbar;
- Die Verwendung von PVC-Recyclat trägt zur Umsetzung einer gesteigerten Ressourceneffizienz bei und erlaubt die Einsparung von Rohstoffen;
- Der Einsatz von PVC-Recyclat reduziert Emissionen bei der Herstellung von neuen Produkten und vermindert die Deponierung.

Bei der Herstellung von PVC-Fensterprofilen mit einem Recyclinganteil von 70 % lassen sich im Vergleich zur Herstellung von Fensterprofilen ohne Recyclat – bis zu 50 % Energie, über 60 % Emissionen in Luft und Wasser einsparen.<sup>1</sup>

Da PVC ein thermoplastischer Kunststoff ist, lässt er sich viele Male recyceln, ohne seine technischen Eigenschaften zu verlieren.



Fensterprofilabfälle

## Erfolgreiches Recycling

Die europäische PVC-Branche unterstützt das Recycling bereits seit vielen Jahren – sowohl in der ersten Selbstverpflichtung Vinyl 2010 als auch in der aktuellen VinylPlus-Initiative mit konkreten Recyclingzielen. Dadurch wurden die Recycling-Mengen schon erheblich gesteigert.

Das wesentliche Ziel von Vinyl 2010 bestand in der Erhöhung des Recyclings von nichtregulierten post-consumer PVC-Abfallströmen (bereits reguliert: Verpackungsabfälle, Elektro- und Elektronikschrott und Altfahrzeuge). Daher stammte der Großteil zu verwertender Abfälle aus Bau und Abbruch.

Vinyl 2010 war überaus erfolgreich und hat seine eigene Zielvorgabe, bis 2010 jährlich 200.000 Tonnen post-consumer PVC-Recycling zu registrieren, deutlich übertroffen.

### > Mehrfaches Recycling

Abhängig vom Produkt lässt sich PVC mehrfach recyceln, da der Recyclingprozess keine messbaren Auswirkungen auf die Länge der PVC-Molekülketten hat. Das haben unter anderem Laborversuche mit PVC-Rohren bewiesen.

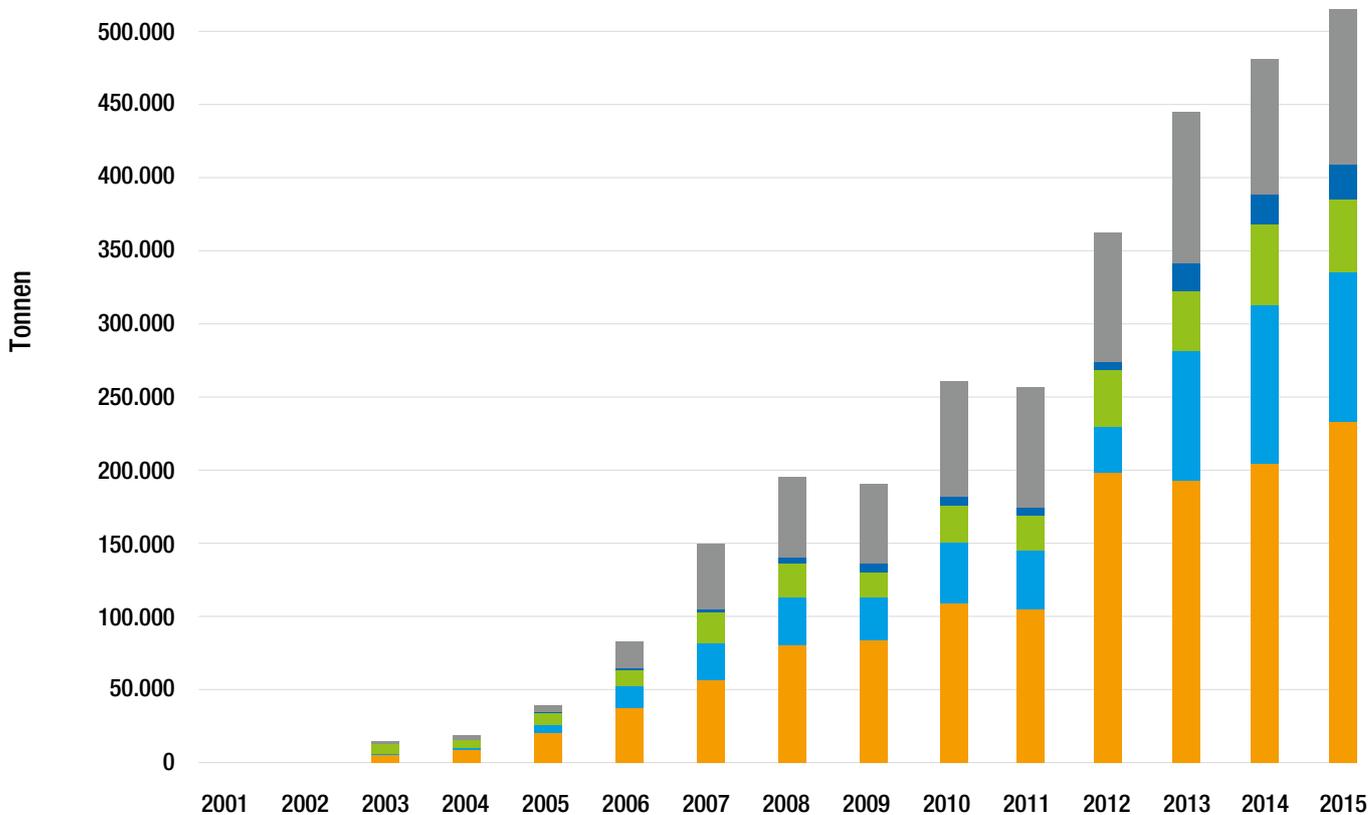
<sup>1</sup> [www.pvcinfo.be/bestanden/Hermes%20Study%20-%20PVC%20windows-English.pdf](http://www.pvcinfo.be/bestanden/Hermes%20Study%20-%20PVC%20windows-English.pdf)

## Woher stammt das PVC-Recyclat?

VinylPlus hat sich zum Ziel gesetzt, in 2020 eine Menge von 800.000 Tonnen recyceltes PVC zu registrieren. 2015 lag die europaweit recycelte Menge gemäß einer neu vereinbarten einheitlichen Definition für recyceltes PVC bereits bei

514.913 Tonnen. Die unten abgebildete Grafik zeigt die Ursprungsprodukte, die im Rahmen von VinylPlus recycelt wurden. Die Mehrheit des recycelten PVC stammt aus Fensterprofilen und verwandten Bauprodukten.

Im Rahmen der Initiativen Vinyl 2010 und VinylPlus recyceltes PVC



Kabel

Hart-PVC-Folien

Rohre und Fittings

Weich-PVC-Anwendungen  
(z. B. Dachbahnen und  
Dichtungsfolien, Bodenbeläge  
und beschichtete Gewebe)

Fensterprofile  
und ähnliche Produkte

**Gesamtmenge  
2015  
514.913  
recycelte Tonnen**

Auch Rohre und Fittinge, Kabel und Weich-PVC-Anwendungen, wie etwa Dachbahnen, Dichtungsfolien, Bodenbeläge und beschichtete Gewebe, tragen einen großen Teil zur Recycling-Menge bei.

Hart-PVC-Folienverbunde aus der Industrie (post industrial) trugen 2015 mit 10.850 Tonnen zum Gesamtergebnis bei.

Schätzungen gehen davon aus, dass 2020 erhebliche PVC-Abfallmengen vorhanden sein werden. Davon könnten bis zu 2,9 Millionen Tonnen als verfügbare Abfälle definiert werden (siehe Seite 15), wobei der Anteil der verfügbaren PVC-Abfälle aus dem Bereich Bauanwendungen auf etwa 1 Million Tonnen beziffert sein wird.

Das Recycling-Ziel von 800.000 Tonnen für 2020 ist eine echte Herausforderung. Teil des Gesamtziels ist die Technologie-Entwicklung und die jährliche Verwertung von 100.000 Tonnen schwer zu recycelnder PVC-Produkte wie zum Beispiel Verbunde und Materialien aus gemischten Abfällen.

**Die verfügbare Gesamtmenge an PVC-Abfällen aus dem Bausektor beläuft sich auf etwa 1 Million Tonnen.**

Es wird immer wichtiger, schwer zu erfassende Abfallströme zu erschließen, da leicht erfassbare Abfallströme zukünftig durch etabliertes werkstoffliches Recycling bereits ausgeschöpft sein werden. Ein Großteil der Abfälle in diesen Abfallströmen sind komplexe Produkte, für die verbesserte Recycling-Technologien zur Herstellung neuer Produkte entwickelt werden müssen.



Rohrleitungsabfälle

## > Mehr und mehr Recycler-Anlagen

Gegenwärtig gibt es mehr als 100 Betriebe in Europa, die PVC-Rohre, Profile, Bodenbeläge, beschichtete Gewebe und Folien recyceln. Die PVC-Branche hat sich verpflichtet, diese Zahl noch weiter zu steigern.



Gemischtes Hart-PVC-Recyclat

## Entsorgungswege

Für die Entsorgung von PVC stehen gegenwärtig folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- **Deponierung** – PVC-Produkte, die auf Deponien entsorgt werden, stellen auch langfristig keine Gefahr für die menschliche Gesundheit oder die Umwelt dar. Allerdings ist die Deponierung aus Sicht einer nachhaltigen Entwicklung inakzeptabel, da wertvolle Ressourcen verloren gehen. Viele Länder haben bereits die Deponierung von unbehandelten Abfällen verboten (z. B. Deutschland) oder planen ein solches Verbot.
- **Energetische Verwertung** – PVC hat einen Heizwert von etwa 19 Megajoule pro Kilogramm (MJ/kg). Dies entspricht dem Heizwert von Braunkohle und liegt erheblich über dem Durchschnittswert für Hausmüll (11 MJ/kg), der zur Stromerzeugung genutzt wird. Daher kann es einen sinnvollen Beitrag zur Stromerzeugung durch energetische Verwertung von Abfällen bieten.
- **Werkstoffliches Recycling** – Diese Art des Recyclings wird bereits seit Jahrzehnten in der PVC-Herstellung und -Verarbeitung genutzt. Ein Großteil dieser unvermischten Abfälle werden in der Produktion direkt wieder eingesetzt (industrial und post-industrial). Darüber hinaus hat die PVC-Branche verschiedene Initiativen ins Leben gerufen, in denen post-consumer PVC-Abfälle werkstofflich recycelt werden und am Markt etabliert sind.

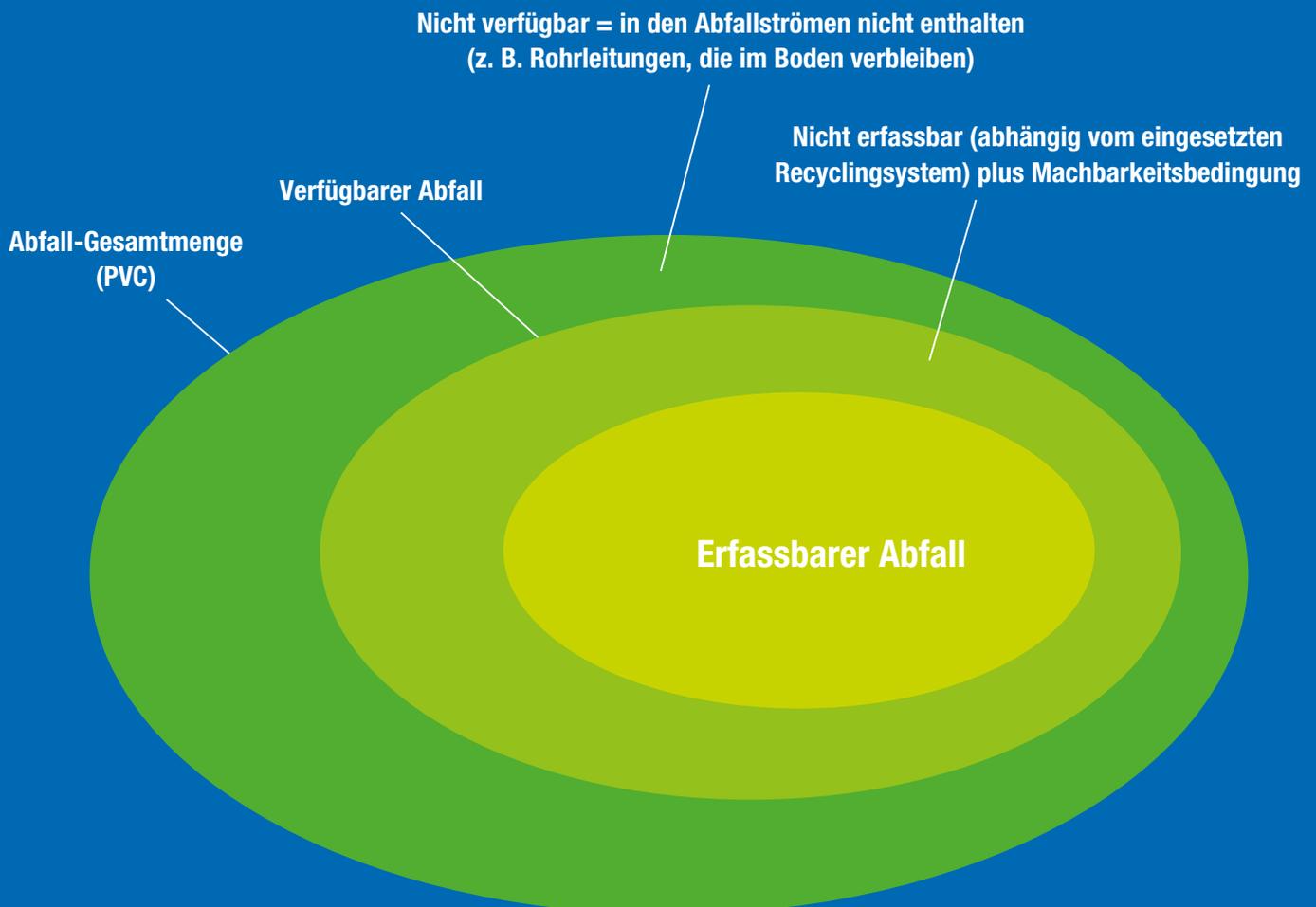


### > Definition von recyceltem PVC

Es gab bisher Abweichungen in der Verwendung des Begriffs „recyceltes PVC“ durch die verschiedenen Bereiche der Branche. Im Rahmen von VinylPlus wurde eine aktualisierte Definition vereinbart, die wie folgt lautet: „Recyceltes PVC bezeichnet weggeworfene PVC-Produkte oder -Halbzeuge im Abfallstrom, die diesem zur Nutzung für eine Neuproduktion entnommen werden. Hierzu gehören auch Verarbeitungsabfälle, die nicht weiter verwendet werden können.“

## > Weitere Definitionen

- **Abfall-Gesamtmenge** bezeichnet die PVC-Abfälle aller Branchen, deren Nutzungsdauer abgelaufen ist. Hierzu gehören auch Industrieabfälle (industrial, post-industrial, post-consumer).
- **Verfügbarer Abfall** bezeichnet PVC-Abfälle, die theoretisch aus dem Abfallstrom entnommen werden könnten. „Nicht verfügbare“ Abfälle, wie zum Beispiel Rohrleitungen, die in der Erde verbleiben und so nicht in den Abfallstrom gelangen, gehören nicht dazu.
- **Erfassbarer Abfall** bezeichnet PVC-Abfälle, die zum Recycling zurückgenommen, sortiert und transportiert werden können. Bestimmte Abfälle, deren Rücknahme oder Recycling aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen unmöglich ist, gehören nicht dazu. Es handelt sich hierbei um einen variablen Anteil, dessen Größe vom eingesetzten Recyclingsystem abhängig ist.



# Rechtliche Fragen



Zum Schutz der Umwelt hat die Europäische Kommission in einem Grünbuch die Forderung formuliert, die Verbrennung und Deponierung von Kunststoffabfällen zu beschränken. Das Recycling wird als bevorzugte Option beschrieben. Fragen zu früher verwendeten Zusatzstoffen in langlebigen Anwendungen müssen noch geklärt werden.

## Rechtlicher Rahmen

Die Abfallrahmenrichtlinie (2008/98/EG) und ihre Novellierungen war aus rechtlicher Sicht der wichtigste Schritt zur Verbesserung der Nachhaltigkeit in der EU. Weitere europäische Richtlinien wie etwa zu Altfahrzeugen (ELV) und Elektro- und Elektronikaltgeräten (WEEE) betreffen nur bestimmte Branchen und die von ihnen verwendeten „regulierten“ Wertstoffe.

Außerdem schränken viele Mitgliedstaaten der Europäischen Union die Deponierung von Kunststoffabfällen über die nationale Gesetzgebung ein.

## Früher verwendete Zusatzstoffe

Früher verwendete Zusatzstoffe sind Substanzen, deren Verwendung in PVC-Produkten eingestellt wird oder wurde, die jedoch in recyceltem PVC aus langlebigen Anwendungen enthalten sind und unter damaligem Rechtsrahmen verwendet wurden. Darunter fallen einige Stabilisatoren und Weichmacher, die heute rechtlichen Beschränkungen unterliegen.

In der Vergangenheit wurden bei der PVC-Verarbeitung auch geringe Mengen an schwermetallhaltigen Zusatzstoffen (Blei und Kadmium) eingesetzt: Stabilisatoren zum Schutz vor ther-



Abfallhierarchie gemäß der Abfallrahmenrichtlinie

mischem Abbau sowie Pigmente zur Farbgebung. Zur Herstellung von PVC-Produkten aus Neeware hat die PVC-Branche sowohl Kadmium wie auch bleibasierte Stabilisatoren durch unbedenkliche Alternativen ersetzt.

Zu den alternativen Stabilisatoren gehören vor allem Rezepturen auf Kalziumbasis. PVC-Compounds, die diese Stabilisatoren enthalten, machen bereits den Großteil des europäischen Marktvolumens aus.

Zu den Weichmachern gehören auch niedermolekulare Phthalate, die einer REACH-Beschränkung unterliegen. VinylPlus arbeitet gemeinsam mit der gesamten Branche und den Regulierungs-

behörden an einer Lösung dieses Problems. Die Industrie ersetzt die betroffenen Phthalate und andere Phthalate, deren Einsatz in Babyartikeln und Kleinkindspielzeug beschränkt ist.

### > Können früher verwendete Zusatzstoffe aus PVC-Produkten migrieren?

Unabhängige Studien haben gezeigt, dass aus Produkten wie etwa Rohren und Profilen, die im Rahmen der Bestrebungen der Industrie nach Nachhaltigkeit unter Verwendung von Recyclaten hergestellt werden, keine früher verwendeten Zusatzstoffe austreten. Diese Zusatzstoffe sind fest in die PVC-Polymerstruktur eingebettet.



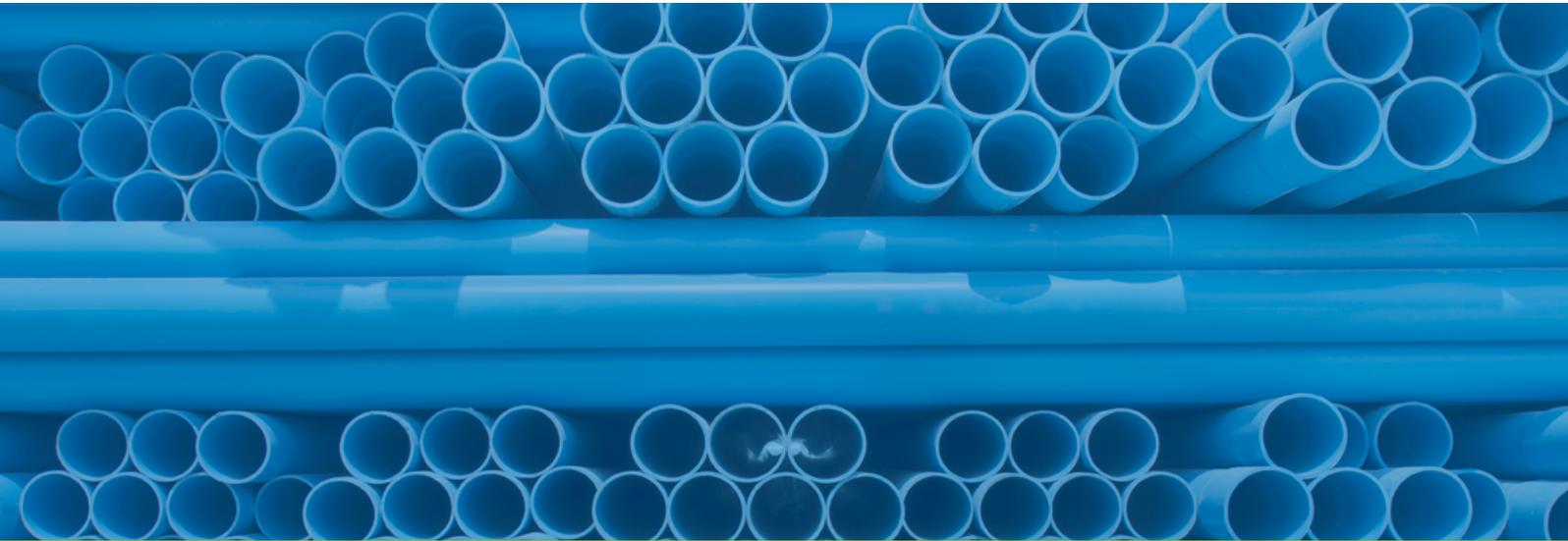
## Probleme des Recyclings

PVC-Abfälle und Recyclate können Kadmium enthalten. Die Vermarktung von kadmiumhaltigen Kunststoffen wird durch einen Zusatz (Verordnung 494/2011 vom 20. Mai 2011) zu Anhang XVII der REACH-Verordnung beschränkt. Dieser Zusatz erlaubt für feste Bauprodukte einen erhöhten Kadmiumgehalt, wenn dieses Kadmium aus Recyclat stammt.

Die Branche arbeitet gemeinsam mit den Regierungsbehörden an Lösungen, die sicherstellen sollen, dass Recycling-Aktivitäten nachhaltig und unter Einhaltung der rechtlichen Vorgaben

erfolgen. Um die PVC-Recyclingbetriebe bei der Einhaltung der Vorgaben der europäischen REACH-Verordnung zu unterstützen, wurde eine Online-Datenbank entwickelt, in der alle Kunststoffe und ihre zulässigen Anwendungen aufgeführt sind.

Dieses Werkzeug bietet Recyclingbetrieben die Möglichkeit, die erforderlichen „Sicherheitsdatenblätter für Recyclingbetriebe“ ([www.sdsrtool.com](http://www.sdsrtool.com)) abzurufen und weitere publizierte Leitfäden zu Rate zu ziehen.



### > Wie zuverlässig sind PVC-Recyclate?

Die Industrie sorgt dafür, dass Produkte aus Recyclat in Hinsicht auf ihre Qualität und Beständigkeit gleichwertig sind mit Produkten aus PVC-Neuware. Rohrleitungen und Profile aus Recyclat lassen sich mehr als acht Mal recyceln. Damit ist PVC ein sehr nachhaltiger Werkstoff mit einer Lebensdauer von hunderten von Jahren.



# Recovinyl: Sammeln und zertifizieren



Recovynyl wurde 2003 auf Initiative der europäischen PVC-Branche gegründet, mit dem Ziel, das Sammeln und das Recycling von PVC-Abfällen im Rahmen der freiwilligen Selbstverpflichtung – ursprünglich Vinyl 2010 und jetzt VinylPlus – zu fördern.

Im Laufe der Jahre hat die Organisation Recovynyl alle ihre Ziele verwirklicht, ein Erfolg, der sich insbesondere in der enormen Zunahme des Recyclings in ganz Europa ausdrückt. 2011 passte die PVC-Branche die Rolle von Recovynyl im Rahmen des neuen VinylPlus-Programms an.

Recovynyl befasst sich heute nicht mehr nur mit einer jährlichen Steigerung des PVC-Recyclings. Der Auftrag von Recovynyl ist heute auch die Steigerung der Ressourceneffizienz in der PVC-Branche auf Basis einer vertrauensvollen Zusammenarbeit von PVC-Recyclern und Verarbeitern durch die Schaffung eines Zertifizierungssystems für PVC-Recyclate.

**Recovynyl engagiert sich jetzt auch für eine Optimierung der Ressourceneffizienz in der PVC-Branche durch Vernetzung von Recycling- und Verarbeitungsunternehmen.**

Ziel von Recovynyl ist es, durch Zertifizierung und Förderung den Einsatz von 800.000 Tonnen PVC-Recyclat bis 2020 zu erreichen – ein wesentliches Ziel der freiwilligen Selbstverpflichtung VinylPlus.

Nachdem heute bereits signifikante Mengen an PVC recycelt werden, befasst sich Recovynyl in seiner neuen Strategie mit der Konsolidierung und Steigerung von Recyclat-Strömen aus post-industrial und post-consumer Abfällen durch Steigerung der Nachfrage nach Recyclaten von Seiten der Verarbeiter. Diese Strategie ist unter dem Namen „Pull-Marketing-Konzept“ bekannt.

Recovynyl kooperiert partnerschaftlich mit Verbrauchern, dem Handel, mit Gemeinden, Abfallentsorgungsunternehmen, Recycling- und Verarbeitungsunternehmen wie auch der Europäischen Kommission und nationalen und lokalen Behörden. Ziel ist die Zertifizierung von Unternehmen, die PVC-Abfälle recyceln und von zugelassenen Verarbeitungsunternehmen, die Recyclate kaufen, aus denen sich neue Produkte und Anwendungen herstellen lassen.

Von den 2015 erfassten 514.913 Tonnen an PVC-Recyclat, wurde der weitaus größte Teil von Recovynyl unter Nutzung eines neuen Erfassungssystems registriert und zertifiziert.



# PVC-Recycling- methoden

**WERKSTOFFLICH**

**ROHSTOFFLICH**

# Zusammenfassung

Für das Recycling von Kunststoffabfällen stehen zur Zeit zwei verschiedene Optionen zur Auswahl: Werkstoffliches und rohstoffliches Recycling. Das werkstoffliche Recycling wird vorzugsweise für sortenreine oder vorsortierte PVC-Abfälle angewandt und die Polymer-Struktur bleibt unverändert. Beim rohstofflichen Recycling werden hauptsächlich verschmutzte Mischkunststoffe oder Verbundwerkstoffe, die nicht werkstofflich zu verwerten sind, thermisch aufbereitet.

Das werkstoffliche Recycling wird in Europa bereits seit Jahrzehnten angewendet. Dabei handelt es sich sowohl um etablierte Standard-Verfahren als auch um spezielle Verfahren. Bei den Standard-Technologien werden die verschiedenen Bestandteile des Abfallstroms unmittelbar sortiert und zerkleinert, während bei den speziellen Technologien diesen Schritten eine Vorbehandlung vorausgeht, die sicherstellen soll, dass alle Fremdstoffe aus komplexen oder verunreinigten Abfallströmen entfernt werden. In beiden Fällen gewährleisten die hervorragenden Polymereigenschaften von PVC wiederholtes Recycling ohne Reduzierung seiner technische Leistungsfähigkeit.

Beim rohstofflichen Recycling wird der in den PVC-Abfällen enthaltene Kohlenstoff entzogen. Diese Methode kommt vor allem bei Abfällen zum Einsatz, die für ein werkstoffliches Recycling zu komplex sind (z. B. Verbundwerkstoffe). Der Kohlenstoff wird anschließend als Rohstoff zur Produktion von Chemikalien verwendet. Bei diesen Prozessen fällt auch Salzsäure an, die manchmal wiederverwendet oder zu Kalziumchlorid umgewandelt wird. Das rohstoffliche Recycling umfasst drei Prozessarten: Vergasung, Pyrolyse und Dehydrochlorierung.

Durch die zunehmende Komplexität der Abfallströme müssen beide Methoden stets innovativ sein, um sich den ändernden Anforderungen der Nachhaltigkeit anzupassen. Abfälle, die sich aus

wirtschaftlichen oder ökologischen Gründen nicht für ein werkstoffliches und rohstoffliches Recycling eignen, können energetisch verwertet werden.

Eine Reihe verschiedener Recyclingmethoden sind in Europa bereits etabliert, während sich andere noch in der Entwicklungsphase befinden.

## Werkstoffliches Recycling

Das werkstoffliche Recycling lässt sich unter anderem auf vier verschiedene Weisen optimieren.

- Durch verbesserte Trennverfahren, erprobt durch **NeidHardt Recycling (S. 28)** (Aluminium-PVC-Verbundstoffe), **R-Inversatech (S. 30)** (Hochgeschwindigkeits-Schlagtechnik), **Jutta Hoser (S. 30)** (Produktion von Gewächshausmatten aus Folien und beschichteten Geweben), **Caretta (S. 31)** (Zerkleinerung und Granulierung) und **Texyloop® (S. 31)**, ein Verfahren zur Trennung von Verunreinigungen sowie der Trennung von Polyesterfasern im Lösemittelverfahren.
- Durch eine verbesserte Behandlung von gemischten PVC-Abfällen (etabliertes werkstoffliches Recycling mit besonderen Merkmalen). Zu den untersuchten Verfahren gehören die kryogene Vermahlung in der Recyclinganlage der **AgPR (S. 32)** in Deutschland und die der **Rubber Research Elastomerics**, bei der PVC-Abfälle mit zerkleinerten Altreifen vermischt werden (**S. 32**).
- Die Kombination von PVC-Recyclaten mit anderen Materialien wie **Leichtbeton (S. 33)** und **Holz-PVC-Verbundwerkstoffen (S. 33)**.
- Das verbesserte Recycling von komplexen Abfallströmen, wozu das Verfahren **VinyLoop** von **Solvay (S. 34)** gehört (Auflösen, filtern und abscheiden von Verunreinigungen).

## Rohstoffliches Recycling

Zwei der drei wichtigsten rohstofflichen Recyclingverfahren werden unter Berücksichtigung neuer Technologien diskutiert.

- **Sumitomo Metals (S. 36)**, und das **Ebara-Verfahren (S. 38)** setzen jeweils auf die Vergasung, eine Hochtemperaturreaktion unter reduzierter Zuführung von Luft, Sauerstoff und Dampf, bei der PVC zu Synthesegasen und Kohlendioxid umgewandelt wird. Mit diesem Ziel setzt Sumitomo Technologien aus der Eisen- und Stahlproduktion zur Erzeugung von hochenergetischen Synthesegasströmen ein. Im Ebara-Verfahren werden feste Reststoffe in eine stabile Granulatschlacke umgewandelt, die sich weiter verwerten lässt.
- Die Dehydrochlorierung kann in Wasser (Redop, Alzchem) oder in ionischen Flüssigkeiten (KU Leuven) erfolgen. Im **Redop-Prozess (S. 39)** wird das hierbei erzeugte Produkt gemeinsam mit Kohle in einen Hochofen injiziert, in dem aus Erz Roheisen produziert wird. Auf Dehydrochlorierung in Wasser setzt auch **Alzchem (S. 40)** mit einer Technik, die darauf abzielt, mit einem vorgeschalteten Extruder den Kunststoffabfällen möglichst viel Chlor zu entziehen, bevor diese in das Reaktionsgefäß eingebracht werden. In einem von der belgischen Universität **KU Leuven (S. 40)** untersuchten Prozess erfolgt die Dehydrochlorierung dagegen in einer ionischen Flüssigkeit. Hierdurch lassen sich Chlorwasserstoffe extrahieren und die Bildung von Salzen vermeiden.

## Energetische Verwertung mit rohstofflichem Recycling

Bei der Verbrennung werden Chlorwasserstoffe und Salze aus Teilen des Abfallstroms gewonnen.

**Dow / BSL (S. 41)** setzt seit 1999 einen Drehrohrofen zur Gewinnung von Chlorwasserstoffen und Energie aus PVC-Abfällen, verunreinigten Ölen, Klärschlämmen und festen Sonderabfällen, die chlorierte Substanzen enthalten, ein. Diese Anlage wurde kürzlich von der Firma SUEZ übernommen.

Die **MVR (S. 42)** in Hamburg ist zur Abscheidung von Chlorwasserstoffen aus jährlich 320.000 Tonnen Abfall in Form einer 30-prozentigen Salzsäure ausgelegt, die in ihrer Reinheit den Anforderungen der Chemieindustrie entspricht.

**HALOSEP® (S. 42)** und **SOLVAir® (S. 42)** ermöglichen dagegen die Rückgewinnung von Salzen. Im ersten Verfahren lassen sich Kalziumchlorid-Lösungen gewinnen, durch deren Extraktion die zu deponierende Abfallmenge reduziert wird, während im zweiten Verfahren Natriumhydrogencarbonat aus den Neutralisationsgasen der Verbrennung extrahiert und wiederverwertet wird und dadurch eine Reduzierung der Rückstände ermöglicht.

Die folgenden Seiten beschreiben die hier aufgeführten Technologien im Detail und erklären deren Funktionsweise und Stärken sowie mögliche Schwächen.



# PVC-Recycling: Welche Verfahren stehen zur Auswahl?

Unter einem zunehmenden regulierungsrechtlichen Druck zur deutlichen Reduzierung von Kunststoffabfällen auf Deponien und dem offensichtlichen Interesse der Industrie an der Umsetzung von Nachhaltigkeitsstrategien nimmt die Bedeutung verbesserter PVC-Recycling-Technologien zu. Für das Recycling von PVC-Abfällen stehen zwei maßgebliche Verfahren zur Auswahl: **Werkstoffliches Recycling** und **rohstoffliches Recycling**.

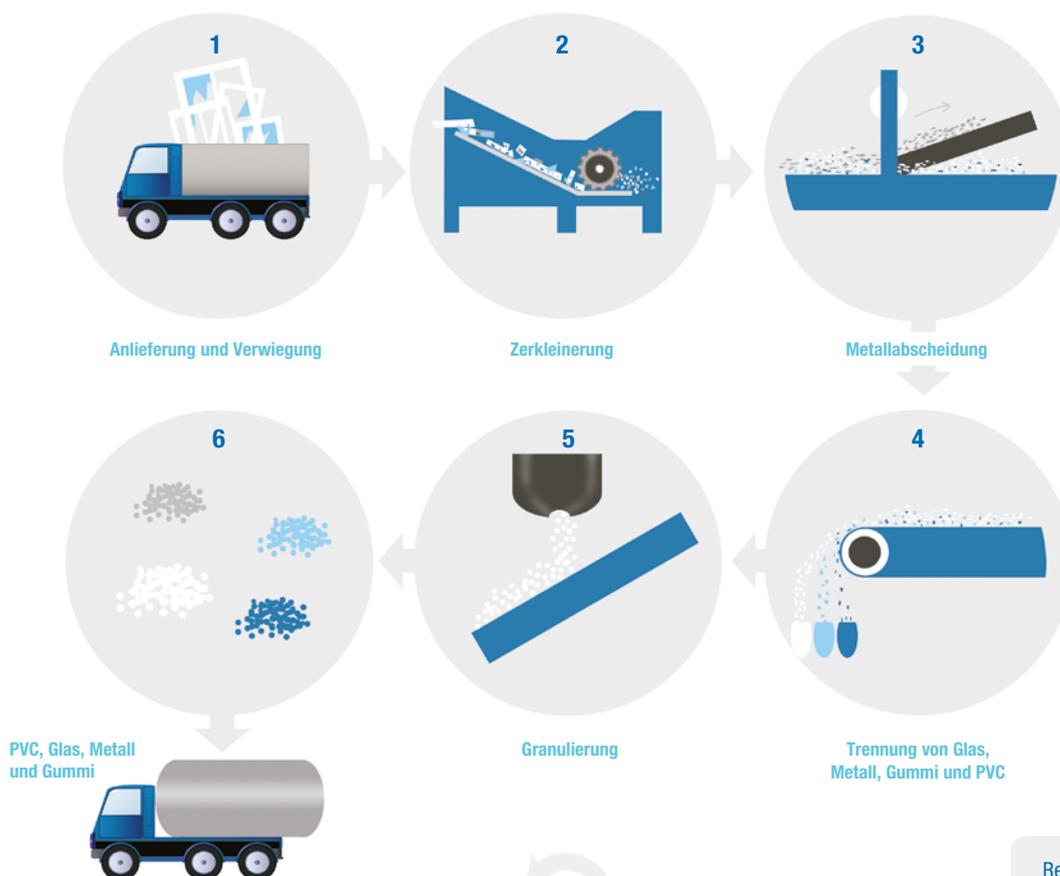
## Werkstoffliches Recycling

Zum werkstofflichen Recycling gehören Verfahren, bei denen die Polymerketten nicht aufgebrochen werden. Diese Methode eignet sich für vorsortierte und homogene Abfallströme. Die werkstofflichen Recyclingverfahren werden wiederum in zwei Unterkategorien aufgeteilt: Konventionelle und spezielle Technologien.

Bei den konventionellen Technologien handelt es sich um seit langem etablierte Verfahren, bei denen die Bestandteile der Abfallströme üblicherweise sortiert, zerkleinert und voneinander ge-

trennt werden. Dabei entsteht ein PVC-Recylat in Form von Mahlgut oder Granulat, das zur Herstellung neuer Produkte genutzt werden kann.

Zu den speziellen Technologien gehören Prozesse, bei denen in vielen Fällen weitere Aufbereitungsschritte der Abfallströme erfolgen, um PVC aus schwierig zu behandelnden oder komplexen Abfallströmen abzutrennen. Dazu zählt auch der Einsatz von Lösemitteln. Ein Beispiel hierfür ist der VinylLoop®-Prozess (ausführlichere Informationen hierzu auf den Seiten 33–34).



## > Vorteile des werkstofflichen Recyclings

Für Abfallströme, die ausschließlich aus einer Abfallart oder einem PVC-Produktsegment bestehen, ist das werkstoffliche Recycling die einfachste und sinnvollste Lösung. Diese Methode besteht im Wesentlichen aus dem Zerkleinern von Abfallstoffen zu einem Mahlgut oder Granulat, das im Anschluss zur Herstellung von neuen PVC-Produkten genutzt werden kann.

Dank der thermoplastischen Eigenschaften von PVC lässt sich der Werkstoff wiederholt aufschmelzen und zu neuen Produkten formen, ohne dabei seine technische Leistungsfähigkeit zu verlieren. Je nach der Art des ursprünglichen Abfalls kann eine Vor- oder Nachbehandlung erforderlich sein, um Verunreinigungen zu entfernen.

## > Zunehmend komplexere Abfallströme

Auch komplexere Abfallströme, die sich aus unterschiedlichen Materialien zusammensetzen, sollen für das Recycling genutzt werden. Hierzu müssen Aufbereitungsprozesse und Recycling-Technologien weiter entwickelt werden.

VinylPlus untersucht zur Zeit eine Reihe von Entwicklungen, mit denen sich das konventionelle werkstoffliche Recycling auf die genannten Abfallströme ausweiten lässt. Hierzu gehören:

- Neuartige oder verbesserte Methoden zur Abfallerfassung und -trennung, wie etwa:
  - Schwimm-/Sink-Verfahren, nutzen die unterschiedlichen Dichten von Materialien und Trennflüssigkeiten zur Separation;
  - Vergleichbare Verfahren, bei denen Kräfte in Zentrifugen und Hydrozyklonen zur Trennung genutzt werden;
  - Schaum-Flotations-Verfahren, hierbei findet die Trennung von Stoffen über Schaum und Flüssigkeit statt;
  - Elektrostatische Trennung nach Koronaaufladung oder reibungselektrischer Aufladung;
  - Optische Identifizierung durch mittleres Infrarot, nahes Infrarot, Fourier-Transformations-Infrarot, Ultraviolett oder verschiedene Laser- und Röntgenidentifikationsverfahren, die vor einer mechanischen oder pneumatischen Trennung zum Einsatz kommen.
- Konventionelles werkstoffliches Recycling mit besonderen Merkmalen.
- Kombination von verwertetem PVC mit anderen Materialien.

Kurzbeschreibungen einiger vielversprechender Technologien finden Sie in dieser Broschüre ab S. 28.



PVC-Fensterprofile sind vollständig wiederverwertbar.

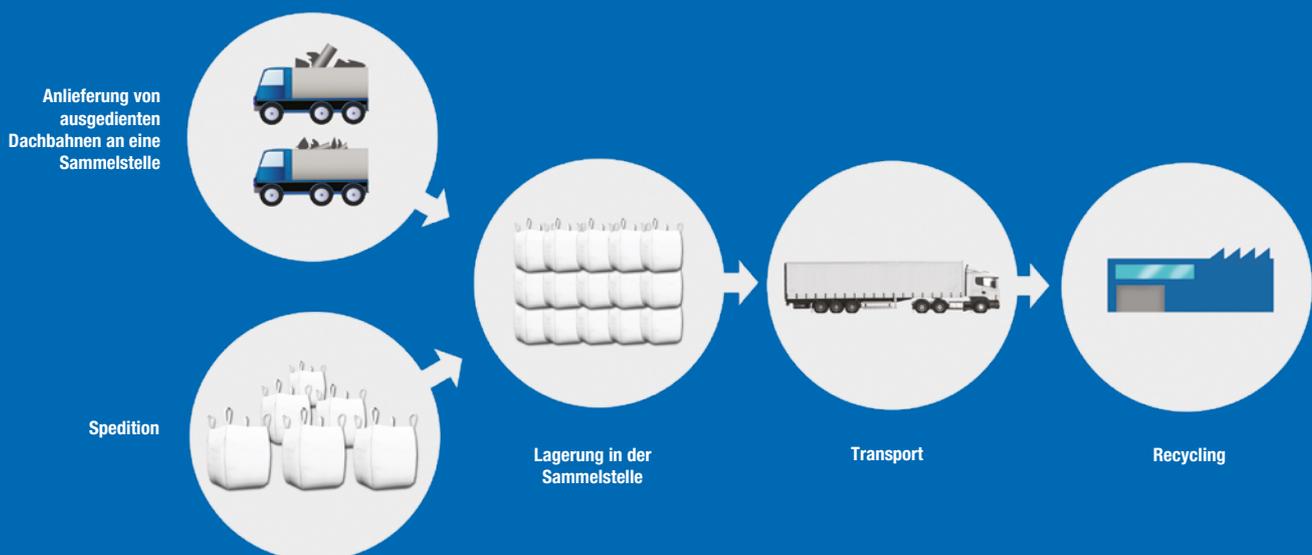
Die Recyclate sind dabei Bestandteil des Kreislaufs.

## Rohstoffliches Recycling

Das rohstoffliche Recycling bietet sich eher für unsortierte Kunststoffmischungen und Abfallströme mit Verbundstoffen an. Bei diesen Verfahren wird der PVC-Abfallstrom üblicherweise thermisch behandelt, um Chlorwasserstoff zu gewinnen, der dann wiederum zur PVC-Herstellung oder in anderen Prozessen genutzt werden kann.

Der Kohlenwasserstoffanteil des PVC lässt sich zur Erzeugung von Synthesegas (einer Mischung aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid) einsetzen, welches als Rohstoff in der chemischen Industrie verwendet wird.

### Recycling von PVC-Dachbahnen



# Recyclingmethoden und -technologien

Gegenwärtig stehen verschiedene PVC-Recyclingmethoden und -technologien zur Verfügung, während sich andere noch in der Entwicklung befinden. VinylPlus konzentriert sich auf jene Methoden, die über das Potential verfügen, gemischte und schwer zu verwertende PVC-Abfälle auf wirtschaftliche und nachhaltige Weise zu nutzen.

## Werkstoffliches Recycling

Das vorrangige Ziel von VinylPlus ist die Förderung des werkstofflichen Recyclings unter Berücksichtigung der Qualität des gesammelten Abfalls und der Anforderungen der Verarbeitungsverfahren sowie der Endprodukte. Unter dieser Maßgabe werden in ganz Europa neue Verfahren entwickelt und bestehende Verfahren optimiert, mit

folgenden Zielen:

- Bessere Sortierung der Abfälle;
- Bessere Behandlung von gemischten Kunststoffabfällen;
- Bessere Behandlung von Verbundwerkstoffen;
- Verbessertes Recycling von komplexen Abfallströmen.

### Neuartige oder verbesserte Abfallsortierung

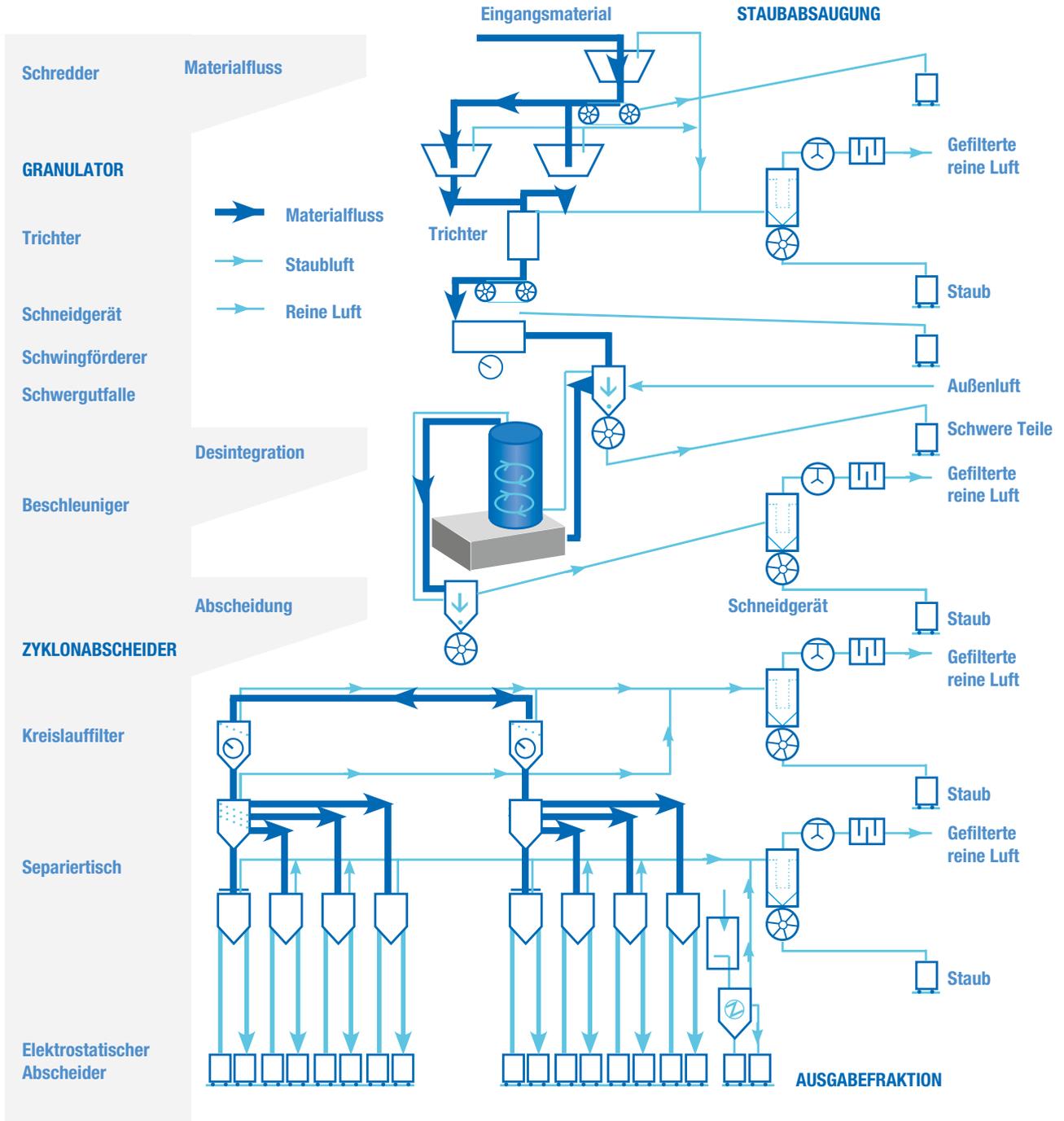
Durch diese verbesserten Trennverfahren lassen sich gemischte oder schwer zu verwertende Abfallströme so aufteilen, dass sie für das konventionelle werkstoffliche Recycling genutzt werden können.

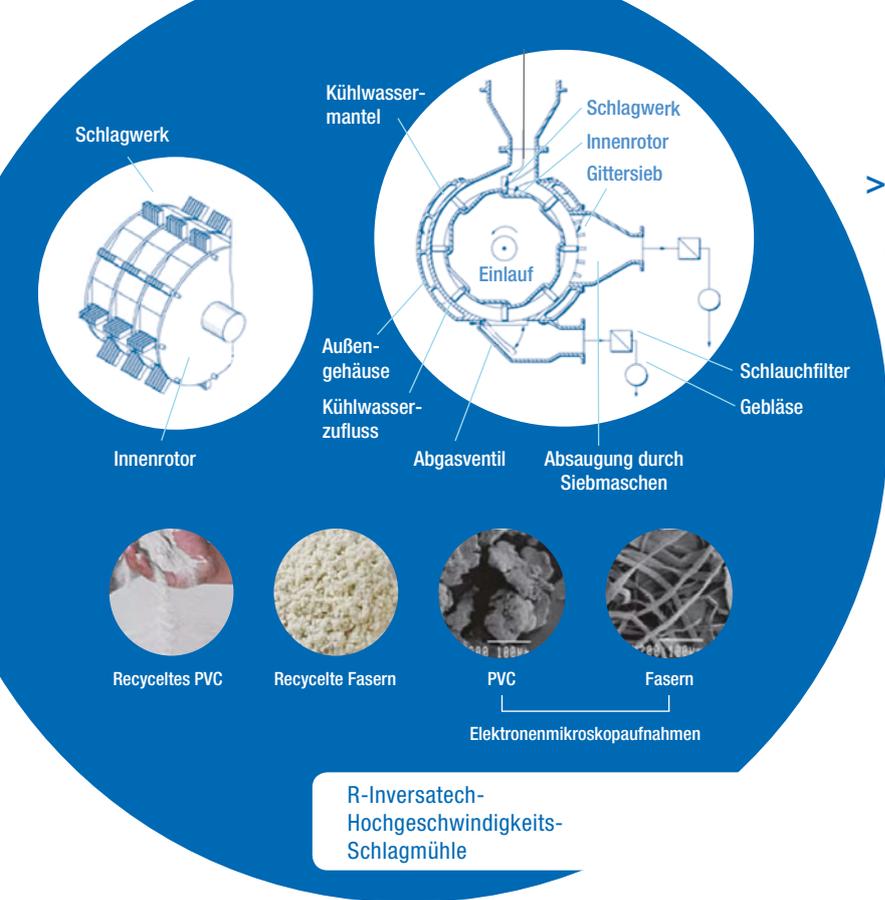
### > Neidhardt Recycling GmbH

Das Ausgangsmaterial ist hier eine PVC-Aluminium-Verbundfolie, die für Blisterverpackungen genutzt wird. Die reine Verbundfolie wird in Stücke von 20mm zerkleinert. Dieses Shredder-Material wird anschließend über ein Förderband in eine Zentrifuge dosiert, wo es in einem Luftstrom zwischen Rotor und Stator durch die hohe Rotationsgeschwindigkeit zur Trennung (Delamination) von Aluminium und PVC kommt. Während dieses Prozesses verformen sich die Aluminiumfolien zu

Kugeln, während die PVC-Folien flach bleiben. Die getrennten Materialien werden anschließend über vier verschiedene Siebe geführt und in folgende Fraktionen getrennt: < 0,5mm, 0,5–0,7 mm und 0,7–1,0mm. Aluminium und PVC werden anschließend elektrostatisch voneinander getrennt. Die PVC-Fraktion wird bei der Herstellung von Rohren und Abstandsprofilen wieder eingesetzt, während das Aluminium u. a. als Rohstoff in Gießereien verwendet wird.

# RESULT Aufbereitungsverfahren





## > R-Inversatech

Bei diesem Verfahren aus Japan werden PVC-Abfälle wie beschichtete Gewebepflanen mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitsschlagmühle in Weich-PVC- und Faser-Fractionen getrennt. Die Fasern können als Dämmstoffe wiederverwendet werden. Das PVC-Recyclat kann zur Herstellung unterschiedlicher Weich-PVC-Produkte eingesetzt werden.

## > Jutta Hoser

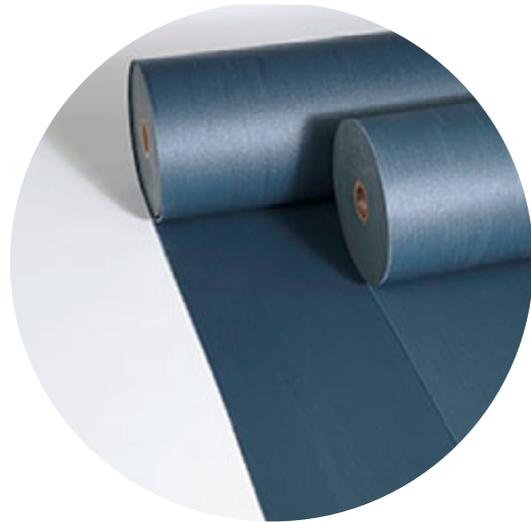
Jutta Hoser stellt aus recycelten PVC-Verbundfolien, Weich-PVC-Folien und beschichteten Geweben Gewächshaus-Matten her. Die Matten verfügen über Drainagelöcher, sodass die Pflanzen von unten bewässert werden können. Im Anschluss kann das Wasser wieder abgelassen

werden, sodass eine saubere Arbeitsfläche zurückbleibt. Durch ihre dämmende Wirkung werden die Pflanzen bis zu einem gewissen Grad vor Frost geschützt. Die Bodenmatten können von kleineren Arbeitsgeräten befahren werden und lassen sich leicht reinigen.



## > Caretta

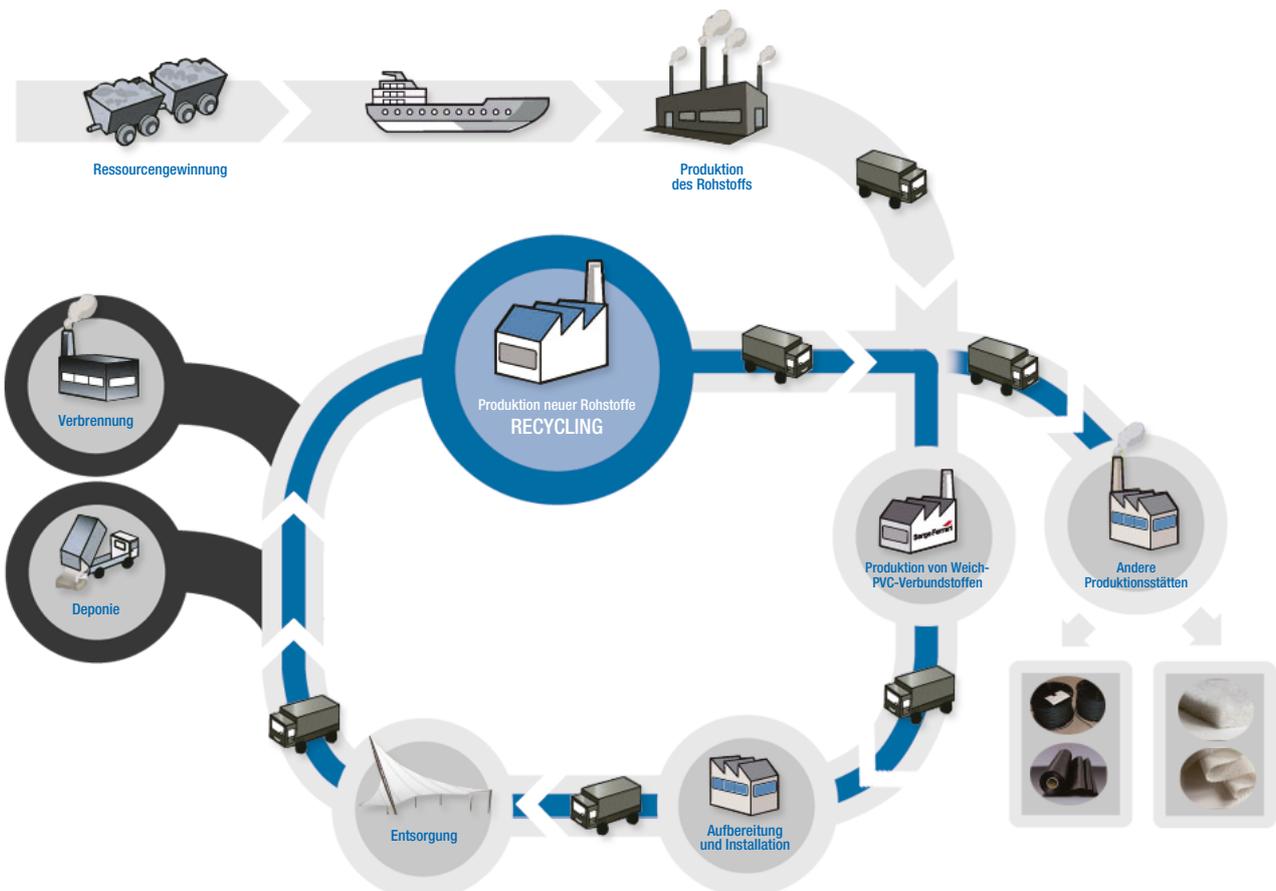
Hemawe/Caretta ist ein Recyclingunternehmen, das in Erfurt eine selbstentwickelte Recyclinganlage betreibt. Mit dem Verfahren lassen sich Gewebe und Stoffe aus Weich-PVC-Folien separieren. Wertstoffe, die mit Vlies, Stofffasern oder Textilien beschichtet sind, werden in einen Schredder geführt und in Abschnitte von etwa 4–6 cm Länge zerkleinert. Die Schredderstücke werden anschließend granuliert und durch ein Sieb geführt, das die Fasern trennt. Das PVC wird zur Herstellung von Mauersperrbahnen, Schallschutzfolien und Dämmmatten zur Isolierung von Rohrleitungen verwendet.



## > Texyloop®

Dieses Verfahren ist eine Ergänzung zur VinylLoop-Anlage (siehe unten). In diesem Anlagenteil werden die Polyesterfasern aus PVC-Verbunden zurückgewonnen und in der Texyloop-Anlage wiederverwertet. Dazu wird in der VinylLoop-Anlage das PVC

aufgelöst und so von den Fasern getrennt. Die gewonnene PVC-Fraktion wird in der VinylLoop-Anlage zu Recyclatcompounds verarbeitet. Das Texyloop-Werk in Ferrara in Italien hat eine Jahreskapazität von 2.000 Tonnen.



## Konventionelles werkstoffliches Recycling mit speziellen Merkmalen

Kennzeichnend hierfür sind werkstoffliche Recyclingverfahren (d. h. die PVC-Molekülketten werden nicht aufgebrochen) mit ergänzenden Merkmalen.

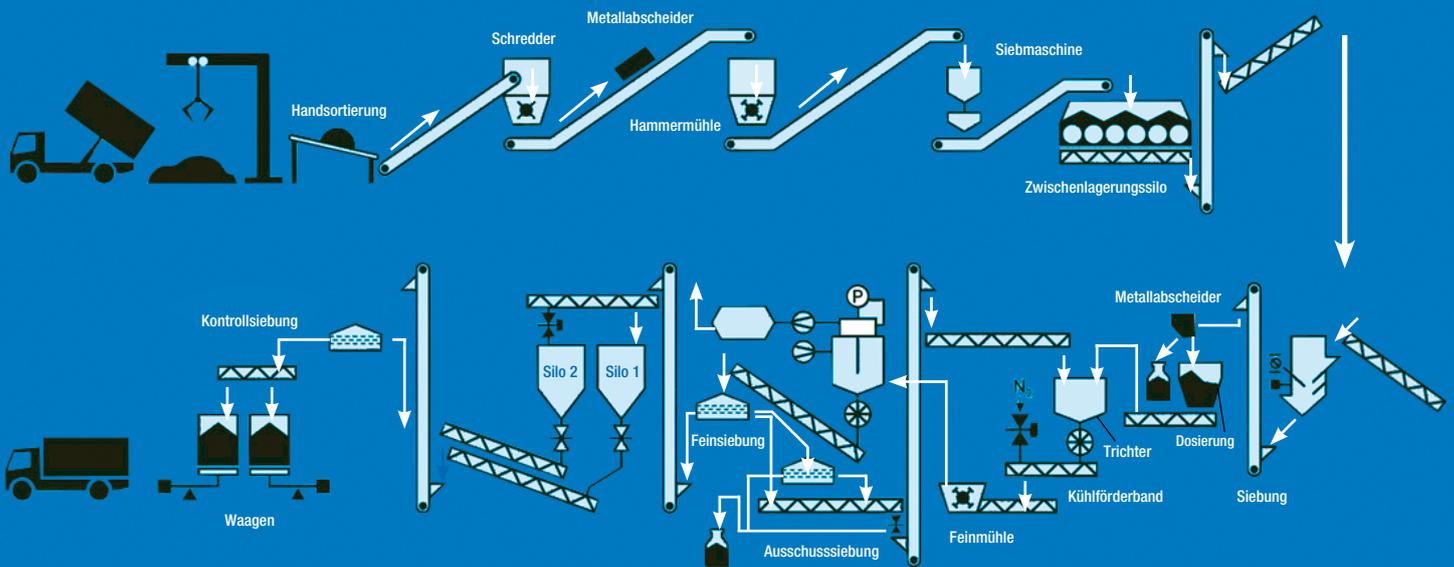
Produktion von massiven Produkten aus gemischten Kunststoffabfällen: Gemischte Kunststoffabfälle werden über konventionelle Verfahren wie Extrusions- oder Spritzgussverfahren in dickwandige Produkte umgewandelt. Typische Produkte sind u. a. Parkbänke, Straßenschwellen oder Bakenfüße.



### > AgPR-Bodenbelagsrecyclingverfahren

Die kryogene Mahl- und Recyclinganlage der AgPR in Troisdorf (Deutschland) wurde 1993 erbaut und

nahm 1994 die Produktion auf. Ihre Produktionskapazität beläuft sich auf 4.000 Tonnen pro Jahr.



Das AgPR-Verfahren

### > Rubber Research Elastomerics

Dieses US-amerikanische Unternehmen nutzt ein patentiertes Verfahren zum Mischen von PVC-Abfällen wie Planen und Kabelummantelungen mit geschredderten Gummireifen unter Verwendung

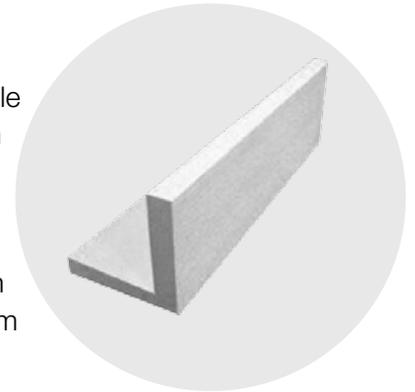
eines speziellen Verträglichkeitsmachers (compatibiliser). Bei einer Mischung im Verhältnis von 50/50 werden Produkte gewonnen, die in bestimmten Bauanwendungen Holz ersetzen können.

## Kombination mit anderen Materialien (Nicht-Kunststoffe)

### > Leichtbeton

PVC-Abfall wird mit Beton vermischt, um die Dichte des Betons zu senken. Solche „Leichtbeton“-Mischungen werden derzeit üblicherweise mit Polystyrol hergestellt. Zu den Anwendungen gehören nicht-tragende Bauteile, die im Dachbereich oder als Dämmwände und Verkleidungsplatten eingesetzt werden. Erste Tests mit PVC-Abfällen verliefen vielversprechend, obwohl beim Einsatz

von Weich-PVC nicht alle der strengen Auflagen der Migrationstests erfüllt wurden. Ein Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass sie in vielen kleinen Anlagen zum Einsatz kommen kann.



### > Verbunde aus PVC und Naturmaterialien

Verbunde aus Holz und Kunststoffen gewinnen zunehmend einen Anteil am Markt für Terrassenbeläge. US-amerikanische Unternehmen erproben zurzeit weitere Anwendungen, wie etwa tragendes Bauholz oder Fassadenverkleidungen. Es gibt zudem Aussagen, dass einige Terrassenbeläge aus 95% Recyclinganteil (aus Altholz, Sägespänen und Kunststoff) hergestellt wurden. Bisher wurde

für diese Anwendung hauptsächlich Recyclat aus PE und PP verwendet. PVC-Recyclat wurde für diese Anwendung ebenfalls getestet.



## Spezielles werkstoffliches Recycling

Im Vergleich zu den etablierten werkstofflichen Recyclingverfahren sind die speziellen werkstofflichen Recyclingmethoden meist komplexer und für PVC-Produkte geeignet, die besonders schwer zu verwerten sind. Es handelt sich hier überwiegend um Verbunde oder Materialien, die für das konventionelle Recycling zu stark verunreinigt sind. Beispiele für solche Abfallströme sind PVC-Kabel, bei denen Verunreinigungen mit Kupfer auftreten, oder Planen, bei denen das PVC mit Polyesterfasern kombiniert wurde.

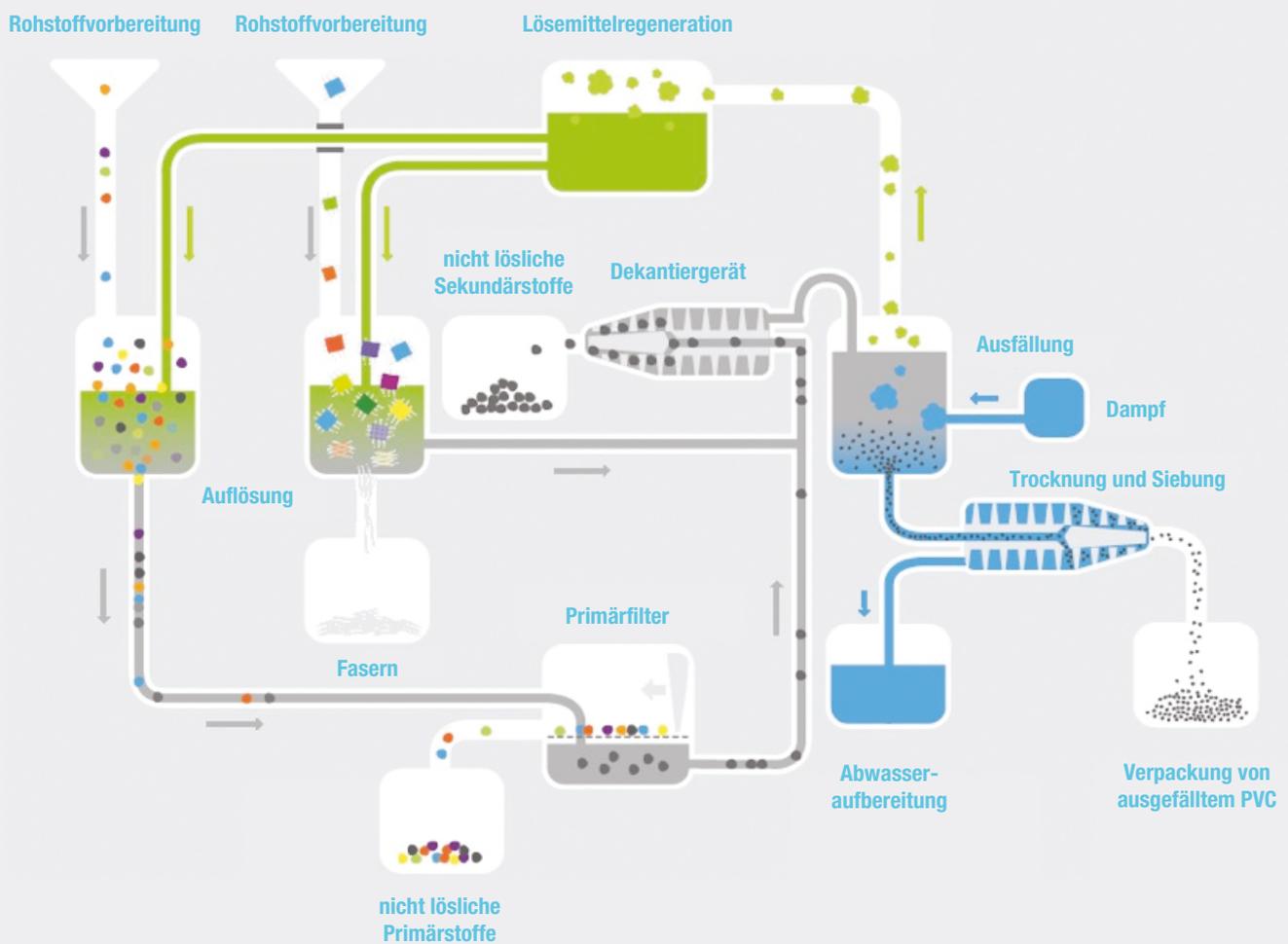
Um nachhaltige Lösungen für eine effiziente Ressourcennutzung dieser PVC-Verbund-Abfälle zu finden, hat die Forschung in diesem Bereich für VinylPlus höchste Priorität.

Das Recycling-Consortium Resysta® ([www.resysta.com/en](http://www.resysta.com/en)) produziert holzähnliche Materialien auf der Basis von PVC und Reishülsen, die homogen mit der Polymer-Matrix verbunden sind.

Die in diesem Bereich vielversprechendste Technologie ist zweifellos das bereits kommerziell genutzte VinylLoop®-Verfahren (siehe folgende Seite). Andere Technologien, wie etwa Poly-Tec, bei dem PVC vor der Abscheidung weich gemacht wird, sind bisher noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium. Bei diesen Verfahren handelt es sich im Prinzip immer noch um werkstoffliche Recyclingverfahren, da die PVC-Moleküle nicht aufgebrochen werden. PVC wird hier durch ähnliche Prozesse getrennt, wie sie in der chemischen Industrie angewandt werden.

## > VinyLoop®

Hierbei handelt es sich um ein patentiertes Verfahren des Solvay-Konzerns. In diesem Lösemittelverfahren wird PVC aufgelöst, gefiltert und so von Verunreinigungen und anderen Materialien getrennt und danach wieder ausgefällt. Dabei wird das Lösemittel im geschlossenen Kreislauf verwendet. Auf diese Weise werden die PVC-Anteile aus Verbundmaterialien gewonnen, ohne dass das Lösemittel verloren geht. Die folgende Abbildung soll dieses Verfahren verdeutlichen:



Der VinyLoop Prozess

Das Verfahren besteht aus fünf Schritten:

### 1. Vorbehandeln

Kunststoffabfälle werden gereinigt, gemahlen und gemischt.

### 2. Auflösen

Mithilfe eines bestimmten Lösemittels werden die PVC-Anteile aufgelöst. Das Lösungsmittel wird im geschlossenen Kreislauf gefahren und kontinuierlich aufbereitet.

### 3. Filtern und Dekantieren

Verunreinigungen werden nicht aufgelöst. Sie werden in einem ersten Filtervorgang getrennt und anschließend in einer Zentrifuge dekantiert. Nach dem Abscheiden werden die Sekundärstoffe mit reinem Lösemittel gewaschen, um noch verbliebenes PVC ebenfalls aufzulösen.

### 4. Ausfällen des zurückgewonnenen PVC

Das gelöste PVC (PVC-Compound) wird in Absetzbecken zurückgewonnen, in denen das Lösemittel durch einströmenden Dampf verdunstet und das PVC ausfällt.

### 5. Trocknen

Nachdem dem Wasser-PVC-Gemisch überschüssiges Wasser entzogen wurde, wird das feuchte PVC in einen Trockner geführt.

Das PVC fällt in Form von Mikrogranulaten aus. Mögliche Anwendungen dieses PVC-Recyclats sind Beschichtungen für Dichtungsfolien, Teichfolien, Schuhsohlen, Schläuche, Tunnelnfolien, beschichtete Gewebe und PVC-Platten. Das seit Jahren betriebene Werk im italienischen Ferrara verfügt über die Kapazität zur Aufbereitung von jährlich 10.000 Tonnen PVC-Abfällen.

## Rohstoffliches Recycling

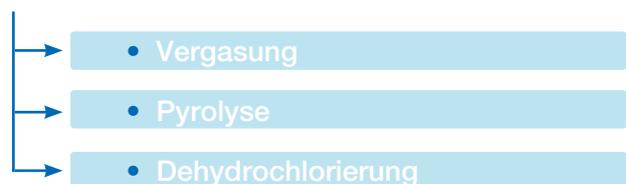
Bei rohstofflichen Recyclingverfahren wird dem PVC der Kohlenstoff in niedermolekularer Form (oder organischer Verbindungen mit einem niedrigen Molekulargewicht) entzogen, um anschließend als Ausgangsstoff für chemische Verfahren genutzt zu werden. Bei einigen Verfahren werden auch Chlorwasserstoff (HCl) oder neutralisierte Salze gewonnen.

### 1. Vergasung

Vergasung ist eine Hochtemperaturreaktion unter reduzierter Zuführung von Luft, Sauerstoff und Dampf. Ein Teil der PVC-Abfälle wird dabei in Kohlendioxid umgewandelt und der Rest in Synthesegas, das zur Herstellung von chemischen Ausgangsstoffen wie Methanol, Ammoniak, Oxalaldehyden oder von Kraftstoffen genutzt wird.

Einer der Vorteile dieses Verfahrens ist, dass Chlor hier fast ausschließlich in Form von Chlorwasser-

stoff gewonnen wird, der leicht zu reinigen und zu verwerten ist. Drei verschiedene Prozesse sind zu unterscheiden, wobei allerdings auch Mischformen möglich sind:



In wirtschaftlichem Umfang wird die Vergasung bereits erfolgreich in großen Kohleverarbeitungsbetrieben (Sasol in Südafrika) oder mit gemischten Kunststoffabfällen durch die Ebara Ube Industries Processes (EUP) in Japan betrieben.

Das Verfahren setzt hohe Drücke und Temperaturen voraus. Zudem sind erhebliche Investitionen und sehr große Kapazitäten erforderlich, um wirtschaftlich arbeiten zu können.

## > Sumitomo Metals, Japan

Beim Sumitomo-Verfahren werden Technologien aus der Eisen- und Stahlindustrie zur Vergasung von PVC-Abfällen und zur Schmelze von sekundär anfallender Asche genutzt. Mit diesem Verfahren lassen sich sowohl gemischte Kunststoffabfälle als auch reine PVC-Abfallströme verarbeiten.

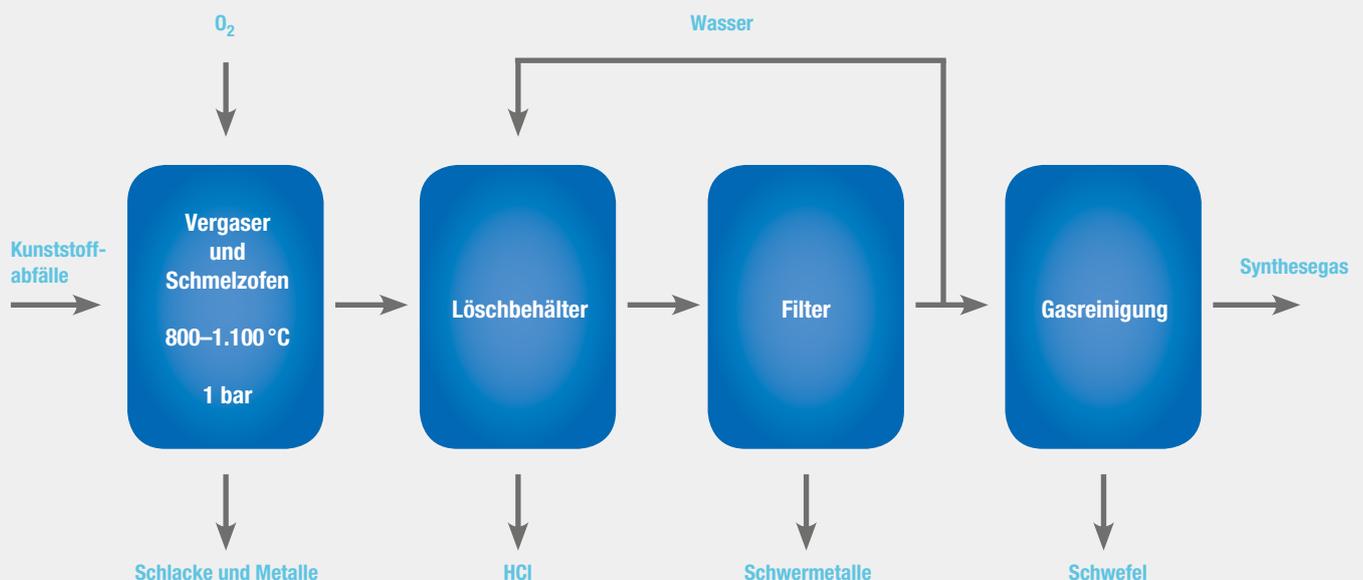
Der Vergaser besteht aus einer Festbettstufe mit einer Temperatur von 2.000 °C und einer Fließbettstufe im oberen Bereich des Reaktors mit einer Temperatur von 800–1.100 °C. Der Reaktor wird knapp unter Normaldruck in einer reduzierenden Atmosphäre betrieben, um die Erzeugung von Dioxinen und Furanen zu vermeiden. Die im Vergaser verbliebenen Ascherückstände werden anschließend in einem Schmelzofen geschmolzen und aus dem Bodenbereich des Vergasers entfernt. Der Ofen verfügt über seitlich und oben angebrachte Sauerstoffanlagen, die eine Temperatur von über 2000 °C sicherstellen.

Bei Kunststoffabfällen mit einem niedrigen Heizwert ist für einen stabilen Betrieb der Anlage die Zugabe von Koks oder Holz als zusätzliche Kohlenstoffquelle erforderlich. Da PVC-Abfälle über einen niedrigeren Heizwert verfügen, muss bei ihnen mehr Koks zugegeben werden als bei anderen Kunststoffabfällen (7–10 % bei PVC).

Das im Verfahren erzeugte Synthesegas wird für chemische Prozesse genutzt. Die im Reaktor erzeugte Schlacke wird im Straßenbau eingesetzt, und das im PVC enthaltene Chlor wird als HCl oder  $\text{CaCl}_2$  abgezogen. Die energetische Verwertungsrate beläuft sich auf > 70 %.



Werk von Sumitomo Metals in Japan



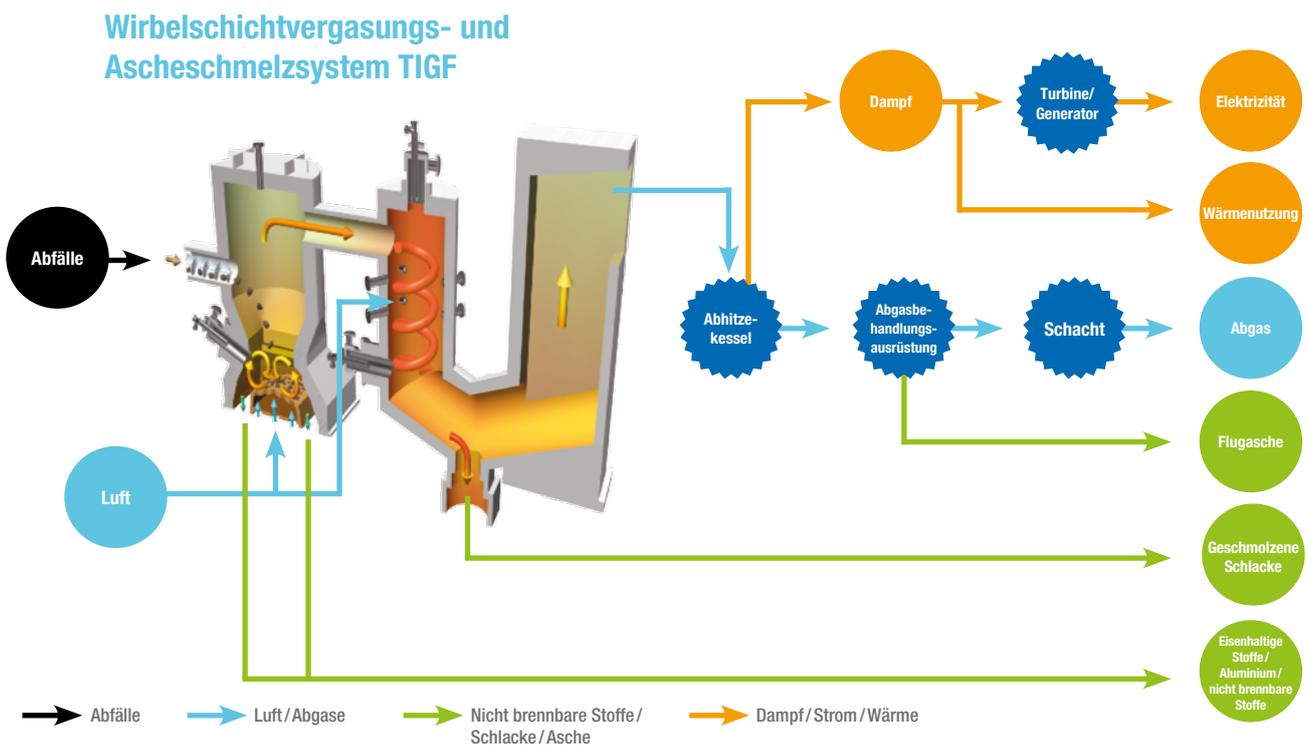
## > Ebara-Verfahren, Japan

Das Vergasungsverfahren von Ebara, das unter dem Begriff doppelte intern umlaufende Wirbelschichtvergasung (Twin Internally revolving Fluidized bed Gasifier) bekannt ist, wird mit dem bewährten Meltox-Verfahren zur Ascheschmelze kombiniert. Dieses Verfahren, das als EUP (Ebara-Ube-Prozess) bezeichnet wird, setzt eine Zyklonbrennkammer zur Umwandlung der festen Reststoffe in eine stabile granulierten Schlacke ein, die recycelt werden kann.

Die Niedertemperaturvergasung findet bei 600–800 °C statt, und die sekundäre Hochtemperaturvergasung bei 1.350 °C. Beide Reaktoren werden unter einem Druck von etwa 10 bar be-

trieben. Das Verfahren wurde zur Behandlung von gemischten Kunststoffabfällen mit einem Chloranteil von bis zu 5% entwickelt, könnte möglicherweise aber durch einige Ausführungsänderungen an Abfälle mit einem höheren Chlorgehalt angepasst werden. Momentan lassen sich reine PVC-Abfälle mit diesem Verfahren noch nicht aufbereiten.

In Japan werden zwei kommerzielle Anlagen betrieben. Das hergestellte Synthesegas kann auch in anderen Bereichen eingesetzt werden, etwa zur Produktion von Methanol, von Wasserstoff, in Brennstoffzellen und zur Energieerzeugung. Das Chlor wird als Ammoniumchlorid ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) gewonnen, das als Düngemittel eingesetzt wird.



## 2. Pyrolyse

Die Pyrolyse ist ein Hochtemperatur-Zersetzungsverfahren, das normalerweise ohne Luft und Sauerstoff stattfindet, dessen Endprodukte Kohlenstoff und schwere Kohlenwasserstoffe sind. Das Verfahren kommt für halogenfreie Kunststoffe

in Betracht. Chlorhaltige Abfälle stellen eine besondere Herausforderung für das Verfahren dar.

In Europa wird dieses Verfahren bisher nicht angewendet.

---

## 3. Dehydrochlorierung

Zu diesen Methoden gehören Zersetzungsprozesse, bei denen in einem ersten Schritt Chlor abgeschieden wird und anschließend eine Vergasung oder eine Pyrolyse stattfindet. Die Dehydrochlorierung kann unter Druck in Wasser, in

hochsiedenden ionischen Flüssigkeiten oder in Trockenverfahren, wie etwa der Schmelze oder der Hydrierung, ablaufen.

### 3.1 Dehydrochlorierung in Wasser

#### > REDOP-Verfahren

Das REDOP-Verfahren wurde zur Behandlung von gemischten Kunststofffraktionen aus Hausmüll entwickelt, die üblicherweise 1 % Chlor enthalten – Schwankungen zwischen 0,5 und 5 % sind möglich. Das Verfahren umfasst folgende Schritte:

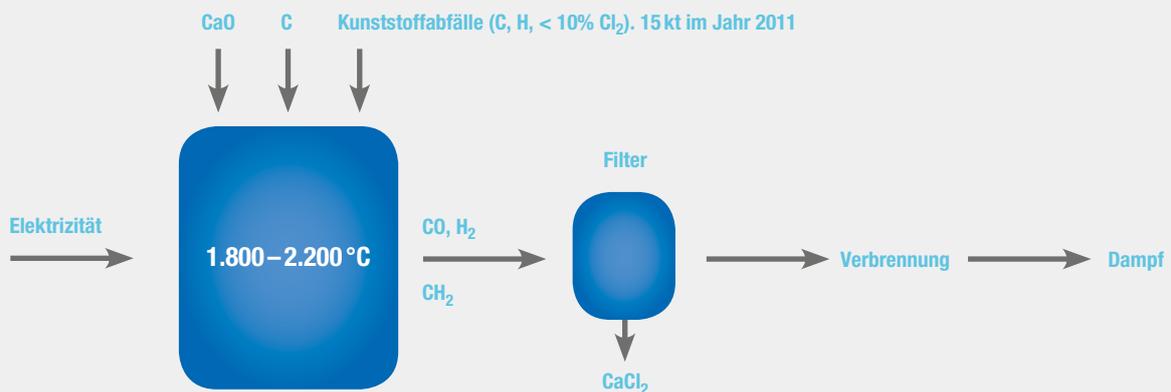
- Nachträgliches Aussortieren von Kunststoffen und Papier aus dem Hausmüll;
- Trennung der gemischten Kunststofffraktion von der Papierfraktion;
- Dechlorierung der gemischten Kunststofffraktion;
- Kombinierte Zuführung (zusammen mit Kohle) in einen Hochofen zur Schmelze von Roheisen.

Von besonderem Interesse ist hier der Dechlorierungsschritt, der über ein neu entwickeltes, patentiertes Verfahren des Chemiekonzerns DSM erfolgt. Gemischte Kunststoffabfälle werden chargenweise in einem Rührkessel erhitzt. Noch vorhandene Zersetzungsprodukte der Zellulose wirken als Emulgatoren und stabilisieren das Wasser-Feststoffgemisch. Der abgegebene Chlorwasserstoff wird durch die Zugabe einer Lauge neutralisiert. Die chlorfreie Kunststofffraktion schmilzt zu Tropfen, die im Abkühlungsprozess des Kessels zu festen Granulaten werden und nur noch gefiltert, gewaschen und getrocknet werden müssen.

## > Alzchem, Deutschland

Die Kapazität dieser Anlage zur Kalziumkarbidproduktion beläuft sich auf 150.000 Tonnen pro Jahr – davon soll soviel Kunststoffabfall wie möglich eingesetzt werden. Gegenwärtig läuft ein Pilotprojekt zur Beseitigung von möglichst viel

Chlor aus den Abfällen. Ein Extruder, der dem Kessel vorgeschaltet ist, wird mit so hohen Temperaturen betrieben, dass PVC zersetzt wird. Der dabei gewonnene Chlorwasserstoff kann als Salzsäure verkauft werden.



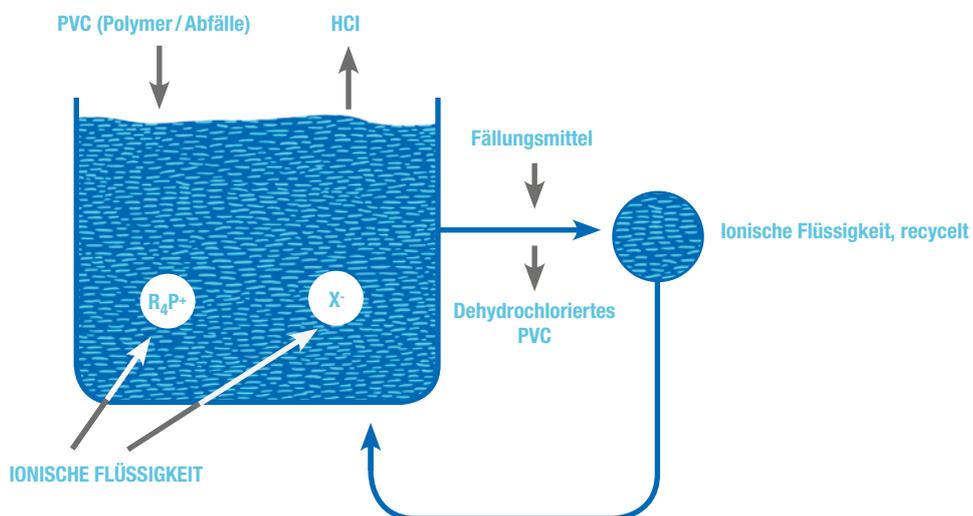
Das Alzchem-Verfahren

## 3.2 Dehydrochlorierung in ionischen Flüssigkeiten

### > KU Leuven, Belgien

Ein Team der belgischen Universität KU Leuven befasst sich mit der Dehydrochlorierung von PVC in ionischen Flüssigkeiten. Diese Flüssigkeiten sind in der Regel auch bei hohen Temperaturen (250 °C und mehr) nicht flüchtig. Dies ermöglicht eine Abführung des Chlorwasserstoffanteils über

ein Vakuum oder einen Gasstrom und damit die Vermeidung von Salzbildung oder von Reaktionen des Chlorwasserstoffs mit Natronlauge. Das dehydrochlorierte PVC fällt aus und kann abgezogen werden.



Das Verfahren der KU Leuven

## Energetische Verwertung mit gleichzeitigem rohstofflichen Recycling

Normale Müllverbrennungsanlagen mit energetischer Verwertung tolerieren nur Chloranteile von rund 1 %. Außerdem werden solche Verfahren abfallrechtlich nicht als Recycling anerkannt. Wenn allerdings Chlorwasserstoff gewonnen und/oder

seine Neutralisationssalze verwertet werden, kann ein partielles Recycling geltend gemacht werden. Drei verschiedene Verfahren sollen hier betrachtet werden:

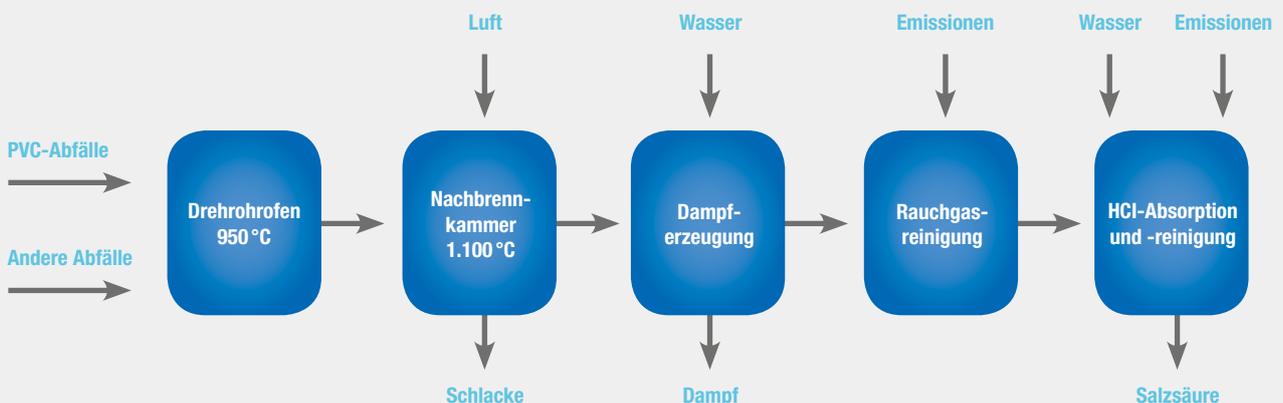
### 1. Rückgewinnung von Salzsäure

#### > SUEZ, Deutschland

In dieser im wirtschaftlichen Maßstab betriebenen Anlage in Schkopau, die 1999 in Betrieb genommen wurde, werden gemischte Abfälle verwertet. Versuche mit PVC-Abfällen, die von Januar bis März 2000 und von Juli 2002 bis April 2003 durchgeführt wurden, waren erfolgreich. Das Verfahren eignet sich für gemischte PVC-Abfälle, kontaminierte Öle, Bioschlämme und gefährliche Feststoffe, die chlorierte Stoffe enthalten. In dem Verfahren werden Chlorwasserstoff und Energie gewonnen. Die Jahreskapazität der Anlage beläuft sich auf 45.000 Tonnen an Eingangsmaterial. Das Verfahren wird unten grafisch dargestellt.

Durchschnittlich 90 % des Chloranteils von PVC wird in Form von 20-prozentiger Salzsäure verwertet. Die Qualität der Salzsäure erfüllt die Anforderungen einer am Standort betriebenen Anlage zur Chloralkalielektrolyse nach dem Membranverfahren. Aufgrund ihres Chloranteils verfügen

PVC-Abfälle über einen niedrigeren Heizwert als andere Kunststoffabfälle. Zur Verarbeitung von PVC-Abfällen in einem Drehrohrofen müssen andere Abfälle mit einem höheren Heizwert zugeführt werden, die für eine kontinuierliche Verbrennung sorgen. Für PVC beläuft sich der Gesamtwirkungsgrad auf 50 %.



## > MVR, Deutschland

Die MVR (Müllverwertungsanlage Rugenberger Damm) ist eine ausgereifte thermische Verwertungsanlage mit einer Kapazität von 320.000 Tonnen pro Jahr, die in Hamburg betrieben wird. Um eine größere Flexibilität bei der Müllverwertung zu erhalten, wurde diese auf höhere Chlorwasserstoffanteile im Rohgas ausgelegt als die meisten konventionellen Anlagen. Es wurde 30-prozentige Salzsäure gewonnen, deren Reinheit den Anforderungen der chemischen Industrie entspricht. Die Rückgewinnung von HCl wurde aus ökonomischen

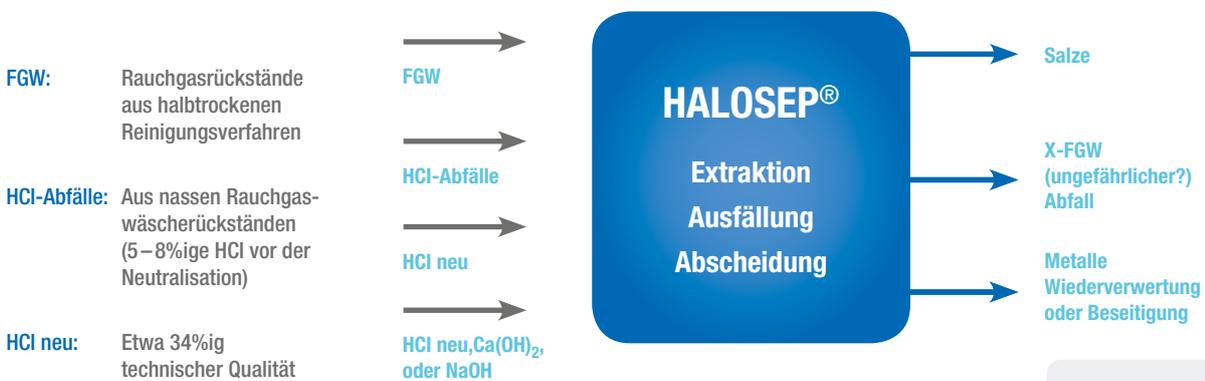
Gründen eingestellt. Der Beweis der technischen Machbarkeit bleibt allerdings gültig. Versuche mit zusätzlichen PVC-Abfällen (500 Tonnen über fünf Wochen) waren sehr erfolgreich. In der Schlacke und der Flugasche wurden keine Veränderungen festgestellt, und auch die Dampf-erzeugung wurde nicht beeinträchtigt. Während die Produktion von Salzsäure im Verhältnis zur Zugabe von PVC-Abfällen anstieg, blieben die Dioxinwerte der Abgase extrem niedrig und weit unter den gesetzlichen Grenzwerten.

## 2. Rückgewinnung von Salz

### > HALOSEP®

Im HALOSEP®-Verfahren wird Chlor aus Verbrennungsrückständen, etwa aus der Behandlung von Rauchgasrückständen (FGW) oder von HCl-Waschflüssigkeitsrückständen, in Form von Salzen zurückgewonnen. Der Hauptvorteil dieses Verfahrens ist neben der Rückgewinnung von Chlor eine Reduzierung der Mengen an Rauchgasrückstän-

den, die der Deponie zugeführt werden müssten. Das Zielprodukt ist eine Kalziumchloridlösung. Nach erfolgreichen Pilotversuchen wird das Verfahren mit dem Ziel fortentwickelt, um dieses als neues Verwertungsverfahren zuzulassen. Das Verfahren wird hier grafisch dargestellt:



### > Das SOLVAir®-Verfahren

In Anlagen zur energetischen Verwertung, Verbrennungsanlagen für kommunale und medizinische Abfälle, Zementöfen und Ziegeleien wird im Brennstoff enthaltenes Chlor bei der Verbrennung zu Chlorwasserstoff umgewandelt. Diese sauren Gase lassen sich durch Natriumhydrogencarbonat neutralisieren. Das damit gewonnene

Natriumchlorid wird durch Filtration abgeschieden, in Wasser gelöst, gereinigt und zur Produktion von Natriumkarbonat verwendet. Da der Prozess vollständig trocken abläuft, werden keine zu behandelnden Abwässer erzeugt. Dies führt zu einer erheblichen Reduzierung von Neutralisationsrückständen.

# Weitergehende Informationen

## Organisationen

### **VinylPlus**

Avenue E. Van Nieuwenhuysse 4  
1160 Brüssel  
Belgien  
Tel.: +32 (0) 2 676 744  
E-Mail: [info@vinylplus.eu](mailto:info@vinylplus.eu)  
[www.vinylplus.eu](http://www.vinylplus.eu)

### **Recovinyl**

Avenue de Cortenbergh 71  
1000 Brüssel  
Belgien  
Tel.: +32 (0) 2 742 96 82  
E-Mail: [info@recovinyl.com](mailto:info@recovinyl.com)  
[www.recovinyl.com](http://www.recovinyl.com)

EuCertPlast Zertifizierung  
[www.eucertplast.eu](http://www.eucertplast.eu)

## Weitergehende Lektüre

VinylPlus Progress Report 2016  
[www.vinylplus.eu/documents/42/68/New-Progress-Report-2016](http://www.vinylplus.eu/documents/42/68/New-Progress-Report-2016)

## Ausgewählte Technologien

Vinyloop  
[www.vinyloop.com](http://www.vinyloop.com)

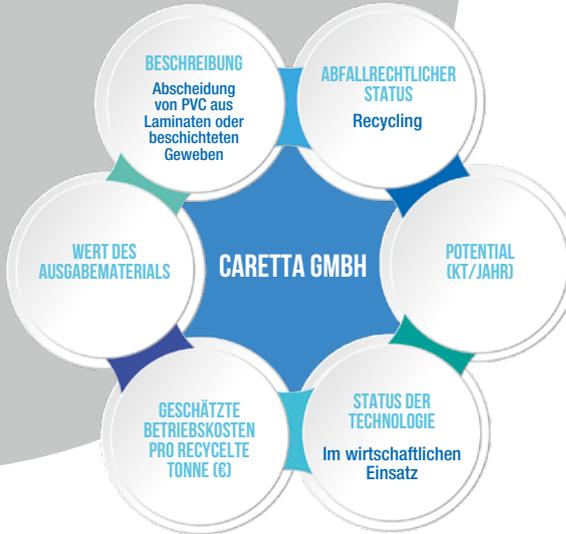
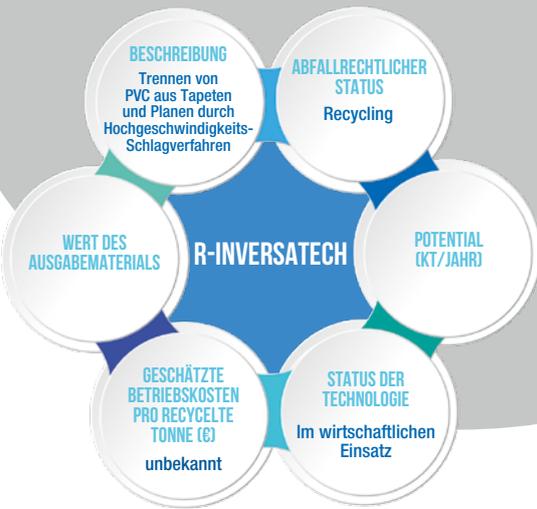
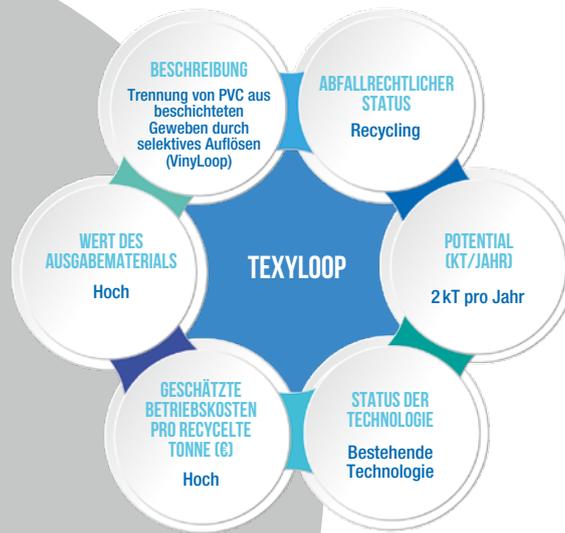
AlzChem  
[www.alzchem.com](http://www.alzchem.com)

Caretta GmbH  
[www.caretta-folie.de](http://www.caretta-folie.de)

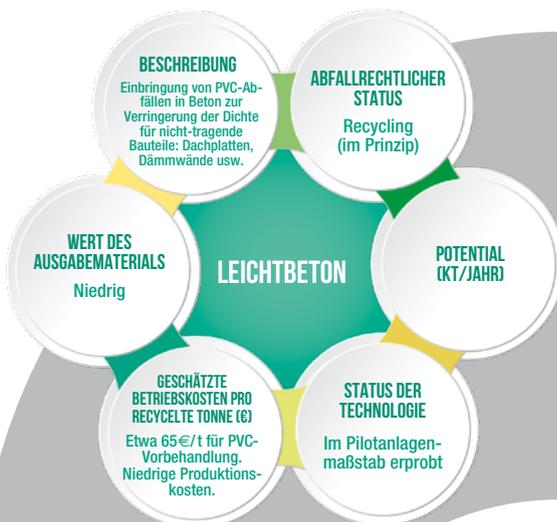
# Glossar

<b>CaCl<sub>2</sub></b>	Kalziumchlorid
<b>ECVM</b>	The European Council of Vinyl Manufacturers (Europäischer Verband der PVC-Hersteller)
<b>EU</b>	Die Europäische Union
<b>HCl</b>	Chlorwasserstoff
<b>kT</b>	Kilotonne
<b>LCA</b>	Ökobilanz (Life Cycle Assessment)
<b>NH<sub>4</sub>Cl</b>	Ammoniumchlorid
<b>PE</b>	Polyethylen
<b>PP</b>	Polypropylen
<b>PVC</b>	Polyvinylchlorid
<b>REACH</b>	Registration, Evaluation, Authorisation and restriction of Chemicals (Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien)
<b>R-PVC</b>	PVC-Recyclat
<b>SDS(-R)</b>	Sicherheitsdatenblatt (für Recyclate)
<b>KMU</b>	Kleine und mittlere Unternehmen
<b>SVHC</b>	Besonders besorgniserregende Stoffe
<b>Synthesegas</b>	Mischung aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid, mit geringeren Anteilen an Methan und Stickstoff

# Neuartige oder verbesserte Müllaufbereitungsverfahren

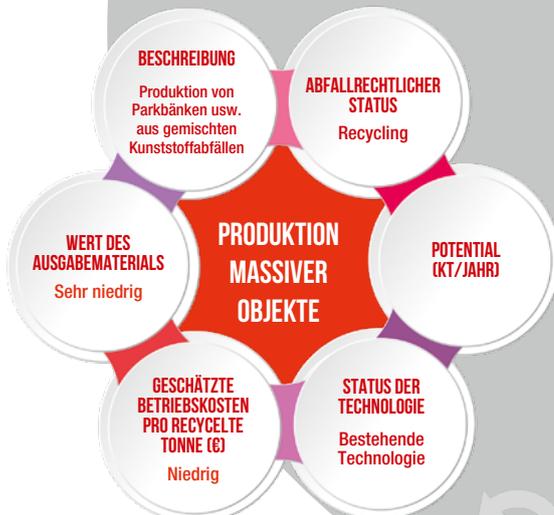
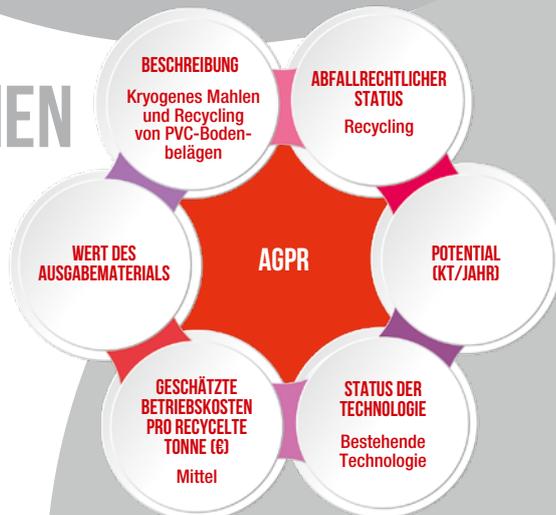
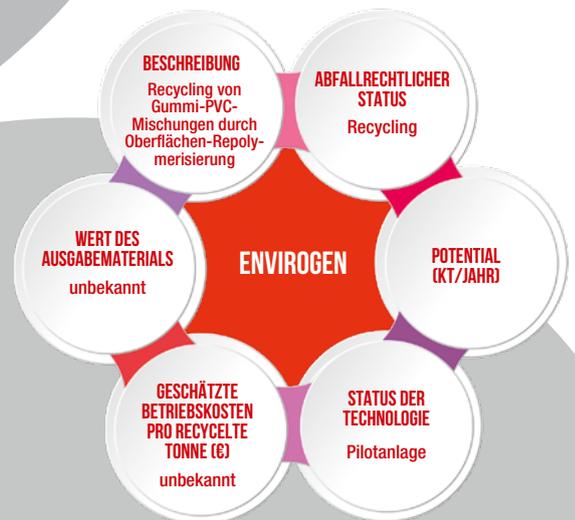
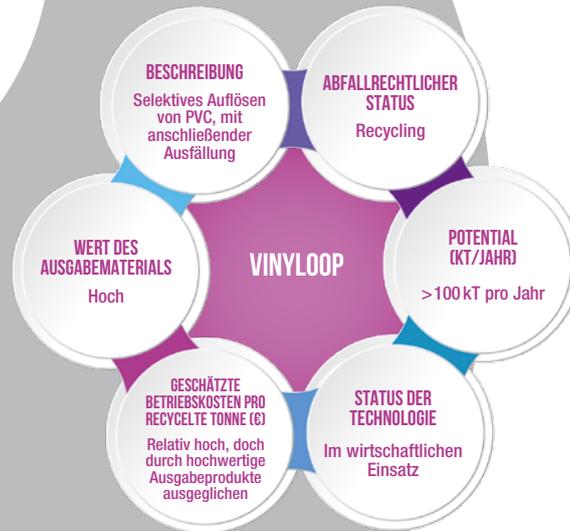
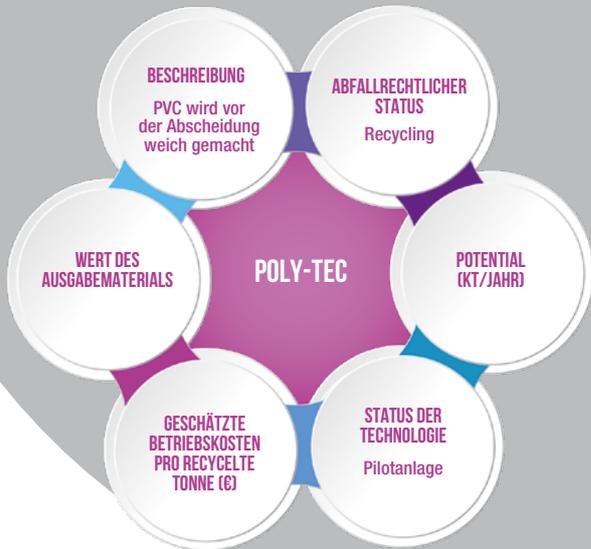


## ZUKUNFTSWEISENDE RECYCLING



In Kombination mit anderen Materialien

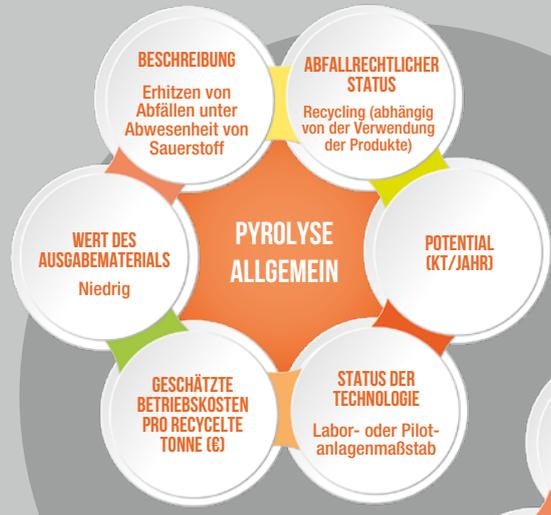
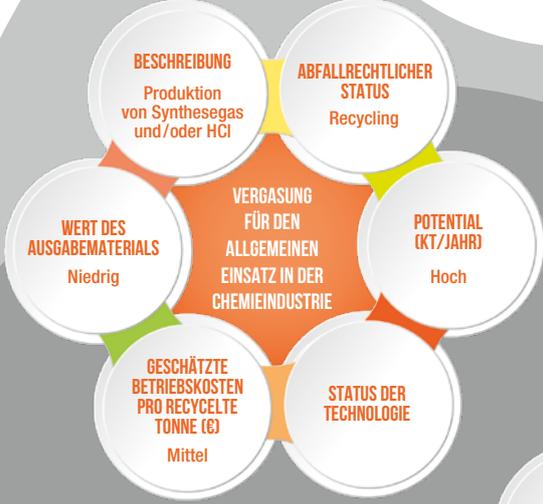
# Spezielle werkstoffliche Recyclingverfahren



# Werkstoffliches Recycling mit speziellen Merkmalen

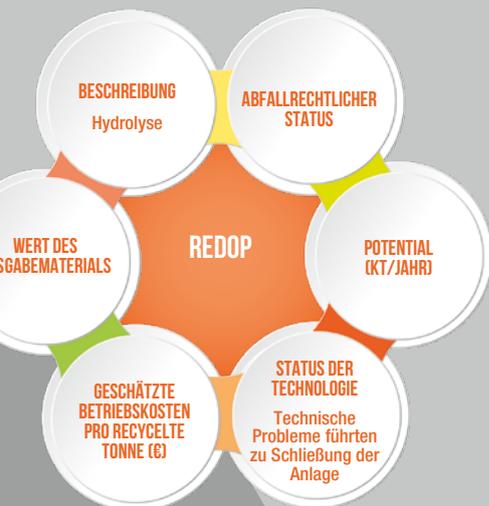
## TECHNOLOGIEN

# Rohstoffliches Recycling



# ZUKUNFTSWEISENDE RECYCLINGTECHNOLOGIEN

## Thermische Verwertung



# VinylPlus – Engagement, Kooperation, Effizienz

Aufgrund der Erfahrungen mit der freiwilligen Selbstverpflichtung Vinyl 2010 für eine nachhaltige Entwicklung setzt VinylPlus auf die gewonnenen und neuen Erkenntnisse, um in der europäischen PVC-Branche das Thema Nachhaltigkeit voranzubringen.

Ein wesentliches Element dieser Nachhaltigkeits-Initiative ist die Optimierung des sicheren und nachhaltigen PVC-Recyclings unterschiedlichster Abfallströme, zum ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Nutzen der Bürger, Kunden, Industrie und des Planeten.

Diese Broschüre beschreibt einige dieser Herausforderungen und Lösungen, um dem steigenden Recycling-Bedarf an PVC-Abfällen zu begegnen – mit dem Fokus auf künftige Technologien, die Zugang zu schwieriger zu recycelnden Abfallströmen ermöglichen.

## **VinylPlus**

Avenue E. van Nieuwenhuysse 4/4  
B-1160 Brüssel, Belgien  
Tel.: +32 (0) 2 676 74 41  
Fax: +32 (0) 2 676 74 47

## **Geschäftssitz:**

Avenue de Cortenbergh 71  
B-1000 Brüssel, Belgien

[info@vinylplus.eu](mailto:info@vinylplus.eu)

[@VinylPlus\\_EU](https://twitter.com/VinylPlus_EU)

[www.vinylplus.eu](http://www.vinylplus.eu)



vinyl plus