

BERICHT

REGENERIERBARE KUNSTSTOFFE

Vision und Pfade zur Umsetzung

St. Pölten, Juli 2024



Institut für Industrielle Ökologie, St. Pölten

Univ. Doz. Dr. Andreas Windsperger
Dr. Bernhard Windsperger
Christoph Loris MSc



Innovationsplattform für Bioökonomie & Kreislaufwirtschaft

BioBase GmbH

DI Thomas Timmel
Dr. Bernhard Windsperger

AUFTRAGGEBER

ecoplus. Niederösterreichs Wirtschaftsagentur GmbH

z.H. DI Thomas Gröger
Niederösterreich-Ring 2, Haus A
3100 St. Pölten

Fachverband der Chemischen Industrie Österreichs

z.H. Mag. Sylvia Hofinger
Wiedner Hauptstr. 63
1045 Wien

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie

z.H. Dr. Thomas Jakl
Stubenbastei 5
1010 Wien

PlasticsEurope Austria/ÖCC²

z.H. Sabine Nadherny-Borutin
Paniglgasse 24/I/19a
1040 Wien

INHALTSVERZEICHNIS

Hintergrund und Ziel.....	3
Methodik	3
Kunststofftrends Allgemein.....	5
Anwendungsbereich Gebäude.....	6
→ ROHRE	7
→ FENSTER	10
→ DÄMMUNG	13
Anwendungsbereich Consumer Goods.....	16
→ HAUSHALTSGERÄTE	17
→ SPORTGERÄTE	21
→ SPIELWAREN	24
Anwendungsbereich AUTOMOTIVE	27
Anwendungsbereich Erneuerbare Energien.....	33
→ WINDKRAFT	34
→ SOLARENERGIE	38
Fazit	41

HINTERGRUND UND ZIEL

Kunststoffe sind eine bedeutende Werkstoffgruppe, die viele positive Eigenschaften hat, aber durch ihre derzeit überwiegend fossile Herkunft und die schlechte Abbaubarkeit kontrovers gesehen wird. Durch ihre flexiblen Materialeigenschaften können sie in vielen Anwendungsbereichen wie im Baubereich oder im Verkehrsbereich beispielsweise als Leichtbau- oder Dämmmaterial mit Vorteilen für die Funktionalität und den Klimaschutz eingesetzt werden. Ihre Wertschöpfungskette ist aber auch durch unterschiedliche Problemfelder gekennzeichnet, wie die Emission von CO₂ fossiler Herkunft bei der Verbrennung oder deren Verteilung und Akkumulation in der Umwelt bei nicht fachgerechter Entsorgung. Aufgrund dessen bedarf es einer umfassenden Transformation im Bereich der Kunststoffe.

Ziel dieses Projektes ist es, gemeinsam mit relevanten Expert:innen und Stakeholdern konkrete Transformationspfade für Kunststoffe in Richtung gesteigerter Regenerierbarkeit (Ausstieg aus fossilen Primärrohstoffen) und Optimierung des Kreislaufschlusses auszuarbeiten. Im Detail sollen einerseits eine Vision für die Herstellung und die Anwendung von Kunststoffen in einem nachhaltigen Wirtschaftssystem entwickelt und andererseits konkrete Umsetzungswege für regenerierbare Kunststoffe ausgearbeitet werden (z.B. Umstellung auf Biokunststoffe, mechanisches und chemisches Recycling, etc.). Dabei wird auf einzelne Kunststoffarten (z.B. PS, PE, PVC) in spezifischen Anwendungsbereichen eingegangen, für die einerseits ein Wachstumstrend erwartet wird, und in denen andererseits Kunststoffe aufgrund ihrer sehr guten Funktionalität und ökonomischen sowie auch ökologischen Performance auch weiterhin unverzichtbar sein werden. Dafür werden spezifische Lösungen für eine erhöhte Regenerierbarkeit unter Berücksichtigung von Ökologie, Ökonomie sowie auch der Funktionalität der Produkte entwickelt und die dafür notwendigen Rahmenbedingungen dargestellt.

Der Fokus dieses Projektes liegt dabei auf den Nicht-Verpackungskunststoffen. Um das Projekt hinsichtlich des Umfangs einzugrenzen und auch eine entsprechend detaillierte Betrachtung gewährleisten zu können, werden insgesamt neun Fallbeispiele aus unterschiedlichen Materialbereichen und Anwendungsbereichen definiert und analysiert. Die Ergebnisse dieses Projektes sollen eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung neuer politischer Maßnahmen oder die Vertiefung vorhandener Strategien (z.B. Kreislaufwirtschaftsstrategie) oder rechtlicher Rahmenbedingungen für Kunststoffe in einer nachhaltigen und klimaneutralen Wirtschaft bieten.

METHODIK

1. Zukünftige Entwicklung des Bedarfs für Kunststoffe nach Produktbereichen

In einem ersten Schritt wurden die wesentlichsten Produktbereiche (z.B. Baustoffe, Haushaltsprodukte, Mobilität) nach den einzelnen Kunststoffarten auf aktuelle und zukünftig zu erwartende Trends und Entwicklungen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Nachfrage nach Kunststoffen analysiert.

Dabei wurden speziell jene Einsatzbereiche, in denen Kunststoffe Vorteile bieten, unter Berücksichtigung der Eignung, der Verfügbarkeit und der funktionalen Äquivalenz von Alternativmaterialien betrachtet. Dies sollte einen Überblick geben, in welchen Material- und Produktbereichen mit Steigerungen im Bedarf nach Kunststoffen am Weg zu einem klimaneutralen Wirtschaftssystem zu rechnen ist. Dafür wurden vorhandene Studien und Projekte als Basis herangezogen und durch vertiefende Recherchen ergänzt.

2. Definition von Fallbeispielen

Im nächsten Arbeitsschritt wurden gemeinsam mit den Auftraggebern repräsentative Fallbeispiele ausgewählt, die in weiterer Folge für eine detaillierte Analyse der Transformation in Richtung Regenerierbarkeit herangezogen wurden. Aufgrund der Vorgespräche und Literaturrecherche wurden folgende Bereiche berücksichtigt:

- **Gebäude:** Im Bereich der Gebäude werden unterschiedlichste Kunststoffe eingesetzt, die entweder nur schwer durch andere Materialien zu ersetzen sind (z.B. Rohre, Abdichtungsfolien) sowie auch wesentliche Beiträge zum Klimaschutz leisten (z.B. Dämmung, Fenster).

- **Consumer Goods:** Im Bereich der Konsumgüter sind Kunststoffe von herausragender Bedeutung und tragen auf vielfältige Weise zur Funktionalität und Langlebigkeit der Produkte bei. Haushaltsgeräte (z.B. Kühlschränke), Sportgeräte (z.B. Skiausrüstung) und Spielwaren (z.B. LEGO-Bausteine) illustrieren die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Kunststoffen und deren Vorteile.
- **Automotive:** Die Forcierung der Elektromobilität als zentrale Maßnahme zum Klimaschutz setzt ein geringeres Gewicht voraus, wodurch Kunststoffe ebenfalls Vorteile gegen über anderen Materialien aufweisen und deshalb sowohl in der Karosserie als auch in der Innenausstattung zukünftig nicht wegzudenken sind.
- **Erneuerbare Energien:** Der Ausbau der erneuerbaren Energien ist ein zentraler Meilenstein für die Erreichung der Klimaschutzziele. Auch hier sind Kunststoffe und Verbundmaterialien aus Kunststoffen wiederum aufgrund ihrer Funktionalität sehr weit verbreitet (z.B. Rotorblätter beim Windrad und Solarpaneele).

3. Auswahl der konkreten Fallbeispiele

Im nächsten Schritt wurden die konkreten Fallbeispiele anhand folgender Kriterien festgelegt:

- Anwendungsbereiche, in denen es zu Kunststoffen – v. a. aufgrund ihrer sehr guten Performance – kaum Alternativen gibt
- Repräsentanz des Fallbeispiels für den jeweiligen Material- und Anwendungsbereich
- Mengenmäßig bzw. wertschöpfungsmäßig relevante Bereiche
- Fokus auf betriebswirtschaftliche Weichenstellungen (Bereiche mit besonders hohem Veränderungsbedarf)

4. Entwicklung von Transformationspfaden für die jeweiligen Fallbeispiele

Im Anschluss erfolgte die Entwicklung von konkreten Transformationspfaden, wie diese Vision in den jeweiligen Fallbeispielen erreicht werden kann. Dabei wurden die Maßnahmen zur Steigerung der Regenerierbarkeit (z.B. chemisches Recycling, Umstieg auf Biokunststoffe) hinsichtlich der Umsetzungsmöglichkeiten konkretisiert. Etwaige offene Gaps, die beispielsweise bei einem Recycling durch Verluste (z.B. Sammlung, Sortierung) aufgetreten sind, wurden ebenfalls hinsichtlich möglicher Optionen analysiert, um diese Gaps zu minimieren. Es wurde in diesem Schritt vor allem vorherausgearbeitet, was in den einzelnen Bereichen noch fehlt und wo angesetzt werden muss, um den Transformationsprozess zu beschleunigen (z.B. Anpassung der Regularien, Normen, etc.). In weiterer Folge wurden aus den einzelnen Fallbeispielen auch Abschätzungen für den jeweiligen Material- bzw. Anwendungsbereich getroffen werden. Auch dieser Arbeitsschritt wurde durch eine intensive Einbeziehung von Branchenexpert:innen und Vertreter:innen repräsentativer Betriebe sowie ausgewählter Stakeholder begleitet.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse

Abschließend wurden die gewonnen Erkenntnisse in Form von „Informationsblättern“ aufbereitet und beim Abschlussworkshop relevanten Stakeholdern präsentiert. Deren Feedback und Anmerkungen wurde berücksichtigt und mündeten in sogenannte Factsheets zu jedem Fallbeispiel mit folgendem Aufbau:

1. **Status quo und Trends:** Dies umfasst eine detaillierte Darstellung, wie und wo Kunststoffe eingesetzt werden, sowie eine Übersicht der verwendeten Kunststoffarten. Quantitative Analysen zeigen die Menge und den Anteil der Kunststoffe, unterstützt durch relevante Abbildungen zu zukünftigen Trends und prognostizierten jährlichen Wachstumsraten.
2. **Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen:** In diesem Abschnitt wird eine Übersicht über vorhandene Optionen wie Recycling und biobasierte Alternativen in dem jeweiligen Anwendungsbereich erstellt. Danach erfolgt eine Bewertung der aktuellen Situation in Bezug auf bestehende Systeme zur gesteigerten Regenerierbarkeit von Kunststoffen mit anschließender Beschreibung der Barrieren und Hindernisse bei der Umsetzung.
3. **Perspektiven und Maßnahmen:** Hier werden mögliche Wege und Strategien für die Zukunft beschrieben, einschließlich der angestrebten Veränderungen und der Pfade dorthin. Dazu werden Best Practice-Beispiele vorgestellt, um erfolgreiche Ansätze zu veranschaulichen. Es folgt eine Diskussion über die wahrscheinlichsten Entwicklungen und vielversprechendsten Maßnahmen zur Förderung der regenerativen Nutzung von Kunststoff, unter Berücksichtigung der notwendigen Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Umsetzung.

KUNSTSTOFFTRENDS ALLGEMEIN

OECD - Global Plastics Outlook

Die Plastikverschmutzung zählt zu den großen Umweltproblemen des 21. Jahrhunderts und verursacht weitreichende Schäden an Ökosystemen und der menschlichen Gesundheit. Laut den Prognosen des OECD Global Plastics Outlook bis 2060 werden unter der Annahme fehlender zusätzlicher Politiken folgende Entwicklungen erwartet:

- Die globale Nutzung von Kunststoffen soll sich bis 2060 fast verdreifachen, angetrieben durch wirtschaftliches Wachstum und Bevölkerungszunahme. Während die OECD-Länder ihren Kunststoffverbrauch verdoppeln sollen, wird der größte Anstieg in Schwellenländern in Subsahara-Afrika und Asien erwartet.
- Obwohl recycelte (sekundäre) Kunststoffe schneller wachsen sollen als neu hergestellte (primäre) Kunststoffe und ihren Marktanteil verdoppeln, wird ihr Anteil am Gesamtverbrauch von Kunststoffen bis 2060 voraussichtlich nur 12% betragen.
- Plastikabfälle sollen sich fast verdreifachen, wobei die Hälfte aller Plastikabfälle immer noch auf Deponien landet und weniger als ein Fünftel recycelt wird.

Mögliches Szenario mit fast 70% zirkulärem Kunststoff

Plastics Europe hat mit dem Bericht „The Plastic Transition“ Wege für eine nachhaltige Transformation des Kunststoffsektors veröffentlicht. Alle Hebel entlang der Wertschöpfungskette müssen beteiligt sein, einschließlich Reuse zur Reduzierung von Einweganwendungen, Design für Recycling, mechanisches und chemisches Recycling sowie Kunststoffe aus Biomasse. Ebenso ist die Sammlung, Sortierung und Verwendung von hochwertigem Kunststoff entscheidend. So sollen mit Unterstützung von politischen Entscheidungsträgern und verstärkter Zusammenarbeit mit Partnern entlang der Wertschöpfungskette zirkuläre Kunststoffe einen bedeutenden Teil der Nachfrage nach Kunststoffen decken können. Angesichts der erwarteten Einschränkungen bei der Verfügbarkeit von sortiertem Kunststoffabfall und nachhaltig beschaffener Biomasse soll die Substitution fossiler Kunststoffe bis 2050 unter einem ambitionierten Szenario 65% erreichen (Siehe Abbildung).

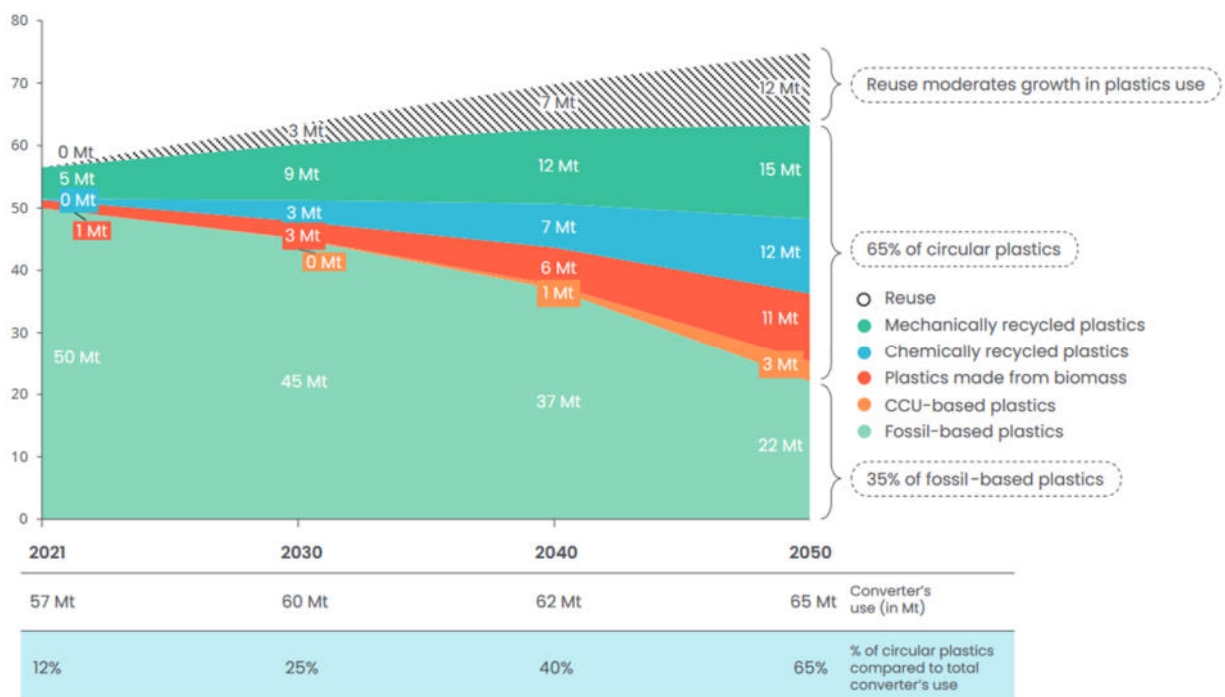


Abbildung: Ambitioniertes Szenario für die Deckung des Kunststoffbedarfs in den nächsten Jahren

Die Gesamtbetrachtung schafft ein Bild zukünftiger Entwicklungen und möglicher Handlungsansätze zur Kreislaufführung von Kunststoff allgemein. Doch wie sieht dies spezifisch für Anwendungen aus dem Nicht-Verpackungsbereich aus? Nachfolgend werden nun die zuvor erwähnten Bereiche im Detail betrachtet um aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen zu eruieren und dann daraus Maßnahmen und Strategien für die Zukunft abzuleiten.

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE

ROHRE

FENSTER

DÄMMUNG

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – ROHRE

Status quo und Trends

Einsatz von Kunststoffrohren

Im Bereich Hoch- und Tiefbau kommen vor allem Kunststoffrohre aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyvinylchlorid (PVC) zum Einsatz. Die Anwendungsgebiete umfassen: Elektroinstallationsrohre, Druckrohre (Wasser und Gas), Heizungs- und Sanitärrohre, Kanalrohre, Kabelschutzrohre und Abflussrohre. Abbildung 1 zeigt, dass **Rohre aus PVC mit über 50% den größten Anteil** ausmachen.

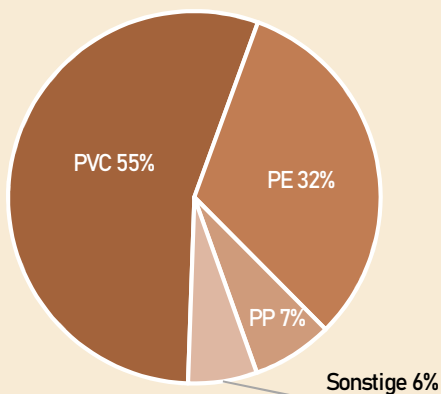


Abbildung 1: Globaler Verbrauch von Kunststoffrohren im Jahr 2022 (eigene Darstellung nach Ceresana 2023)

Globale Entwicklung des Marktes für Kunststoffrohre

Eine globale PVC-Rohrmarktstudie prognostiziert ein **Wachstum von 4,1% (CAGR)**, mit einer erwarteten Steigerung von 24,9 Millionen Tonnen im Jahr 2023 auf 35,7 Millionen Tonnen bis 2032. Treibende Faktoren sind u.a. Infrastrukturprojekte, gesteigertes Verbraucherbewusstsein für Langlebigkeit, Produktkosteneffizienz und Fortschritte in Technologie und Herstellung. Im Vergleich dazu betrug das **Volumen des gesamten europäischen Kunststoffrohrmarktes 2021 etwa 5 Millionen Tonnen**. Allgemein ist aber ein Trend hin zu PE-Rohren erkennbar, besonders im Wasserbau, aufgrund ihrer vielseitigeren Anwendungen wie "Silent Pipes". Politische Anreize für den Wohnungsbau könnten zu mehr Sanierungen und Neubauten führen, jedoch gibt es keine spezifischen Daten für den Rohrbereich in Österreich. Im Gegensatz zu PP benötigt PE mehr Material aufgrund seiner geringeren Steifigkeit.

Verlegung

Um die nahtlosen Rohre zu verbinden werden verschiedene Techniken Klemm-, Press- und Schweißverfahren angewandt. Am häufigsten werden Steckmuffe eingesetzt um die Rohre zu verbinden. Die Montage als auch die Demontage erfolgt einfach und schnell, geklebt werden Rohre selten. Im Hochbau werden die Rohre durch Auf- und Unterputz-Verlegungen im Mauerwerk befestigt. In einigen Fällen können sie auch oberirdisch verlegt und durch Rohrschellen oder andere Befestigungssysteme gesichert werden. Im Tiefbau werden Kunststoffrohre durch Grabenverlegung installiert, indem sie in vorbereitete Gräben gelegt und dann verfüllt und verdichtet werden, um eine stabile Verlegung sicherzustellen. Gegebenenfalls werden zusätzliche Schutzmaßnahmen wie das Einbetten in Sand oder die Verwendung von Schutzrohren ergriffen, um Beschädigungen zu verhindern.

Bitte in guter Qualität nachbauen

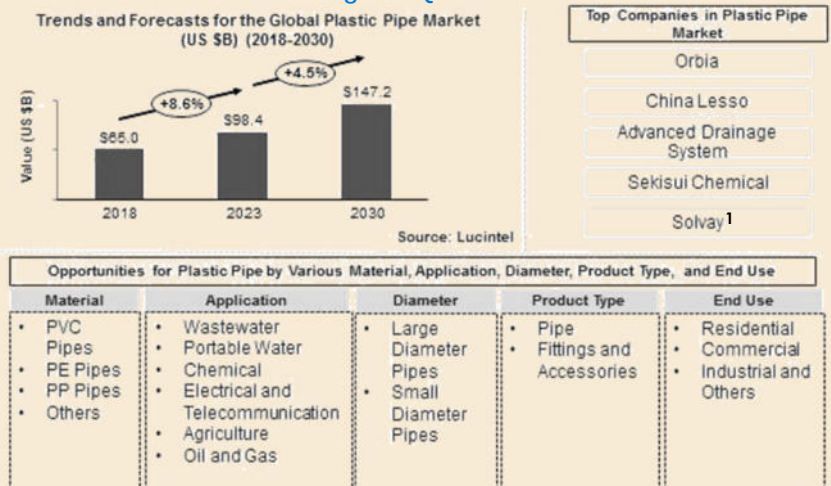


Abbildung 2: Marktentwicklung von Kunststoffrohren (Lucintel 2024)

- Zukunft des globalen Kunststoffrohrmarktes vielversprechend
- Hauptpotenziale in Abwasser, Landwirtschaft, Elektro- und Telekommunikationskabelschutz
- Bis 2030 soll der Markt auf geschätzte 147,2 Milliarden US-Dollar anwachsen
- Jährliches Wachstum (CAGR) von 5,3% von 2024 bis 2030 erwartet
- Haupttreiber: Wohnungsbau, gewerbliche/industrielle Aktivitäten, Rohrerneuerung
- Regionale Unterschiede: Westeuropa erwartet Nachfragewiederherstellung erst 2025
- USA investieren erheblich in Infrastruktur, darunter 15 Milliarden US-Dollar für Trinkwasserleitungserneuerung

1: Solvay war früher Rohstofflieferant für PVC, wurde aber an INEOS Inovyn verkauft.

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – ROHRE

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen

Etablierte Sammelschienen

Für Kunststoffrohre stehen in Österreich durch den ÖAKR materialspezifischen Sammelschienen mit Insgesamt über 65 Sammelstellen zur Verfügung, um gebrauchte Rohre, Formstücke und Verlegungsreste zu sammeln. Ein Partner des ÖAKR-Systems verarbeitet das gesammelte Material zu hochwertigen Rezyklaten. Diese werden wiederum für die Herstellung langlebiger Produkte wie Kabelschutzrohre, -platten, Paletten und Bauprofile verwendet, wodurch die Wertschöpfungskette um Jahrzehnte verlängert wird.



Abbildung 3: Gesammelte Kunststoffrohre pro Jahr in Österreich (ÖAKR)

Herausforderungen an der Baustelle

- Logistisches Problem: Die Sortierung gestaltet sich bei beengten Platzverhältnissen (oftmals im innerstädtischen Gebiet) äußerst schwierig.
- Trennung und Identifikation der Materialien kann bei verschiedenen Bauarten zur Herausforderung werden.

Sonstige...

- Begrenzte Annahmekapazitäten der Recycling-Anlagen
- Facharbeitermangel
- **Mangel an Kontrollinstanzen**

Recycling vs. Biobasierte Alternativen

ExpertInnen schätzen, dass Recycling nicht zwingend die bessere Option sein wird. Vor allem im Druckrohrbereich sieht man das größte Potential für biogene Alternativen. Allerdings ist Recycling-Material kostengünstiger wenn ausschließlich mechanisches Recycling angewandt werden kann. **Die Spanne zwischen Neuware und Rezyklat wird allerdings immer kleiner.** Zum Beispiel PET, bei dem das Recyclingmaterial bereits teurer als Neuware war.

Herausforderung Blei

Langfristig sollen **Blei-basierten** Stabilisatoren verboten werden, um Blei-Emissionen in die Umwelt zu verhindern. Auch der Europäische Kunststoffrohrverband TEPPFA begrüßt die neue Verordnung der Europäischen Kommission hin zu einer stärker kreislaforientierten Wirtschaft:

- **EU-Chemikalienverordnung REACH** (ist EU-Recht und gilt somit für Österreich): Beschränkung bleihaltiger PVC-Produkte auf 0,1 Gew.-% Bleikonzentration
- Ausnahme bis 28. Mai 2033 für bestimmte PVC-Erzeugnisse mit rückgewonnenem Hart-PVC mit weniger als 1,5 Gew.-% Bleikonzentration:
 - Verwendung in Mehrschichtrohren, bedeckt von Schichten mit <0,1 Gew.-% Bleikonzentration

Monoware und Mehrschichtrohre

Grundsätzlich gestaltet sich die Produktion von Kunststoffrohren in Österreich schwierig. Aufgrund von vielen Vorschriften hat sich die Herstellung im Inland auf Monowaren spezialisiert. Im Großteil von Resteuropa werden Mehrschichtrohre mit oftmals Rezyklat-Anteil in der Mittelschicht produziert. Laut ExpertInnen der Branche ist die Verfügbarkeit von PVC Rezyklat in Europa sehr gut und es wird für drucklose Rohrsysteme auch flächendeckend eingesetzt. In Österreich erlauben die Gütevorschriften des GRIS einen Einsatz von Rezyklat nicht. PP-Rezyklat ist am Markt verschwindend gering. Der Markt für Rezyklat aus PE ist größer, da es hier auch mehrere Quellen gibt.

Biobasierte Alternativen

- Solide biobasierte Alternativen für PE bereits auf dem Markt (z.B. ISCC+ zertifizierte Materialien aus Pflanzenölen oder gebrauchten Kochölen)
- Hohe materialspezifische Anforderungen bzgl. Sicherheit (bspw. Migration und Verarbeitbarkeit (MFI) von Rezyklaten oft nicht erfüllt, ISCC+ biobasierte Materialien haben keine solche Einschränkungen und können mit vorhandenen Anlagen produziert werden
- **Potenzial für 30% Pflanzenöl-Zumischrate bis 2030 und 80-90% bis 2050**
- Bio-PVC-Anwendungsperspektiven aufgrund geringer Verfügbarkeit der Rohstoffe (Konkurrenz mit Bio-Fuel) eher gering
- Biobasierte Materialien sind 1,5 bis 2 Mal so teuer wie Neuware, z.B. Premium von 1000 Eur/t für PE.

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – ROHRE

Perspektiven und Maßnahmen

Designrichtlinien

Designrichtlinien für Rohre sind entscheidend, um Recyclingfähigkeit zu verbessern. Entwicklung von Monorohren statt mehrschichtigen Varianten und Vermeidung verschiedener Kunststoffe in einem Produkt sind wichtige Schritte. Diese Maßnahmen erleichtern das Recycling von Rohren am Ende ihres Lebenszyklus.

Weitere Maßnahmen

- Schaffen von Anreizen, wie z.B. über das Leistungsverzeichnis in Ausschreibungen, um den Einsatz nachhaltiger Materialien in der Baubranche zu fördern.
- Anreize und Förderprogramme für Bauunternehmen schaffen, die recycelte und biobasierte Materialien verwenden.
- Erhöhung der Anzahl und Zugänglichkeit von Sammelstellen für Kunststoffrohre, um bessere Erfassung und Rückgewinnung zu ermöglichen.
- Bereitstellung von Informationen und Schulungen für Bau- und Entsorgungsunternehmen über den Nutzen des Recycling von Kunststoffrohren.

Best Practice

- Initiative VinylPlus: branchenweite freiwillige Verpflichtung zur Entwicklung umweltfreundlicherer Methoden für Herstellung, Verwendung und Recycling von PVC.

VinylPlus richtet sich nach den SDGs und der Kreislaufwirtschaft, umfasst alle europäischen PVC-Industriezweige, wie z.B. Kunststoffverarbeiter und Recyclingunternehmen, und erstreckt sich über die EU-28 sowie Norwegen und die Schweiz.

- Uponor bietet Rohre aus vernetztem Polyethylen (PE-X) mit biobasiertem Anteil an, um bis zu 90% bessere Ökobilanz als konventionelle PE-X Rohre.
- Georg Fischer bietet teil-biobasierte PE-X-Rohre für JPG Sanipex mit 10% nachwachsenden Rohstoffen an, hergestellt aus Bornewables™ von Borealis, gewonnen aus Abfällen und Rückständen der Pflanzenölproduktion und gebrauchtem Speiseöl.

Recycling auf Baustellen verbessern

- ➔ Optimieren der Baustellenlogistik: Durch die Bereitstellung mehrerer Mulden wird eine vielfältige Entsorgung ermöglicht, da verschiedene Abfallströme separat gesammelt werden und mehrere Entsorgungsströme bedient werden können.
- ➔ Mitarbeiterschulungen: Alle Mitarbeiter sollten über die Bedeutung und die richtige Handhabung des Bauabfalls informiert sein. Das Kennzeichnen der Mulden erleichtert zudem jedem Mitarbeiter, den Abfall in die entsprechende Mulde zu entsorgen
- ➔ Sortenreine Trennung des Abfalls: Jedes Kilogramm Verunreinigung erhöht die Kosten für das Recycling. Daher ist eine Trennung vor Ort empfehlenswert, um eine effiziente Wiederverwertung zu gewährleisten.
- ➔ Ausbildung zur rückbaukundigen Person: Im Rahmen dieser Bemühungen, die Effizienz und Wirksamkeit des Recyclingprozesses auf Baustellen zu steigern, können die genannten Maßnahmen durch die Ausbildung zur rückbaukundigen Person unterstützt werden.
Gemäß der Recycling-Baustoffverordnung, Bundesgesetzblatt II 181/2015, wird eine rückbaukundige Person als eine natürliche Person definiert, die über eine bautechnische oder chemische Ausbildung verfügt und Kenntnisse über Abbrucharbeiten, Abfall- und Bauchemie sowie Abfallrecht besitzt. Durch Informationsschreiben, integrieren in Lehrgängen und das anbieten von Veranstaltungen soll die Bekanntheit gesteigert werden.

FAZIT

- ✓ **Markt für Kunststoffrohre wird auch in den kommenden Jahren steigen**
- ✓ **PP- und PE-Rohre machen den PVC-Rohren Konkurrenz**
- ✓ **Rezyklat darf europaweit nur in Mittelschichten von PVC-Rohren eingesetzt werden, in Ö gar nicht**
- ✓ **Für PE gute biobasierte Alternativen verfügbar**
- ✓ **Maßnahmen: Designrichtlinien festlegen und Anreize für nachhaltigeren Umgang schaffen**

Quellen

- Ceresana Market Research 2023
- Lucintel. 2024. „Plastic Pipe Market: Trends, Opportunities and Competitive Analysis [2024-2030]“
- ÖAKR
- Pipelife
- Vinyl-Plus
- TEPFA

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – FENSTER

Status quo und Trends

Globale Entwicklung des PVC-Fenster-Marktes

Globale Schätzungen gehen bis 2031 weltweit von einem durchschnittlichen **Wachstum des PVC-Fenster-Marktes von 1,8-5% pro Jahr** aus. Die Abbildung 2 zeigt die prognostizierte Entwicklung des globalen PVC-Fenster-Markts der Studie von Straits Research. Aufgrund der Präsenz von großen Unternehmen in Europa, die aktiv daran arbeiten die Effizienz von Fenstern zu **verbessern** um den Energieverbrauch zu senken, ist abzusehen, dass der Markt für PVC-Fensterprofile vor allem in dieser Region steigen wird. Dass die größte Wachstumsdynamik nicht im Neubau sondern im Renovierungs- und Sanierungssektor zu sehen ist, bestätigten auch die Fensterproduzenten in den Gesprächen. Aufgrund des Einbruchs im Wohnbau ist die Situation am Markt aber zunehmend angespannt.



Abbildung 1: Entwicklung des globalen PVC-Fenster Marktes (Straits Research)

Europäische Marktanteile der häufigsten Fensterarten

Fenster aus Kunststoff (PVC) besitzen mit beinahe 50% den mit Abstand größten Marktanteil (siehe Abbildung 1). In Großbritannien liegt der Anteil an PVC-Fenstern im Wohnbau sogar bei 73,5%, gefolgt von Frankreich mit 63,5%.

Ein namhafter Fensterhersteller in Österreich produziert jährlich etwa 1 Mio. Fenstereinheiten (Flügel) wobei etwa die Hälfte davon exportiert wird. Insgesamt gab es **in Österreich im Jahr 2022 einen Absatz an Fensterflügel von etwa 2,19 Mio, das sind etwa 22.750 Tonnen Kunststoff**. Zum Vergleich: 2016 wurden in Europa etwa 70 Mio. Fensterflügel abgesetzt. Dies entspricht einer Kunststoffmenge von etwa 730.000 Tonnen.

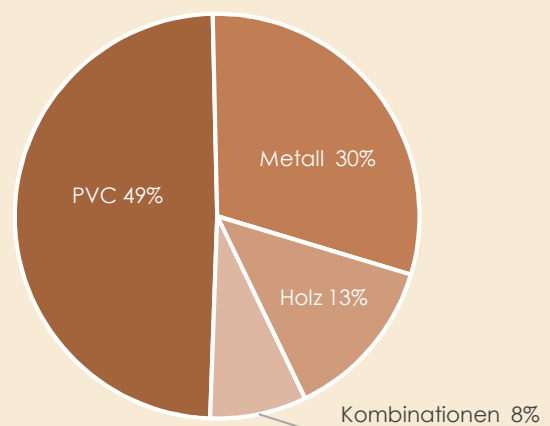


Abbildung 2: Marktanteile der häufigsten Fensterarten in Europa 2022 (Barla 2023)

Gewicht Fenster gesamt	56 kg	100 %
Kunststoff (PVC)	20,8 kg	37,1 %
Glas	24,9 kg	44,8 %
Bewehrung	7,8 kg	13,8 %
Beschläge und Sonstiges	2,5 kg	4,3 %

Tabelle 1: Materialzusammensetzung eines Fensters (BRANCHENRADAR 2023)

Montage

Die Fenster sind mit der Mauerlaibung verschraubt und zusätzlich mit Dichtungsbänder und Montageschaum im Mauerwerk verankert.

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – FENSTER

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen

Recycling

Grundsätzlich sind 100% der alten PVC-Rahmen wiederverwertbar. PVC kann gut recycelt werden, allerdings können die eingesetzten Stabilisatoren ein Problem darstellen. In Österreich ist die Aufbereitung und Verwertung von Altfenstern ein integraler Bestandteil eines **funktionierenden Recyclingkreislaufts**. Ergebnisse einer Analyse über das Volumen von Alt-Kunststofffenster in Österreich für den Zeitraum von 2018 bis 2021 ist in Abbildung 3 sowie in der Tabelle dargestellt.



Abbildung 3: Verwertung der zur Entsorgung zugeführten Kunststoffprofile (BRANCHENRADAR 2023)

- Jährlich werden Ø 643.000 Fenster ausgebaut, von denen etwa 40% Kunststoffrahmen haben: 260.000 Kunststofffenstern pro Jahr
- Die Menge der zur Entsorgung entgegengenommenen Kunststofffenster beträgt etwa 208.000 Stück (Rest geht vermutlich an ausländische Recyclingunternehmen).
- Der **Gesamtmarkt für Alt-Kunststoffprofile beträgt etwa 5.748 Tonnen pro Jahr**, wovon ca. 4.083 Tonnen recycelt und zu Mahlgut verarbeitet werden, was etwa 71% des Gesamtvolumens an entsorgten Alt-Kunststofffenster entspricht (siehe Abbildung 3). (BRANCHENRADAR, 2023)

Herausforderung Blei

- Nach EU-REACH gibt es Beschränkungen für bleihaltige PVC-Altfenster, mit Ausnahmen bis zum 28.05.2033.
- In Österreich werden PVC-Altfenster mit einem Bleigehalt von 0,3 Masse% oder mehr als gefährlicher Abfall eingestuft, was spezielle Genehmigungen und Vorschriften erfordert und den Recyclingkreislauf stört.
- Für den direkten Wiederverwendungszweck gelten die Vorschriften des Chemikalienrechts, falls sie nicht im Abfallrecht erfasst sind.

Biobasierte Alternativen

Biobasiertes PVC (bspw. auf Basis von Kiefernöl anstelle von Ethylen aus fossilem Rohstoff) ist, vom Standpunkt der Fensterhersteller, zwar am Markt erhältlich, derzeit aber noch ein Nischenprodukt und deutlich teurer. Der Umstieg bei gleichen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen ist technisch möglich. Pflanzlichen Rohstoffe werden aber, vor allem aufgrund **dem Wettbewerb** mit Treibstoffen, nur begrenzt verfügbar sein, vermuten ExpertInnen.

Aus Ausbau und Abriss entsorgte Kunststofffenster in 1.000 Stück

Ø 2018-2021

TOTAL	270
Ausbau	260
Abriss	10

Herausforderungen an der Baustelle

- Logistisches Problem: Die Sortierung gestaltet sich bei beengten Platzverhältnissen (oftmals im innerstädtischen Gebiet) äußerst schwierig.
- Trennung und Identifikation der Materialien kann bei verschiedenen Bauarten zur Herausforderung werden.

Sonstige...

- Begrenzte Annahmekapazitäten der Recycling-Anlagen
- Facharbeitermangel
- Mangel an Kontrollinstanzen

→ **Verarbeiten verschiedener Fenstermarken führt zu diversem Kunststoff-Rezyklat, das grundsätzlich jedoch für die Fensterproduktion wiederverwendet werden kann**

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – FENSTER

Perspektiven und Maßnahmen

Ausnahmeregelung für PVC-Altfenster als nicht gefährlicher Abfall

Das aktuelle Vorgehen bei belasteten PVC-Altfenstern ist rechtskonform, aber nicht ideal, da sie thermisch verwertet werden müssten, was die Kapazitätsgrenzen überschreiten könnte. In Österreich könnte eine Ausnahmeregelung für PVC-Altfenster als nicht gefährlicher Abfall gemäß den REACH-Verordnungen sinnvoll sein. Diese Ausnahmeregelung würde es Sammlern und Recycling-Unternehmen ermöglichen, mit bleihaltigen Produkten umzugehen, solange bestimmte Massenprozentgrenzen eingehalten werden, um den PVC-Rohstoff im Kreislauf zu halten. Hier muss Österreich rasch nachbessern, damit wir den bestehenden Kreislauf nicht gefährden und die wertvollen Rohstoffe nicht verlieren.

Sanierung statt Tausch

Um den Tausch von Fenstern zu verhindern und ihre Langlebigkeit zu fördern, sollten die Produkte so gestaltet werden, dass sie einfach und effizient saniert werden können, ohne das gesamte Bauteil austauschen zu müssen. Ein Beispiel ist die Optimierung von Fenstern, sodass bei Bedarf nur das Glas ausgetauscht werden kann, während der Rahmen intakt bleibt. PVC-Rahmen haben eine lange Haltbarkeit und können ohne Qualitätsverlust eingebaut bleiben, während andere Materialien ausgetauscht werden. Um dieses Konzept umzusetzen, könnte man Fensterrahmen modular aufbauen und mit standardisierten Befestigungselementen sowie Schnellverschlüssen versehen.

FAZIT

- ✓ Markt für Kunststofffenster wird weiter steigen
- ✓ Großteils funktionierendes Recyclingsystem in Ö
- ✓ Recyclingquote von Kunststofffenstern liegt bei 70%
- ✓ Biobasierte Alternativen bleiben Nischenprodukte
- ✓ Herausforderung Blei als Hürde im Recyclingprozess
- ✓ Optimieren der Baustellenlogistik um mehrere Entsorgungsströme zu bedienen
- ✓ Sanierung statt Tausch: bei Bedarf nur Glas tauschen
- ✓ Best Practice: Initiative Rewindo

Quellen:

- Barla, Laszlo, 2023, „Fenster Pressemitteilung – Aktuelle Industrie Trends und Marktdaten“, Interconnection Consulting.
- BRANCHENRADAR 2023: Stoffkreislauf Kunststoff-Fenstern Erhebung der Entsorgungs- und Recyclingquoten in Österreich
- Aluplast
- Internorm

Recycling auf Baustellen verbessern

- Optimieren der Baustellenlogistik: Durch die Bereitstellung mehrerer Mulden wird eine vielfältige Entsorgung ermöglicht, da verschiedene Abfallströme separat gesammelt werden und mehrere Entsorgungsströme bedient werden können.
- Mitarbeiterschulungen: Alle Mitarbeiter sollten über die Bedeutung und die richtige Handhabung des Bauabfalls informiert sein. Das Kennzeichnen der Mulden erleichtert zudem jedem Mitarbeiter, den Abfall in die entsprechende Mulde zu entsorgen
- Sortenreine Trennung des Abfalls: Insbesondere bei gefährlichen Abfällen kann das Baujahr des Hauses Hinweise auf potenzielle Schadstoffe geben. Allerdings kann dies bei Umbauten schwierig sein. Jedes Kilogramm Verunreinigung erhöht die Kosten für das Recycling. Daher ist eine Trennung vor Ort empfehlenswert, um eine effiziente Wiederverwertung zu gewährleisten.
- Ausbildung zur Rückbaukundigen Person: Im Rahmen dieser Bemühungen, die Effizienz und Wirksamkeit des Recyclingprozesses auf Baustellen zu steigern, können die genannten Maßnahmen durch die Ausbildung zur Rückbaukundigen Person unterstützt werden. Gemäß der Recycling-Baustoffverordnung, Bundesgesetzblatt II 181/2015, wird eine Rückbaukundige Person als eine natürliche Person definiert, die über eine bautechnische oder chemische Ausbildung verfügt und Kenntnisse über Abbrucharbeiten, Abfall- und Bauchemie sowie Abfallrecht besitzt. Durch Informationsschreiben, integrieren in Lehrgängen und das anbieten von Veranstaltungen soll die Bekanntheit gesteigert werden.

Best Practice: Initiative Rewindo

Rewindo hat ein bundesweites Recyclingnetzwerk etabliert. Partnerfirmen sammeln ausgediente Fensterrahmenprofile ein und verarbeiten sie zu PVC-Granulat weiter. Dieses Granulat wird von den Rewindo-Gesellschaftern wiederverwendet, um Kunststofffenster herzustellen. Privatpersonen können auf der Rewindo-Website Recyclingunternehmen und Annahmestellen für PVC-Fenster, Rollläden oder Türen in der Nähe suchen.

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – DÄMMUNG

Status quo und Trends

Marktentwicklung von Dämmstoffen in Österreich

	2020	2021	2022	2023
Marktentwicklung Dämmstoffe total zu Herstellerpreisen				
Umsatz in Mio. Euro	335,1	392,2	456,1	350,9
Abw. geg. VJ in %	-	17,0	16,3	-23,1

Quelle: BRANCHENRADAR Dämmstoffe in Österreich 2024

Die aktuelle Rezession in der Bauwirtschaft hat zu einem stark reduzierten Bedarf an Dämmstoffen geführt. Dennoch wird aufgrund neuer EU-Regulierungen in den kommenden Jahren mit einem erhöhten Bedarf gerechnet. Bis zum Jahr 2025 wird eine Erholung der Bauwirtschaft auf das Niveau von 2020 erwartet, gefolgt von einem prognostizierten Wachstum von etwa 3% in der EU. **Bis zum Jahr 2029 wird ein Bedarf von über 3 Millionen Tonnen EPS in der EU prognostiziert.**

Globale Entwicklung des Marktes für Dämmstoffe

Der weltweite Dämmstoffmarkt wurde im Jahr 2021 auf etwa 50 Milliarden US-Dollar geschätzt und wird bis 2030 voraussichtlich auf rund 95 Milliarden US-Dollar anwachsen, was einer CAGR von 7% entspricht. Weitere Studien prognostizieren ein jährliches Wachstum zwischen 5,2 % und 7,2 %. Der Markt für Dämmstoffe im asiatisch-pazifischen Raum wird bis 2030 voraussichtlich fast 45 % des Umsatzes ausmachen, angetrieben durch Bevölkerungswachstum, Urbanisierung und industrielle Entwicklung. Das Segment der **Kunststoffschäume wird eine Wachstumsrate von etwa 7 % verzeichnen** und bis 2030 einen Wert von rund 53 Milliarden US-Dollar erreichen.

Einsatz von Dämmstoffen

Die gebräuchlichsten Dämmstoffe sind aus mineralischen Fasern, pflanzlichen Rohstoffen oder aus geschäumten Kunststoffen wie Polystyrol (PS) (siehe Abbildung 1). Bei PS muss man nochmal zwischen expandiertem Polystyrol (EPS) und extrudiertem Polystyrol (XPS) unterscheiden. **Der Marktanteil von Kunststoffen liegt bei ca. 50%.** In Österreich zeigt sich in Abbildung 2, dass der Anteil an Kunststoffen im Vergleich zu Mineralwolle höher liegt. Insgesamt wurden in Österreich 3,5 Mio m³ Schaumstoffe verbaut.

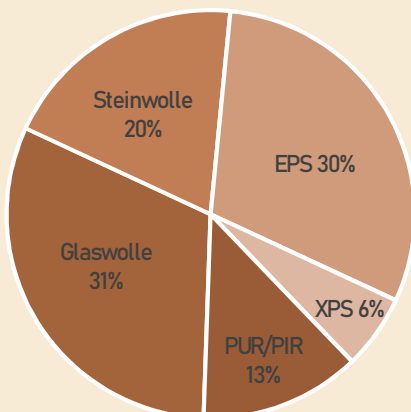


Abbildung 3: Weltweiter Verbrauch von Dämmstoffen im Jahr 2022 (eigene Bearbeitung nach Ceresana Market Research 2023)

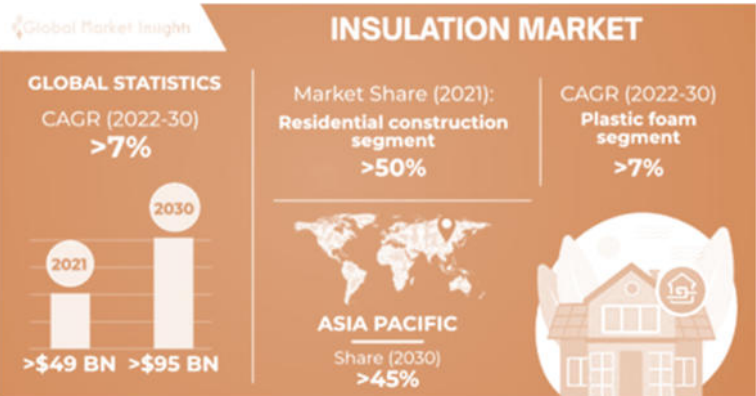


Abbildung 1: Weltweiter Dämmstoffmarkt (GMI 2022)

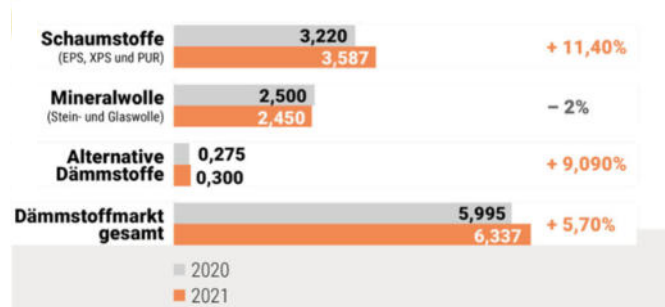


Abbildung 2: Verbau von Dämmstoffen in Österreich (in Mio. m³) (SOLIDBAU 2023)

Montage

Die Montage von EPS- und XPS-Platten erfolgt typischerweise ähnlich. Sie werden mit einer speziellen Klebmasse auf die Oberfläche des Gebäudes aufgebracht und oftmals noch zusätzlich mechanisch mit Dübeln und Schrauben. Danach wird eine Armierungsschicht angebracht und anschließend ein Unter- und Oberputz aufgetragen.

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – DÄMMUNG

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen

Abfallaufkommen in Europa und Ö

2018 betrug die Gesamtmenge des gesammelten EPS/XPS-Bauabfalls in Europa etwa 142.000 Tonnen (siehe Abbildung 4). Davon wurden 13.900 Tonnen (10 %) recycelt, 95.000 Tonnen (67 %) energetisch verwertet und 33.000 Tonnen (23 %) entsorgt. Gründe für niedrigere Recyclingquoten von EPS/XPS-Abbruchabfällen sind die schlechte Qualität Materialien aus dem Abriss (hohe Verunreinigungen, Verschmutzung usw.). Die EPS/XPS-Bauabfall-Recyclingrate liegt in Österreich bei ca. 20%, der überwiegende Teil (79%) wird thermisch verwertet (Conversio 2020). In Österreich werden jährlich etwa 13.200 Tonnen EPS-Abfall produziert. Laut ExpertInnen der Kunststoff verarbeitenden Industrie wird ein Großteil des EPS-Abfalls derzeit für die Herstellung von Leichtbeton und Estrich verwendet und gelangt nicht zurück in den Kreislauf.

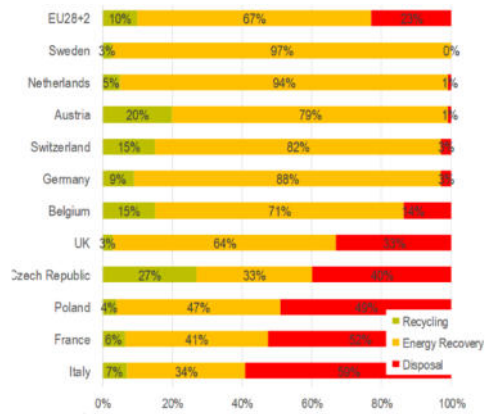


Abbildung 4: Gesamtes Post-Consumer EPS/XPS-Bauabfallvolumen nach Land und Behandlung im Jahr 2018 (Conversio 2020)

EU 28+2 2018 EPS/XPS construction waste	Waste collected in kt				Recovery in kt				Disposal in kt
	EPS in kt	XPS in kt	Total	%	Mechanical Recycling as EPS/XPS	Mechanical Recycling as PS	Energy Recovery	Total	Total
Installation waste (no HBCD)	26.8	5.4	32.2	23%	10.2	2.4	9.6	22.2	10.0
Demolition waste (no HBCD & HBCD containing)	94.8	14.7	109.5	77%	1.0	0.3	85.1	86.4	23.1
Total Construction Waste	121.6	20.1	141.7	100%	11.2	2.7	94.7	108.6	33.1
					8%	2%	67%	77%	23%

Abbildung 5: Abfallaufkommen von EPS und XPS in Europa (Conversio 2020)

Kreislaufführung

Grundsätzlich finden stoffliche Entsorgungswege für EPS und XPS, wie die Herstellung von Rezyklat, nur bei Produktionsverschnitten und Baustellenrestverschnitten statt. Handelt es sich allerdings um HBCD-freies EPS ist dies auch für Post-Consumer Abfälle aus dem Rückbau möglich. Bei XPS gestaltet sich dies schwieriger, da diese Kunststoffe neben HBCD auch die Treibmittel FCKW (bis 1995) und HFCKW (bis 2002) beinhalten (hergestellt bis 2008) und deshalb als gefährlicher Abfall und POP-Abfall eingestuft werden.

Recycling

Europaweit kann EPS bereits in großen Mengen recycelt werden (z.B. EUMEPS, EPS Recycle Programm, PS-Loop). In Österreich: Projekt EPSolutely mit dem Ziel die Recyclingquote deutlich zu erhöhen.

→ Hindernisse an Baustellen:

- Korrekte Zuordnung der Abfälle
- Verunreinigungen
- Sammel- und Transportsysteme

Biobasierte Alternativen

- Alternativen wie Kork, Schaf- und Holzwolle haben schlechtes Kosten-Nutzen-Profil
- Holzfaser: Problem in hoher Dichte und vor allem Rohstoffverfügbarkeit
- Bio-attribuiertes EPS: aus biogenem Pflanzen- oder Kochöl hergestellt, technisch ist ein Einsatz ohne Qualitätsverlust möglich. ABER: die deutlich teurer als konventionelles EPS.
- OrganoPor als vielversprechende Option für die Zukunft: Nutzung biogener Reststoffe und ein flammhemmendes Bioharz, kann recycelt oder kompostiert werden.

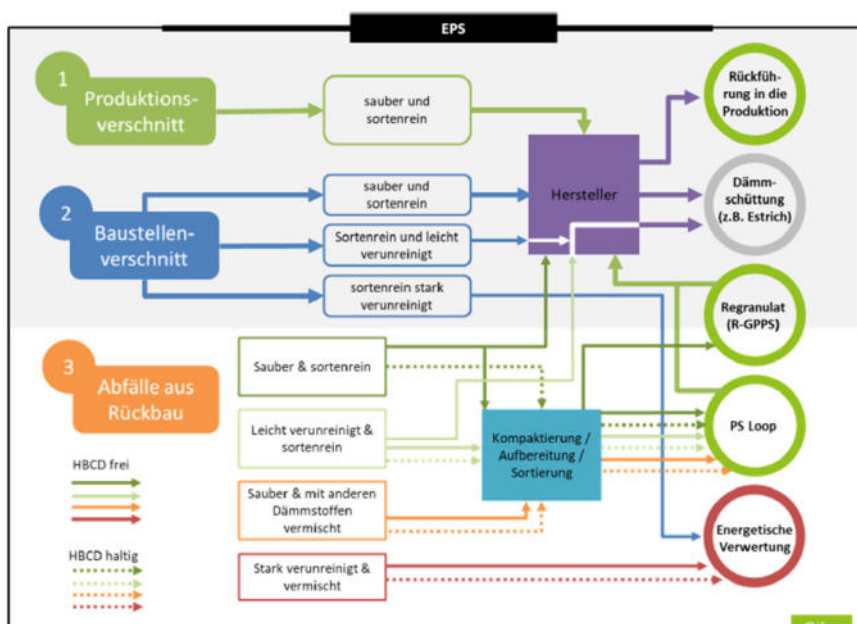


Abbildung 6: Entsorgungswege von EPS-Dämmstoffen (IFEU 2021)

ANWENDUNGSBEREICH GEBÄUDE – DÄMMUNG

Perspektiven und Maßnahmen

Rechtliche und finanzielle Rahmenbedingungen

Durch die erweiterte Herstellerverantwortung sollen Produzenten von Dämmstoffen das Lebensende ihrer Produkte berücksichtigen und die Entsorgungskosten im Kaufpreis abdecken. Dies fördert den selektiven Rückbau und die Etablierung von Sammelsystemen, während höhere Entsorgungskosten Anreize für recyclingfreundliche Methoden schaffen.

Bauliche Rahmenbedingungen

Bereits beim Bau sollten vorausschauende Konstruktionen den späteren Rückbau erleichtern, indem Dämmstoffe lose verbaut und mechanisch befestigt werden. Entwickelte WDVS-Systeme und klare Materialkennzeichnungen auf Baustellen fördern den sortenreinen Rückbau, während Konstruktionsmethoden die Recyclingfähigkeit und die Vermeidung von Verbundwerkstoffen berücksichtigen sollten.

Best Practice

EPS-Abfälle mit HBCD, die vor 2015 verwendet wurden, waren bisher nicht recycelbar und wurden verbrannt. Die PS-Loop-Initiative ermöglicht nun mit einer Abtrennung von HBCD das Recycling dieser Abfälle mit einer Anlage in Terneuzen, Niederlande, die 3.000 Tonnen pro Jahr verarbeiten kann, mit einer möglichen Ausweitung auf 8.000 Tonnen. Die Anlage nutzt die CreaSolv-Technologie des Fraunhofer-Instituts und ermöglicht einen dreistufigen Recyclingprozess. Nach einer Insolvenz der Betreiberfirma im Juni 2023 wurde das Projekt von der German EPS Converters (GEC) Group übernommen. Die SUNPOR Kunststoff GesmbH, ein österreichischer Hersteller von EPS-Kunststoffen, unterstützt die PS-Loop-Initiative aktiv.

FAZIT

- ✓ **Aufgrund hoher Energiepreise und Effizienzverbesserungen generell steigender Bedarf an Dämmstoffen zu erwarten**
- ✓ **In Österreich werden fast 80% de EPS/XPS-Abfälle thermisch verwertet und nur 20% recycelt**
- ✓ **Rechtliche, finanzielle und bauliche Rahmenbedingungen überarbeiten um Recyclingquote zu erhöhen**
- ✓ **Projekt EPSolutely**
- ✓ **Biobasierte Alternativen nur Nischenanwendung**

Recycling auf Baustellen verbessern

- Optimieren der Baustellenlogistik: Notwendigkeit logistischer Planung mindestens 2 Tage im Voraus. Die Aufstellung der Container in passender Größe sollte Just-In-Time in Abhängigkeit der zu erwartbaren Menge erfolgen. Big-Bags stellen hier eine gute Option dar das Material sortenrein zu sammeln. Man kann Sie auch an den Schlaufen gut transportieren und an Gerüsten lagern. Big-Bags könnten auch zusätzlich mit QR-Codes versehen werden um anschließend schnell zu erkennen um welchen Abfall es sich handelt.
- Finanzielle Anreize: Sortenreine Fraktionen sollten kostengünstiger entsorgt bzw. wiederverwendet werden. Wichtig ist auch, dass die bereitgestellten finanziellen Mittel auch bei den Baustellenbeteiligten ankommen.
- Trennung des Abfalls vor Ort: manuelle Entfernung des WDVS → Putzschicht von Dämmung abziehen und Verdübelungen lösen. Maschinelle Entfernung des WDVS → Sortengreifer trägt gesamten Verbund ab und die manuelle Trennung erfolgt am Boden
- Überwachung: Überwachung der Baustellen können Deponierung oder energetische Verwertung von Abfällen verhindern. Es sollte Priorität auf Recycling oder Vorbehandlung gelegt werden, bevor eine energetische Verwertung in Betracht gezogen wird. Zudem sind klare Standards für Selektivität und Getrennthaltung in Ausschreibungen notwendig, um eine effektive Umsetzung sicherzustellen
- Ausbildung zur Rückbaukundigen Person: Im Rahmen dieser Bemühungen, die Effizienz und Wirksamkeit des Recyclingprozesses auf Baustellen zu steigern, können die genannten Maßnahmen durch die Ausbildung zur Rückbaukundigen Person unterstützt werden. Gemäß der Recycling-Baustoffverordnung, Bundesgesetzblatt II 181/2015, wird eine Rückbaukundige Person als eine natürliche Person definiert, die über eine bautechnische oder chemische Ausbildung verfügt und Kenntnisse über Abbrucharbeiten, Abfall- und Bauchemie sowie Abfallrecht besitzt. Durch Informationsschreiben, integrieren in Lehrgängen und das anbieten von Veranstaltungen soll die Bekanntheit gesteigert werden.

Quellen

- Ceresana Market Research
- SOLIDBAU
- Branchenradar 2024: Dämmstoffe in Österreich 2024
- IFEU 2021: Der Gebäudebestand steht vor einer Sanierungswelle – Dämmstoffe müssen sich den Materialkreislauf erschließen
- Conversio 2020: „Waste generation, waste streams and recycling potentials of HBCD- containing EPS/XPS waste in Europe and forecast model up to 2050“
- GfI. 2022. „Insulation Market Share Report, Industry Trends [2022-2030]“

ANWENDUNGSBEREICH CONSUMER GOODS

HAUSHALTSGERÄTE

SPORTGERÄTE

SPIELWAREN

ANWENDUNGSBEREICH CONSUMER GOODS – HAUSHALTSGERÄTE

Status quo und Trends

Entwicklung des Marktes in Europa

Der Markt für Haushaltsgeräte in Europa erzielt 2024 einen Umsatz von etwa 94,26 Mrd. €. Bis 2029 wird ein Anstieg auf 116,80 Mrd. € prognostiziert, was einem jährlichen Wachstum von 4,38 % (CAGR 2024-2029) entspricht.

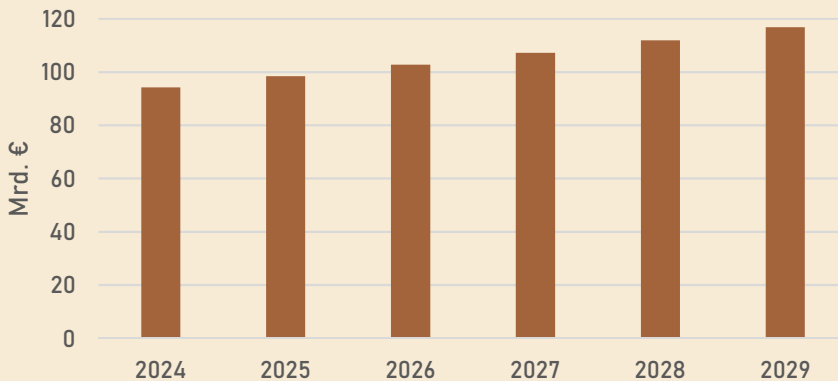


Abbildung 1: Markt für Haushaltsgeräte in Europa (eigene Darstellung nach Statista)

Das größte Segment sind Haushalts**groß**geräte mit einem Wert von rund 52,46 Mrd. € im Jahr 2024 und mit einem prognostizierten Mengenvolumen von 103 Mio. Stück im Jahr 2029. Haushalts**klein**geräte besitzen im Jahr 2024 ein Marktvolumen von etwa 41,8 Mrd. € und das mengenmäßige Volumen wird im Jahr 2029 mit etwa 607 Mio. Stück prognostiziert. **Kunststoffe werden in diesem Bereich aufgrund von Design und Funktionalität nicht weniger werden.**

Markt für Haushaltsgroßgeräte in Österreich 2019

- 0,99 Mrd. € Umsatz mit Haushaltsgroßgeräten
- 133.047 Tonnen Elektronikschrott aus Haushalten und Gewerbe
- 14.000 Tonnen Kumulierte Output-Fractionen aus Kühl- und Gefriergeräten
- Davon entfallen auf Kunststoff ca. 2.400 Tonnen (17,2%) und auf die PUR-Fraktion ca. 2.300 Tonnen (16,4%)

Das Volumen (in Mio. Stück) von Haushaltsgroßgeräten betrug im Jahr 2022 1,29 in Österreich und 13,43 in Deutschland. Prognosen für die nächsten Jahre zeigen, dass die Zahlen relativ stabil bleiben.

Einsatz von Kunststoffen bei Haushaltsgroßgeräten

- Polypropylen (PP): Waschmaschinenteile
- Polyethylen (PE): Geschirrspülerteile wie Schubladen
- Polyamid (PA): Waschmaschinenteile wie Schleifringe

Beispiel Kühlschrank:

Bei Kühl- und Gefrierschränken werden Polystyrol (PS) und Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) für Innenverkleidungen und Fächer sowie Polyurethan (PUR) – Schaum für die thermische Isolation verwendet. PS und ABS werden in der Regel durch Spritzguss hergestellt und im Metallgehäuse verankert. PUR-Schaum wird in dem Hohlraum zwischen Innen- und Außenwand eingespritzt und ist nach dem Aushärten fest mit der Verkleidung des Kühlschranks verbunden.

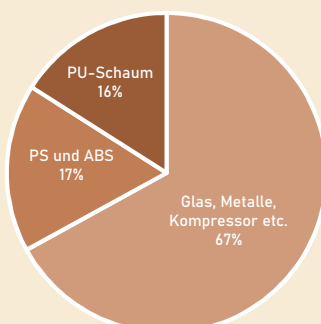


Abbildung 2: Bestandteile eines Kühlschranks in Gew.-% (Liebherr)

Einsatz von Kunststoffen bei Haushaltskleingeräten

- Polystyrol (PS): Gehäuse, Abdeckungen, Behälter
- Polypropylen (PP): Griffe, Behälter, Deckel
- Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS): Gehäuse, Abdeckungen, Behälter, Griffe
- Polyethylen (PE): in flexiblen Teilen wie Schläuchen
- Polycarbonat (PC): Abdeckungen, Saugrohre

Im Durchschnitt bestehen Haushaltskleingeräte zu 25 Gew.-% aus Kunststoff. Folgendes **Beispiel (Roboterstaubsauger)** zeigt, dass es auch deutlich mehr sein können: Roboterstaubsauger bestehen aus einer Vielzahl von Kunststoffen, die jeweils spezifische Eigenschaften bieten. Die Teile werden mittels Schrauben, Schnappverbindungen oder Klebstoffen zusammengehalten.

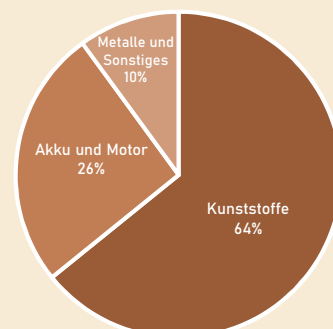


Abbildung 3: Bestandteile eines Roboterstaubsaugers in Gew.-% (SENS eRecycling)

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen in der Kreislaufwirtschaft

Praxis in Österreich

Aktuell gibt es in Österreich die Elektroaltgeräte-Sammlung. Ein Kunststoffrecyclingunternehmen aus Österreich nutzt den Strom aus der Elektroaltgeräte-Sammlung und sortiert die Geräte mittels mechanisches System wobei die häufigsten Kunststoffe, PP, PS, ABS und PCABS abgetrennt werden.

Die gewonnen Rohstoffe werden aufbereitet und als Recyclingmaterial verkauft. Insgesamt werden ca. 95% des hergestellten Rezyklats exportiert und wieder für Elektrogeräte verwendet. Kaffeemaschinenhersteller, z.B., beauftragen dann Unternehmen die mit diesem Rezyklat das Außengehäuse der Geräte spritzgießen. Außengehäuse der Kaffeemaschinen aller bekannter Marken sind aus 100% Post-Consumer-Rezyklat.

Zahlen zur Sammlung

Jährlich werden europaweit etwa 12-13 Millionen Tonnen Elektrokleingeräte gesammelt, wobei Kunststoffe einen Anteil von etwa 25 Gew.-% ausmachen. Dies entspricht rund 3-3,3 Millionen Tonnen Kunststoff aus Elektrokleingeräten pro Jahr.

Ein Kunststoffrecyclingunternehmen aus Österreich benötigt jährlich mindestens 50.000 Tonnen Kunststoff als Input. 15-20% der für diese Mengen verwendeten Elektrokleingeräte stammen aus Österreich. Angesichts dieser Zahlen ist klar: Die erforderlichen Mengen sind vorhanden, vorausgesetzt, die Sammelsysteme funktionieren zuverlässig.

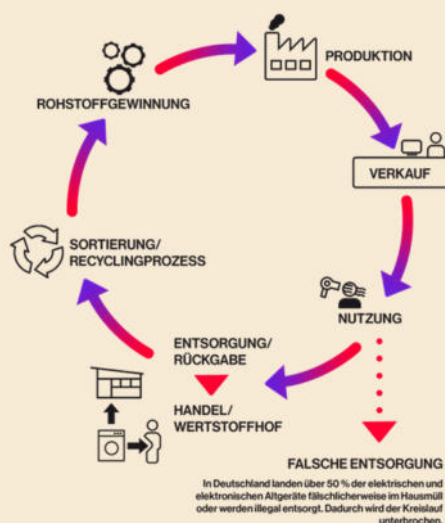


Abbildung 4: Allgemeiner Recycling-Kreislauf von Elektronikgeräten (VISTA-electronic GmbH)

Herausforderungen

Fachgerechte Entsorgung: Elektroaltgeräte werden oft fälschlicherweise im Hausmüll entsorgt und stehen somit für den Recyclingprozess nicht mehr zur Verfügung.

Rechtlich: Ein wesentlicher Aspekt der Recycling-Problematik ist rechtlicher Natur. Für recyceltes Polypropylen (rPP) existieren derzeit keine lebensmittelrechtlich zugelassenen Typen. Dies stellt ein erhebliches Hindernis dar, da rPP somit z.B. auch nicht für die Herstellung von Frischhaltebehältern und anderen Produkten verwendet werden kann, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen.

Technisch: Ein weiteres Problem beim Recycling liegt in den technischen Herausforderungen, die durch die Vielfalt der verwendeten Kunststoffe entstehen. Diese Vielfalt führt zu einem schwer zu trennenden Materialmix, der das Recycling erheblich erschwert. Durch die unterschiedlichen Eigenschaften und Zusammensetzungen der Kunststoffe ist eine effiziente Trennung und Wiederverwertung oft nicht möglich.

PFAS (per- und polyfluorierte Chemikalien): PFAS sind Industriechemikalien und umfassen mehrere Substanzen, die Belastungen für Mensch und Umwelt bergen. Bestimmte PFAS sind in der EU seit 2010 (PFOS) und seit 2020 (PFOA) in der POP-Verordnung geregelt. Sie kommen u.a. in Elektrogeräten zum Einsatz und lösen bei Wiedereinbringen Grenzwertdiskussionen aus.

Verunreinigungen beim Recycling von Kühlschränken:

Etwa 17,2% der Kunststoff- und 16,4% der PUR-Mehl-Fractionen sind aufgrund massiver Verunreinigungen nicht für die direkte Wiederverwendung geeignet. Stattdessen müssen diese Materialien entweder downgecycelt oder thermisch verwertet werden. Dies führt zu zusätzlichen Kosten und Ressourcenverbrauch im Recyclingprozess.

Logik des Produktlebenszyklus: Die Integration von Sammel- und Recyclingkosten in den Kaufpreis eines Produkts ist eine gängige Praxis. Das dabei eingesammelte Geld wird üblicherweise auf verschiedene Sammelorganisationen verteilt. Allerdings gelangt dieses Geld nicht in vollem Umfang bei den Recyclingunternehmen. Obwohl Sammelorganisationen gemeinnützig sind, erzielen sie dennoch Gewinne. Einige erhalten zusätzliches Geld, da sie Material zur Wiederverwertung bereitstellen, während Unternehmen Rezyklathersteller das benötigte Material für das Recycling kaufen müssen.

ANWENDUNGSBEREICH CONSUMER GOODS – HAUSHALTSGERÄTE

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen

Sonderfall: Recycling von Kühlschränken

Kühl- und Gefriergerät, enthalten nicht nur Wertstoffe, die wiederverwendet werden können, sondern auch Schadstoffe, die sicher entsorgt werden müssen. Moderne Kühlschränke unterscheiden sich erheblich von den älteren Modellen, die vor Jahrzehnten hergestellt wurden. Trotz dieser Unterschiede müssen alle Geräte, sowohl alte als auch neue, korrekt recycelt werden. Früher verwendete man in Kühlschränken Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Kältemittel und Isolationsmaterial. Die Schweiz hat früh hierfür ein komplexes Recyclingverfahren für Kühlgeräte entwickelt, das nicht nur die Rohstoffrückgewinnung zum Ziel hat, sondern auch die effiziente Entfernung der Kältemittel, des Öls und der Treibmittel aus der Isolation. Dieses Verfahren wurde später von der EU als Standard übernommen.

Zunächst werden manuell alle losen Teile und Schadstoffe entfernt. Anschließend wird das Kältemittel mittels Unterdrucksystem abgesaugt und das Kältemittel-Ölgemisch von Schadstoffen getrennt. In der zweiten Recyclingstufe werden die Geräte zerkleinert und geschreddert, um Wertstoffe wie Eisen, Aluminium, Kupfer und Kunststoffe voneinander zu trennen. Der Isolierschaum wird dabei aufgeschlossen, um die Porenstruktur zu zerstören und die schädlichen Treibmittel maximal zu entgasen.

Hindernis: Die gewonnen Kunststoffe wieder in den Kreislauf zurück zu führen ist schwer zu realisieren, vor allem aufgrund der Fremdstoffe und dem mix verschiedener Materialien. Zudem ist die Farbe ein großes Problem. Im PU-Schaum befinden sich oft 20-30% Fremdstoffe, während im PS 10-20% Fremdstoffe enthalten sind. Diese bunten Kunststoffteile beeinträchtigen die Qualität des Rezyklats und erschweren dessen Wiederverwendung.

Fazit: Materialreinigungsschritte sind notwendig aber extrem aufwendig. Chemisches Recycling ist hier eine Option, doch die Umsetzung ist schwierig.

Biobasierte Alternativen

- Es gibt bereits einige biobasierte Kunststoffvarianten, allerdings fehlt noch ein Material, das z.B. ein ähnliches Eigenschaftsprofil wie ABS aufweist. Während biobasierte Kunststoffe für einfache Anwendungen geeignet sind, können sie derzeit noch nicht in Bereichen eingesetzt werden, die höhere Anforderungen an Schlagfestigkeit und Temperaturbeständigkeit stellen.
- Kein-„drop-in“: PLA kann für bestimmte Anwendungen ein möglicher Ersatz sei und bietet eine gute biobasierte Alternative. Allerdings steigert sich der Komplexitätsgrad durch zusätzliches Polymer → Problem für Recycling
- „drop in“: da sind alle Möglichkeiten offen, weil die Basis, die Monomere gleich bleiben → wenn dann nur in diese Richtung und Fokus auf „drop-in“ Lösungen → Design for Recycling
- greenPE von Braskem: Diese biobasierte Alternative wird in Brasilien aus gentechnikfreiem Zuckerrohr hergestellt und ist chemisch identisch mit mineralölbasiertem PE. Es kann daher direkt als Ersatz verwendet werden, sowohl in der Anwendung als auch in der Entsorgung. Es ist verfügbar, wenn auch eingeschränkt: Die Produktionskapazität beläuft sich momentan auf ca. 200.000 Tonnen. Ökonomisch sollte mit der steigenden Menge auch der Materialpreis sinken und für eine breitere Anwendung offen sein. Ein Hersteller von Kunststoffprodukten nutzt greenPE für Haushaltswaren und zeigt sich damit sehr zufrieden. Er schätzt, dass die Akzeptanz dieser Alternative kein Problem darstellt, solange sie zum gleichen Preis wie herkömmlicher Kunststoff erhältlich ist und die Betriebe ihre Verarbeitung nicht anpassen müssen.
- **Spezialfall Kühlschrank:** Einsatz von biobasierten Alternativen viel zu teuer und zudem ist die Umstellung technisch noch nicht denkbar. Konventioneller PU-Schaum besitzt Eigenschaften die mit biobasierten Alternativen nicht erreicht werden können. Oft Greenwashing betrieben indem man behauptet der Kühlschrank ist aus Kunststoffe von nachwachsenden Rohstoffen gebaut, jedoch oft nur die Eierschalen aus PLA.

Perspektiven und Maßnahmen

Diskussion über Grenzwerte

Die Sammlung von Elektrokleingeräten in Europa gestaltet sich als schwieriges Unterfangen. Die Wiedereingliederung dieser Geräte in den Kreislauf führt zu Diskussionen über Grenzwerte, insbesondere im Hinblick auf PFAS (per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen). Wenn diese Grenzwerte strikt durchgesetzt werden, könnten selbst optimale Recyclingverfahren an ihre Grenzen stoßen.

Es stellt sich die Frage: Priorisieren wir das Erreichen strenger Grenzwerte oder das Recycling selbst? Die Senkung der Grenzwerte ist ein Ziel, aber wie weit sollten sie gehen? Diese Diskussionen sind entscheidend für die Zukunft des Haushaltsgeräte-recyclings und erfordern eine ausgewogene Betrachtung der Umweltziele und der Machbarkeit. Österreich hat geringe Hebel für Verbesserungen, die Rahmenbedingungen kommen von der EU.

Design for Repair (DfRep)

DfRep zielt darauf ab, die Reparatur und Wartung von Produkten zu erleichtern, um deren Lebensdauer zu verlängern und den Abfall zu reduzieren. Dabei steht die Austauschbarkeit und Zugänglichkeit von Bauteilen im Vordergrund. Eine reparaturfreundliche Waschmaschine hat z.B. zugängliche Teile wie Pumpe und Trommel, die mit Schrauben statt Klebstoffen befestigt sind. Ersatzteile und Anleitungen sind leicht verfügbar.

Design for Disassembly (DfD)

Der DfD-Ansatz verfolgt das Ziel, Produkte so zu gestalten, dass sie am Ende ihrer Lebensdauer einfach und effizient zerlegt werden können, um das Recycling und die Wiederverwertung der Materialien zu erleichtern. Eine Kaffeemaschine, die nach den Prinzipien des DfD entworfen wurde, verwendet Schraubverbindungen und Stecksysteme, um die einzelnen Komponenten miteinander zu verbinden. Dadurch können Bauteile wie das Gehäuse, der Wassertank, die Heizplatte und die Elektronik am Ende der Lebensdauer der Maschine einfach getrennt und recycelt werden. Materialien wie Kunststoff, Metall und Glas sind klar voneinander abgegrenzt und leicht sortierbar.

Best Practice

→ Bei GRUNDIG ist Recycling großes Thema: z.B. sind bereits etwa 58 Mio. PET-Flaschen in Trommelgehäusen von Waschmaschinen und Trockner verbaut worden

Design for Recycling

Mit dem „Design for Recycling“-Ansatz könnte man den Recyclingprozess effizienter machen. Hierfür wäre ein modularer Aufbau der Geräte am vielversprechendsten. Um die einzelnen Komponenten der Geräte leicht zu trennen sind separate Module für Kühltechnologie und andere technische Komponenten notwendig. Eine klare Führung der Kabel in speziellen Kanälen erleichtert die Trennung der elektrischen Komponenten. Wenn das Konzept des Design for Recycling in den Vordergrund rückt, entsteht die Frage nach der Notwendigkeit eigener Sammelketten, um das Kreislaufsystem sicherzustellen. Die Herausforderung besteht darin, dass der Nutzen des Produkts immer zuerst kommt, während die Rohstoffe für das Kreislaufsystems erst nach ihrer Nutzung verfügbar werden.

Leasing: Eine interessante Lösung könnte darin bestehen, ein Leasing-Modell einzuführen, bei dem Hersteller ihre Produkte sicher zurückbekommen. Dadurch könnten sie die Kontrolle über den Lebenszyklus ihrer Produkte behalten und sicherstellen, dass die zurückgeholten Geräte repariert werden oder die Materialien für das Recycling zur Verfügung stehen. Dies würde nicht nur die Effizienz des Recyclingprozesses verbessern, sondern auch den Anreiz für Hersteller erhöhen, Produkte zu entwerfen, die leichter reparierbar oder recycelbar sind.

Bedeutung von Normen

Es muss sichergestellt werden, dass die heute verwendeten Materialien auch in einigen Jahren nach der Nutzung recycelt werden dürfen. Dies sollte durch die Standardisierung recycling-kompatibler Material- und Verbindungslösungen erreicht werden, um rechtliche Hürden zu vermeiden. Hersteller sollten bei der Materialwahl für Haushaltsgeräte zukünftige Szenarien berücksichtigen, einschließlich der Überprüfung der Langzeit-Zulässigkeit und der Evaluierung von Alternativen, die oft bessere Recycling-Eigenschaften aufweisen.

FAZIT

- ✓ **Markt für Haushaltsgeräte wird weiter steigen**
- ✓ **Kunststoffe werden nicht weniger**
- ✓ **Potential für Recycling des Kunststoffs (wegen Mengen) groß**
- ✓ **Herausforderungen vor allem rechtlich und technisch**
- ✓ **Einsatz von biobasierte Alternativen eingeschränkt**

Wichtigste Maßnahmen:

- **Langlebigkeit und Kreislauffähigkeit als grundlegende Designanforderung**
- **Design for Disassembly**
- **Design for Repair**

Quellen

- Statista
- PlasticsEurope
- Liebherr
- TCKT

ANWENDUNGSBEREICH CONSUMER GOODS – SPORTGERÄTE

Status quo und Trends

Entwicklung des Marktes für Sportgeräte

Zusammen mit den Haushaltsgeräten, machen Freizeit- und Sportgeräte ca. 4% des europäischen Kunststoffbedarfs aus. Der Sportbereich ist, gemeinsam mit der Medizintechnik, bzgl. dem Einsatz von Kunststoffen sicher das Anwendungsgebiet mit der höchsten Akzeptanz.

In der nachfolgenden Marktanalyse werden Sportbekleidung und Sportschuhe *nicht berücksichtigt*. Im Jahr 2024 wird der Umsatz im europäischen Markt für Sportgeräte etwa 26 Mrd. € betragen. Prognosen zufolge wird das Marktvolumen im Jahr 2028 auf knapp 31 Mrd. € steigen. Dies entspricht einem jährlichen Wachstum von 4,43% (CAGR 2024-2028), was auf eine positive Marktentwicklung hinweist.

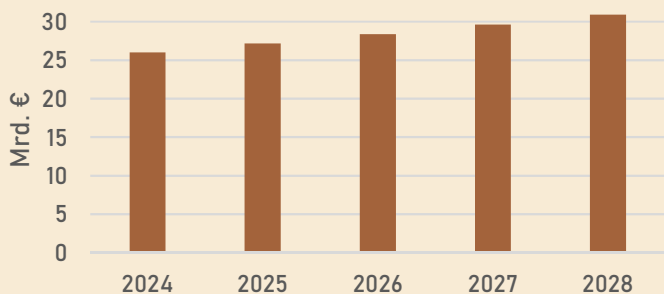


Abbildung 1: Markt für Sportgeräte in Europa (eigene Darstellung nach Statista)

Der globale Markt für Sportgeräte wurde im Jahr 2022 auf ca. 442 Milliarden USD geschätzt und wird voraussichtlich während des Prognosezeitraums mit einer jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 6,95 % auf 662 Milliarden USD bis 2028 anwachsen.

Eingesetzte Kunststoffe

- Polyamid (PA): Nylon für Segel, Garne für Kunstrasen
- Polyurethan (PU): Wasserabweisende Schicht in Schuhen, Bälle, Schichten in Kunstrasen, Gummierte Laufbahnen, Fasern für Sportbekleidung
- Polycarbonat (PC): Helme, Gesichtsschutz, Mundschutz, Schienbeinschoner, Bogensport, Sportschutzbrillen
- Polypropylen (PP): Sportbekleidung, Garne für Kunstrasen
- Ethylen-Vinyl-Acetat (EVA): Weiche Kunststoffschäume zur Stoßdämpfung und Gewichtsreduktion von Schutzausrüstung, bspw. für Spezielle Spiel- und Wurfbälle und Schwimmhilfen
- Polyester: Sportbekleidung wie Trikots, Badeanzüge oder spezialisierte Wettkampfbekleidung
- Polyethylen (PE): Garne für Kunstrasen
- Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff (CFK): Fahrradrahmen, Speedskates, Tennisschläger, Snowboards und Angelruten.

Einsatz von Kunststoffen

Wo werden Kunststoffe im Sportbereich eingesetzt? Ein paar Beispiele:

- Ballsport: moderner Fuß-, Hand und Basket- und Tischtennisbälle, Nutzung von Kunststoffen auch für Schiedsrichterpfeifen, Tornetze und Eckfahnen
- Tennis: Herstellung leichter und stabiler Tennisschläger mit hervorragenden Stoßdämpfungssystemen
- Wassersport: Produktion leichter und stabiler Rümpfe für Power Cruiser, Segelyachten und andere Boote aus Verbundkunststoffen; Verwendung von Kunststoffen in Kajaks, Kanus, Flossen und Surfbrettern
- Wintersport: Omnipräsenz von Kunststoffen in Ausrüstung, Kleidung und Schuhen für Spitzenleistung; Unverzichtbarkeit für Freizeitsportler und Olympiateilnehmer gleichermaßen
- Sonstiges: Verwendung von Kunststoffen für Spielplätze und Sportböden als auch für Fahrradhelme, Schwimmhilfen, Knieschoner und anderen Schutzsportartikeln

Montage

Viele Sportartikel, insbesondere solche, die eine nahtlose Oberfläche benötigen oder aus mehreren Schichten bestehen, werden verklebt. Zum Beispiel werden Fußbälle oft durch thermisches Verbinden einer Polyurethanschicht auf einer nahtlos verklebten Oberfläche hergestellt. Bei Skiern, z.B., sind die Stahlkanten, Aluminiumlegierungen, Kunststoffteile und Co. ebenfalls miteinander verklebt, teils sogar verschmolzen. In einigen Sportgeräten, die aus verschiedenen Teilen zusammengesetzt sind, werden Schrauben verwendet, um die Kunststoffteile zu befestigen.

Thermoplastische Kunststoffe können durch Schweißverfahren miteinander verbunden werden. Dies wird oft bei der Herstellung von Schutzhelmen und Teilen von Booten angewendet. Einige Kunststoffkomponenten werden durch spezielle Mechanismen wie Einklemmen oder Einrasten miteinander verbunden (z.B. Sportbrillen). Für Schuhsohlen und Griffe werden Kunststoffe in spezielle Formen gegossen oder gedrückt.

ANWENDUNGSBEREICH CONSUMER GOODS – SPORTGERÄTE

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen

Entsorgung

In Österreich gibt es keine spezifischen Sammelschienen für Sportgeräte und Freizeitartikel. Diese werden entweder in den Restmüll oder in Kunststoffcontainer geworfen. Aufgrund ihrer Sperrigkeit oder Größe werden viele dieser Artikel als Sperrmüll entsorgt und ähnlich wie Restmüll behandelt. Altstoffsammelzentren (ASZ) sind grundsätzlich bereit, sperrige Artikel wie Ski getrennt zu sammeln - obwohl dies mit höherem Logistikaufwand verbunden ist. Eine getrennte Sammlung kann zudem auch zu Mehrkosten führen.

Herausforderungen beim Recycling

Sammlung: Es gibt in Österreich keine materialspezifischen Sammelschienen für Sportgeräte. Dies führt dazu, dass viele dieser Produkte am Ende ihrer Lebensdauer in den allgemeinen Abfallstrom gelangen,

Downcycling: In Deutschland gibt es Bemühungen Stabhochsprung- und Hochsprungmatten zu recyceln. Ausrangierte Schaumstoffe werden zunächst geschreddert. Anschließend werden die unterschiedlichen Schaumstoffabfälle zu einem Verbundschaumstoff chemisch gebunden. Dieser weist allerdings eine höhere Festigkeit auf und kann nicht mehr als Hochsprungmatte verwendet werden.

Materialmix: Damit Materialien ein "zweites Leben" erhalten können, wäre es ideal, wenn alle Komponenten eines Produkts problemlos wiederverwendet würden. Allerdings stellt die Trennung des Materialmixes eine Herausforderung dar, da die einzelnen Materialien für das Recycling in reiner Form vorliegen müssen. Bei Skiern, z.B., sind die verschiedenen Materialien verklebt oder verschmolzen. Diese zu trennen erfordert, falls überhaupt möglich, einen hohen Energieaufwand und dabei stehen Kosten und Nutzen in keinem guten Verhältnis zueinander. Bei den Skischuhen gestaltet sich das Recycling einfacher. Wenn man Schnallen und andere Anbauteile abschraubt, bleibt nur eine reine Kunststoffschale übrig.

Biobasierte Alternativen

Biobasierte Alternativen gewinnen im Bereich der Sportgeräte und -artikel zunehmend an Bedeutung. Es gibt viele Versuche Kunststoffe auf fossiler Rohstoffbasis durch biobasierte Alternativen zu ersetzen, jedoch meist nur in nicht hochbeanspruchten Teilen. Hier ist die Tendenz allerdings klar steigend.

Verbundwerkstoffe

Die Sportgerätebranche verzeichnet in einigen Bereichen einen Trend in Richtung Verbundwerkstoffe. Vor allem Naturfaserverstärkte Kunststoffe (NFK) aus Flachs gewinnen in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Sie bestehen aus Flachsfasern sowie einer Harzmatrix und sind biologisch abbaubar. Flachsfasern zeichnen sich durch ihre hohe Steifigkeit und ihr geringes Gewicht aus. Diese Merkmale machen sie zu einem idealen Material für zahlreiche Sportartikel wie Fahrräder, Hockeyschläger, Skier, Snowboards und Surfbretter. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Produktion von Flachsfaser-Verbundwerkstoffen weniger Energie benötigt und weniger Kohlenstoffemissionen als die Herstellung herkömmlicher Kohlefaser-Verbundwerkstoffe verursacht. Auch Harze sind entscheidend für die Leistungsfähigkeit von Verbundwerkstoffen. Nachhaltige Optionen wie biobasierte Harze aus Sojabohnen, Rizinusöl und Algen werden immer beliebter und bieten gute Alternativen zu traditionellen, erdölbasierten Harzen.

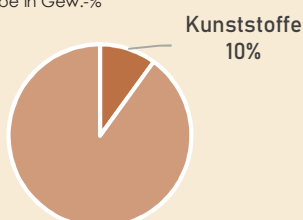
Obwohl der Einsatz von Flachsfaser-Verbundwerkstoffen in der Sportartikelindustrie noch relativ neu ist, zeigt sich bereits ein großes Potenzial für die Zukunft. Zahlreiche Unternehmen haben begonnen, dieses Material in ihre Produkte zu integrieren, und es ist zu erwarten, dass Flachsfaser-Verbundwerkstoffe in den nächsten Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnen werden.

Materialmix am Bsp. von Skiern:

Der Kunststoffanteil in Skiern ist abhängig vom Preissegment. Bei Rennskiern ist der Holzanteil sehr hoch. Dort werden nur PA für die Oberfläche und PE für den Belag verwendet. Bei Skiern aus dem niedrigen Preissegment wird PUR-Schaum als Platzhalter anstelle von Holz verwendet. Der restlichen Materialien sind jeweils Aluminiumlegierungen und Stahl. (Anonymer Skishersteller)

Ski aus dem Hochpreissegment

Angabe in Gew.-%



Ski aus dem Niedrigpreissegment

Angabe in Gew.-%

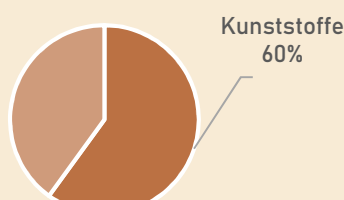


Abbildung 2: Anteil von Kunststoffen in Skiern in Gew.-%

Perspektiven und Maßnahmen

Best Practice

- **Projekt WINTRUST:** In den letzten fünf Jahren wurden in Österreich rund 1,8 Millionen Paar Ski und Ski-Schuhe, 2,3 Millionen Paar Skistöcke und 1,4 Millionen Helme verkauft. Diese gebrauchten Sportartikel werden derzeit als Sperrmüll entsorgt und verbrannt, anstatt recycelt zu werden. Um diese Rohstoffquellen im eigenen Land zu erschließen, versucht das Projekt zu erörtern wie die Materialrückführung verbessert werden kann.
- **Design for Recycling bei Rossignol:** Einige Unternehmen, wie Rossignol, berücksichtigen bereits während der Produktion das spätere Recycling. Mit ihrem neuen Skimodell Essential strebt die Marke an, zur „Recycling-Referenz in der Ski-Industrie“ zu werden. Die Konstruktion dieses Skis ist so gestaltet, dass die Materialien leicht wiederverwertet werden können. Rossignol verspricht, dass dieser Ski im Vergleich zu herkömmlichen Modellen eine zehnfach bessere Recyclingfähigkeit aufweist.
- **Recycling von Skischuhen:** Unternehmen wie Tecnica und Dalbello sind führend in entsprechenden Initiativen. Bei Tecnica gibt es das Programm "Recycle your boots". Die Idee dahinter ist, dass Kunden beim Kauf eines neuen Paares Schuhe ihre alten, unabhängig von der Marke, zurückgeben können. Diese gebrauchten Skistiefel werden dann in ein Sammelzentrum in Italien transportiert und dort zerlegt.
- **Renewaball:** Bei großen Tennisturnieren werden ca. 100.000 Tennisbälle verwendet. Weltweit werden pro Jahr ca. 350 Mio produziert. Landen sie schlussendlich im Müll, werden 97% davon entweder deponiert oder thermisch verwertet. Die Firma Renewaball bietet Sammelbehälter für Vereine an, um ausgediente Bälle zu retten. Zuerst werden die Materialien in Filz und Gummi getrennt. Der Filz wird recycelt und der Gummi als Rohstoff für die Herstellung neuer Bälle, zusammen mit reinem, biologisch abbaubarem Filz, Wolle und Baumwolle verwendet.
- **Braskem und Polytan setzen biobasierten Kunststoff für Kunstrasen ein:** Fußball- und Hockeykunstrasensysteme können aus I'm green™ Polyethylen hergestellt werden, einem biobasierten Kunststoff der von Braskem entwickelt wurde. Der Rohstoff besteht größtenteils aus Resten von Zuckerrohr, die nicht mehr für die Lebensmittelproduktion verwendet werden können. I'm green™ Polyethylen kann genauso wie herkömmliches Polyethylen recycelt werden.

Maßnahmen

Durch ein "Design for Recycling" können Sportgeräte so konzipiert werden, dass sie aus weniger verschiedenen Materialien bestehen und diese leichter zu trennen sind. Hierbei sollten folgende Maßnahmen berücksichtigt werden:

- **Vermeidung von komplexen Materialmischungen**
- **Verwendung von sortenreinen Kunststoffen**
- **Einsatz von Verbindungen, die sich einfach trennen lassen**

Eine weitere gute Maßnahme ist die Wiederverwendung von Produktionsabfällen. Ein Sportgerätehersteller hat einen Prozess entwickelt, bei dem Verschnitt-Materialien, die bei der Herstellung von Skibelägen anfallen, gesammelt und an den Materialhersteller zurückgesendet werden. Der Materialhersteller verarbeitet diese Abfälle und Skihersteller machen wieder neue Beläge daraus.

Um solche Praktiken zu fördern, könnte eine politische Maßnahmen darin bestehen, Unternehmen finanziell zu unterstützen, die ihre Produktionsabfälle recyceln und wiederverwenden. Dies könnte durch Steuervergünstigungen, Subventionen oder andere Anreize geschehen. Darüber hinaus könnten gesetzliche Vorgaben entwickelt werden, die Unternehmen dazu verpflichten, nachhaltige Recyclingpraktiken zu implementieren und ihre Produkte recyclingfreundlich zu gestalten.

Rücknahme der Hersteller

Um die Wiederverwertung von Sportartikeln und -geräten zu fördern und zu unterstützen, könnten Sportgeschäfte künftig eine Rücknahme alter Ski und anderer Ausrüstungsgegenstände anbieten. Wenn Verbraucher wissen, dass die Materialien ihrer alten Sportartikel wiederverwendet werden können, steigt die Bereitschaft, diese korrekt zu entsorgen und für das Recycling bereitzustellen. Indem Sportgeschäfte entsprechende Programme und Informationen zur Verfügung stellen, kann die Wiederverwertung dadurch erheblich gesteigert werden.

FAZIT

- ✓ **Markt für Sportgeräte wird weiter wachsen**
- ✓ **Abnahme des Kunststoffbedarfs in diesem Bereich nicht absehbar**
- ✓ **Keine materialspezifische Sammlung vorhanden**
- ✓ **Materialmix der schwer zu trennen ist als großes Hindernis**
- ✓ **Zahlreiche Initiativen und Bemühungen bezüglich Steigerung der Recyclingfähigkeit oder vermehrter Einsatz von biobasierten Alternativen**

Quellen

- Statista
- PlasticsEurope
- Plastics Industry Association
- Mindener Tageblatt
- WINTRUST

ANWENDUNGSBEREICH CONSUMER GOODS – SPIELWAREN

Status quo und Trends

Entwicklung des Marktes für Spielwaren in Europa

Im Jahr 2024 wird der Umsatz im europäischen Markt für Spielzeug etwa 30,5 Mrd. € betragen. Prognosen zufolge wird das Marktvolumen im Jahr 2028 auf knapp 32 Mrd. € steigen. Dies entspricht einem jährlichen Wachstum von 0,96% (CAGR 2024-2028), was auf eine leicht positive Marktentwicklung hinweist.

Die Spielzeugindustrie setzt zunehmend auf biobasierte Alternativen und recycelte Materialien, um Ressourcen zu schonen und die Kreislaufwirtschaft zu fördern. Unternehmen wie Toynamics und Geomag nutzen nachhaltige Ressourcen wie FSC-zertifiziertes Holz und recyceltes Plastik für ihre Produkte. Initiativen wie Mattels Rücknahmeprogramm und Keel Toys' Plüschtiere aus recycelten Plastikflaschen zeigen den Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit. Verbraucheraufklärung bleibt dabei entscheidend, um den Umstieg zu fördern. **Für den globalen Markt von nachhaltigem Spielzeug ist bis 2030 ein jährliches Wachstum von 12,5% prognostiziert.**

Eingesetzte Kunststoffe

Gängige Kunststoffe, die in der Spielzeugherstellung verwendet werden, sind:

- Polyethylen (PE): Dieser Kunststoff wird in einer Vielzahl von Spielzeugen verwendet, einschließlich Outdoor-Spielgeräten, Wasserspielzeugen und weichen Puppen.
- Polypropylen (PP): PP wird oft für Spielzeuge wie Bausteine und Brettspiele verwendet.
- Polyvinylchlorid (PVC): PVC wird häufig in Badespielzeugen, Actionfiguren und Puppen verwendet.
- Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS): ABS ist ein starker und schlagfester Kunststoff, der in Bausteinen wie LEGO-Blöcken verwendet wird.
- Polyurethan (PU)-Schaum: PU-Schaum wird in weichen, drückbaren Spielzeugen, Stressbällen und Schaumstoffpuzzles verwendet.

Anteile der eingesetzten Materialien für Spielwaren

→ Kunststoff:

Anteil: Etwa 90%

Verwendung: Kunststoff ist das vorherrschende Material in vielen Spielzeugen, einschließlich Puppen, Baukästen, Figuren und kleinen Fahrzeugen, aufgrund seiner Vielseitigkeit, Leichtigkeit und Kosteneffizienz.

→ Metalle:

Anteil: Etwa 5%

Verwendung: Metalle werden häufig in bestimmten Spielzeugkategorien wie Modellautos, Züge, Baukästen mit Metallteilen (z.B. Meccano) und in mechanischen Komponenten verwendet, die Robustheit und Langlebigkeit erfordern.

→ Andere Materialien:

Anteil: Etwa 5%

Verwendung: Holz, Textilien und Elektronikkomponenten sind ebenfalls im Spielzeugmarkt präsent, insbesondere in pädagogischen Spielzeugen, Plüschtieren und elektronischen Spielen.

Diese Prozentsätze können je nach spezifischem Marktsegment und individuellen Produkten variieren.

Holz, Textilien
und Sonstiges
5%

Metalle
5%

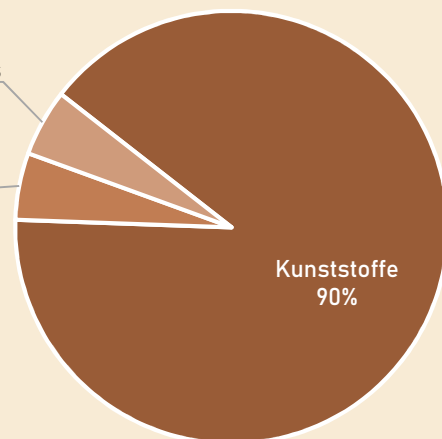


Abbildung 1: Anteile der eingesetzten Materialien für Spielwaren in Gew.-% (renewablematter.eu 2022)

Bauweise der Spielwaren

Kunststoffspielzeuge werden durch verschiedene Methoden verbaut, darunter Verschrauben für bewegliche Teile wie bei Konstruktionsspielzeugen, Kleben für komplexe Formen wie Puzzles und Gestockt werden für einfachere Konstruktionsspielzeuge. Viele werden auch durch Spritzguss hergestellt, was komplexe Formen ermöglicht, während einige eine nahtlose Konstruktion aufweisen, besonders bei einfachen Formen wie Kugeln.

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen

Aktuelle Recyclingpraxis und Herausforderungen

Die Mehrheit der Spielzeughersteller berücksichtigt die Regenerierbarkeit ihrer Produkte noch nicht. Viele kämpfen weiterhin damit, Schadstofffreiheit zu gewährleisten. Ein hoher Recyclinganteil wird vermieden, da gefährliche Inhaltsstoffe nicht ausgeschlossen werden können. Dies ist besonders problematisch bei Spielzeug, das speichelresistent sein muss, um die Sicherheit der Kinder zu gewährleisten.

Die Basis für Spielzeugrecyclings ist in Österreich zudem aufgrund fehlender materialspezifischer Sammelschienen auch nicht vorhanden. Herausforderungen sind:

Materialmix: Falls doch gesammelt wird, dann sind es Mischungen vieler verschiedener Kunststofftypen mit allen ihren Additiven.

Mangelnde Qualität des Rezyklats: Aus diesen Mischungen kann kein hochwertiges Rezyklat hergestellt werden. Selbst bei besten Bemühungen entspricht das recycelte Produkt in den meisten Fällen nicht annähernd der Qualität des Originalmaterials.

Gefährliche Additive: Es besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass gefährliche Additive im Rezyklat vorhanden sind. Diese Additive können gesundheitsschädlich sein und ihre Anwesenheit im recycelten Material stellt ein ernstzunehmendes Risiko dar.

Recycling von biobasierten Alternativen

Biobasierte und bio-attribuierte (ISCC+) Materialien, also „drop-in“ Lösungen, integrieren sich nahtlos in bestehende Recyclingströme. Materialien aus PLA (Polylactide) haben derzeit aufgrund ihres noch geringen Marktanteils keinen eigenen Recyclingstrom. Technisch gesehen lassen sich PLA-Materialien ebenso gut über Nahinfrarot (NIR) abtrennen wie PET (Polyethylenterephthalat). Allerdings ist nicht jede Trennanlage mit NIR-Scannern ausgestattet. Darüber hinaus ist PLA im Vergleich zu anderen Kunststoffen so gering am Markt vertreten, dass sich ein eigener Recyclingstrom bisher nicht lohnt. Grundsätzlich ist sowohl ein mechanisches als auch chemisches Recycling von PLA möglich. Eine saubere Vortrennung von Materialien ist für effiziente Recyclingpraktiken essentiell. Je geringer die Anzahl der unterschiedlichen Materialien in einer Trennfraction, desto effizienter können automatische Trennsysteme für das mechanische Recycling trainiert werden.

Biobasierte Alternativen

Wir der globale Trend vermuten lässt steigt der Anteil an nachhaltigem Spielzeug in den kommenden Jahren an. Darunter versteht man u.a. Materialien, die aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt sind. Diese biobasierten Alternativen fristen noch ein Nischendasein, gewinnen aber zunehmend an Bedeutung und sind derzeit in verschiedenen Materialien auf dem Markt verfügbar, darunter Holz, PLA, Bio-PE und Bio-PP.

Holz ist im Spielzeugbereich zwar bekannt, spielt aber mengenmäßig eine untergeordnete Rolle. PLA wird hauptsächlich aus Thailand oder den USA importiert, während Bio-PE und Bio-PP aus Brasilien stammen (wobei hier nicht ISCC+ zertifiziertes Material gemeint ist). In der mittelfristigen Zukunft wird eine stärkere Verbreitung von bio-attribuiertem ISCC+ PE und PP in Neuwarenqualität und eine verbesserte Verfügbarkeit erwartet. ISCC+ zertifizierte Materialien haben gegenüber Rezyklaten klare Vorteile in Bezug auf Verfügbarkeit, Sicherheit, Etablierung und Verarbeitung. Technisch sind ISCC+ Materialien identisch zu konventionellen Kunststoffen und können daher genauso verwendet werden. PLA erfordert aufgrund seiner höheren Empfindlichkeit leichte Anpassungen im Verarbeitungsprozess, was durch niedrigere Verarbeitungstemperaturen jedoch zu Energieeinsparungen führen kann. Kunststoffe und Holzfasern bzw. Holzmehl können zu Wood-Plastic-Composites (WPC) kombiniert werden, aus denen im Spielzeugbereich verschiedene Bausteine hergestellt werden. Der für WPC verwendete Kunststoff kann sowohl fossil- als auch biobasiert sein. Preislich sind Spielwaren aus biobasierten Materialien ca. 80-100% teurer als Spielzeug aus konventionellen Kunststoffen.

Ein erfolgreiches Beispiel für den Einsatz von biobasiertem Material im Spielzeugbereich ist die US-Firma GreenToys. Zudem dringen zunehmend neue Akteure in den Markt vor, von großen Unternehmen wie Lego bis hin zu Start-ups wie Bioplastic Toys aus Bosnien und Herzegowina.

Akteure der Kunststoffverarbeitenden Industrie schätzen die Akzeptanz von biobasiertem Spielzeug als generell sehr hoch ein und nehmen an, dass diese weiter zunehmen wird. Neben dem nachhaltigen Sourcing bieten zertifiziert biologisch abbaubare Produkte die Sicherheit einer geringeren Persistenz in der Umwelt, sollten sie verloren gehen. Dies stellt insbesondere im Zusammenhang mit Kleinkindspielzeug einen ökologischen Mehrwert dar.

ANWENDUNGSBEREICH CONSUMER GOODS – SPIELWAREN

Perspektiven und Maßnahmen

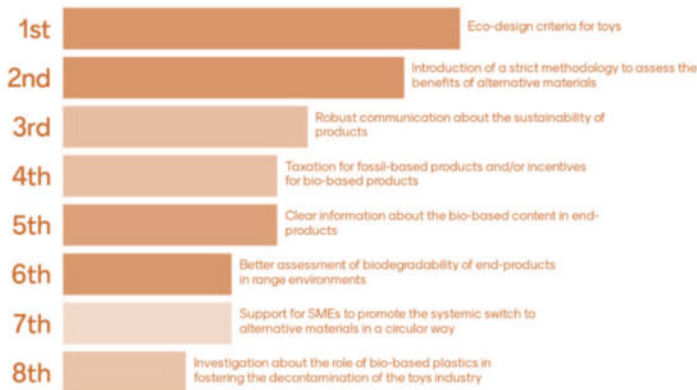


Abbildung 2: Wie kann die Spielzeugindustrie nachhaltiger gestaltet werden: Ranking einer Studie auf Basis der Meinungen der wichtigsten Stakeholder in der Spielzeugbranche (Paletta et al. 2022)

Weg zur Nachhaltigkeit?

Die Ergebnisse der Studie von Paletta et al. 2022 zeigen die Notwendigkeit einer systemischen gemeinsamen politischen Intervention im Spielzeugsektor. Die Nachhaltigkeit der Spielzeugindustrie kann nicht auf die Bereitstellung alternativer Materialien beschränkt werden. Während F&E-Aktivitäten entscheidend sind, um spezifische Herausforderungen anzugehen (z.B. Risiken der Ökotoxizität usw.), erfordert Nachhaltigkeit eine neue Logik, die über die Grenzen einer einzelnen Organisation hinausgeht und ein auf kollektiven Aktionen basierendes System schafft.

Maßnahmen

- **Recyclingfreundliches Eco-Design:** Produkte werden so gestaltet, dass sie einfach recycelt werden können, indem klare Kriterien für das Design festgelegt werden, die Recycling erleichtern.
- **Strenge und einheitliche Umweltbewertungsmethodik:** Es wird eine genaue Methode etabliert, um die Umweltauswirkungen von Produkten zu bewerten.
- **Robuste Nachhaltigkeitskommunikation:** Klare und zuverlässige Informationen über die Nachhaltigkeit der Produkte werden bereitgestellt, um Verbrauchern eine informierte Kaufentscheidung zu ermöglichen. Verbraucher erhalten auch genaue Angaben darüber, wie viel des Produkts aus biobasierten Materialien hergestellt wurde.
- **Erwerb von Second-Hand fördern:** Gebrauchtes Spielzeug wird häufig an neue Generationen von Kindern weitergegeben. Laut einer Umfrage aus dem Jahr 2018 haben bereits 75 % der befragten Eltern in Deutschland mindestens einmal gebrauchtes Spielzeug gekauft.

Quellen

- Statista
- Plastikvision, Plastrans
- Almroth and Slunge 2022: Circular economy could expose children to hazardous phthalates and chlorinated paraffins via old toys and childcare articles
- Paletta et al. 2022: Are bio-based plastics the future for toy applications?
- Giorgia Marino 2022: renewablematter.eu
- TOYWORLD MAGAZINE

Best Practice

Mattel startet das Pilotprogramm „PlayBack“, bei dem Verbraucher kaputtes oder nicht mehr benötigtes Spielzeug kostenlos zurückschicken können, anstatt es wegzuerwerfen. Das Unternehmen sammelt das Plastikspielzeug, trennt die Materialien, sortiert sie und recycelt sie zu neuem Kunststoff-Granulat.

Lego hat seinerseits die Initiative „LEGO Replay“ ins Leben gerufen, die LEGO-Steine-Besitzer dazu ermutigt, die Spielsteine, die sie nicht nutzen, weiterzugeben.

Auch **Playmobil** möchte bis 2027/28 vollständig nachhaltig sein und seine Figuren aus biobasierten Kunststoffen herstellen. Bereits jetzt setzt Playmobil auf eine nachhaltige Junior-Serie, die zu 90 Prozent aus Pflanzen-basierten Kunststoffen besteht.

Ein **EU-Projekt** mit Beteiligung des Grazer Austrian Centre of Industrial Biotechnology (ACIB) arbeitet an einem biologisch abbaubaren Kunststoff für Spielzeug. Mischungen aus Biopolyester (PHB) und Naturkautschuk zeigen vielversprechende Ergebnisse als Alternative zu herkömmlichen Kunststoffen. Erste Tests beinhalten die Herstellung von kleinen Plastik-Spielameisen für ein Kunstprojekt mit dem Firmenpartner NaKu.

Das Unternehmen **Bioblo** aus Tulln entwickelt nachhaltige Bausteine aus wiederverwertbaren Rohstoffen, hauptsächlich Holzspänen und Recycling-Kunststoff. Anders als herkömmliche Bausteine werden die Bioblos nicht gesteckt, sondern aufeinandergelegt und besitzen eine Wabenstruktur.

FAZIT

- ✓ **Markt für nachhaltiges Spielzeug wird stark wachsen**
- ✓ **Materialmix und gefährliche Additive Hindernis bei Recycling**
- ✓ **Design for Recycling ist vielversprechendste Maßnahme**
- ✓ **Viel Aktivität und Forschung in der Entwicklung von biobasierten Alternativen, bspw. Bioblos aus Tulln**

ANWENDUNGSBEREICH AUTOMOTIVE

ANWENDUNGSBEREICH AUTOMOTIVE

Status quo und Trends

Globale Marktentwicklung

Die Automobilbranche macht fast 10% des Kunststoffbedarfs in Europa aus. Trends wie Leichtbau, Emissionsreduktion und Designflexibilität treiben das Wachstum des Automobilkunststoffmarktes weiter voran und es ist zu erwarten, dass der globale Bedarf an Kunststoff im Automotive-Bereich in Zukunft weiter steigen wird. Abschätzungen zeigen dass der globale Markt bis 2030 auf bis zu 83,9 Mrd. USD wachsen könnte. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate wird zwischen 5 und 10% prognostiziert. Wie sich speziell die europäische Automobilindustrie im Kunststoffbereich entwickelt ist derzeit schwierig abzuschätzen.

Fahrzeugassistentensysteme und die E-Mobilität beschleunigen jedenfalls die Entwicklung und führen zu vermehrtem Einsatz von Kunststoffen. Zum Beispiel: Fahrzeugassistentensysteme, Sensoren sowie das autonome Fahren erfordern eine zunehmende Anzahl an Kabeln. Dadurch wird der Bedarf an PVC in der Zukunft erheblich steigen. Ebenso wird ein stark steigender Bedarf an Polyurethan erwartet. PU wird für Isolierungen, Innenverkleidungen und Sitzpolstern verwendet. Global soll sich der Markt von PU im Vergleich zu 2020 bis 2027 auf etwa 9,05 Mrd. USD fast verdoppeln.

Montage

Kunststoffteile in Autos werden auf verschiedene Weise verbaut, je nach Anwendungsbereich und Anforderungen. Häufig werden sie verklebt, verschraubt oder mittels Clip-Systemen befestigt. Dabei werden Säulenverkleidungen oft durch eine Verbindung von Textil und Kunststoff montiert. Die Herstellung hochwertiger Bauteile mit ansprechender Oberfläche erfolgt oft durch das Aufbringen von Dekoren auf das Trägerbauteil. Dabei werden Dekore wie Folien, Textilien oder Kunstleder verwendet. Diese Dekore werden oft mithilfe der „Hinterspritztechnik“ integriert. Bei der „Hinterspritztechnik“ wird das Dekormaterial während des Spritzgießens mit dem Trägermaterial verbunden, was eine kostengünstige Alternative zur herkömmlichen Kaschierung darstellt.

Einsatz von Kunststoffen

Der Einsatz von Kunststoffen in modernen Autos ist allgegenwärtig und bringt entscheidende Vorteile: Gewichtseinsparung und damit einhergehend ein geringerer Kraftstoffverbrauch.

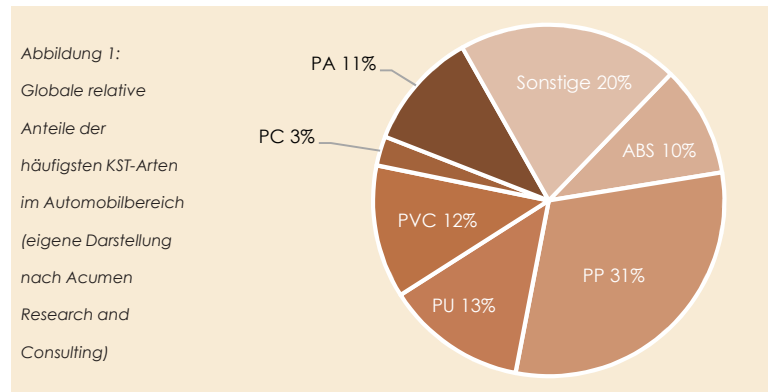
Ein Mittelklassewagen mit etwa 1100 kg besteht durchschnittlich zu 15-25% aus Polymeren:

- Karosserie ~125 kg
- Innenraum ~30 kg
- Boden und Sitzbezüge ~25 kg
- Reifen, Dichtungen und Kabel ~ 35 kg

Die Tabelle zeigt die häufigsten und für diese Studie relevantesten Kunststoffe nach Anwendungsbereich.

Kunststoff	Anwendungsbereich
Polypropylen (PP)	Stoßfänger, Karosserie, Führungskanäle, Seitenblenden
Polyurethan (PU)	Sitzpolster, Stoßfänger, Dachhimmel, Verkleidungen
Polybutylenterephthalat (PBT)	Elektronikgehäuse, Karosserieaußenteile, Stecker
Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS)	Innenverkleidungen, Radblenden, Kühlergrill
Polyamid (PA)	Motorabdeckungen, Ansaugkrümmer, Radblenden
Polycarbonat (PC)	Stoßfängerverkleidungen, Karosserieaußenteile
Polyvinylchlorid (PVC)	Unterbodenschutz, Stoßleisten, Kabelisolierungen, Innenraumverkleidungen

Tabelle 1: Kunststoffe im Automobilbereich (Lernhelfer.de)



Eine Studie schätzt, dass PP den größten Anteil am globalen Markt für Kunststoffe in der Automobilindustrie hat.

Durch hervorragende thermische Eigenschaften, hoher Schlagfestigkeit und einem niedrigen linearen Ausdehnungskoeffizienten eignet sich PP vor allem für Karosserieteile. ABS, PU, PVC und PA sind weitere Polymere die häufig eingesetzt werden

ANWENDUNGSBEREICH AUTOMOTIVE

Aktuelle Möglichkeiten in der Kreislaufwirtschaft

Abfallaufkommen in Europa und Österreich

In Europa werden jährlich zwischen 6 und 7 Millionen Altfahrzeuge gemäß den geltenden Richtlinien entsorgt. Daraus resultieren über 8 Millionen Tonnen Abfall, von denen mehr als eine Million Tonnen auf Kunststoffe entfallen.

Im Jahr 2021 wurden in Österreich etwa 221.500 Pkw aus dem Bestand entfernt. Nur ein Teil dieser Fahrzeuge wird in Österreich verwertet, während der Großteil der abgemeldeten Fahrzeuge als Gebrauchtwagen ins Ausland exportiert wird.



Trend

Der Trend bei der Produktion generell zeigt bei vielen Teilen eine Abkehr von synthetischen Kunststoffen hin zu nachhaltigeren und leichteren Materialien. Früher wurden Teile im Gepäckraum mit PP hinterspritzt, aber jetzt wird zunehmend eine Fasermatrix verwendet. Diese Fasermatrix besteht aus Textil- und Kunststoffresten, die miteinander zu einer Bahn von 1,5 cm Dicke verarbeitet werden. Diese wird in den Betrieben verformt und ersetzt die früher verwendeten Kunststoff-hinterspritzten Teile.

Immer mehr Autohersteller bevorzugen die Fasermatrix gegenüber PP und vermeiden schwere Schichten, um die Umweltfreundlichkeit und Effizienz ihrer Produkte zu verbessern.

Praxis in Österreich

2021 betrug die Wiederverwendungs- und Recyclingquote 86,7 %, die Gesamtverwertungsquote lag bei 98,3 %. Das Gesamtgewicht der 57.722 Altfahrzeuge betrug etwa 59.290 Tonnen. Nimmt man an, dass ca. 20 Gew-% eines Fahrzeuges auf Kunststoff fällt, ergibt sich in Österreich eine Menge von ca. 12.000 Tonnen Kunststoff aus Altautos pro Jahr (BAWP 2023).

In Österreich können Altfahrzeuge kostenlos bei Rücknahmestellen wie Fahrzeughändlern und Werkstätten abgegeben werden. Die Adressen sind auf der BMK-Website veröffentlicht. Genehmigte Betriebe behandeln die Fahrzeuge nach dem Stand der Technik, indem sie umweltgefährdende Stoffe entfernen und verkaufsfähige Teile ausbauen.

Recyclingmethoden

Es gibt aktuell verschiedene Recyclingmethoden, in Abhängigkeit vom Kunststofftyp: mechanisches, chemisches und seit Neustem auch physikalisches Recycling. Ein Problem ist, dass für Rezyklatbauteile dieselben Kriterien wie für Neuware gelten. Dazu zählen Hitzebeständigkeit und Medienbeständigkeit zum Beispiel gegen organische Lösungsmittel, Öl oder Hydraulikflüssigkeiten sowie Formstabilität, Haptik, Optik und Geruch über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs.

Die größte Herausforderung beim Einsatz von Recyclingmaterial ist, dass ich dieses nur schwer für sicherheitsrelevante Bauteile verwenden kann, da hier die Anforderungen zu hoch sind. Dazu kommt, dass man sie nur dort einsetzen kann, wo sie nicht sichtbar sind, da die ästhetischen Anforderungen bezüglich des Farbtons eine exakte Übereinstimmung erfordern, was mit Rezyklat selten erreicht werden kann.

Rezyklateinsatz

Möchte man Rezyklat einsetzen ist oft die Verfügbarkeit ein Problem. Zum Beispiel ist Polycarbonat (PC) - Rezyklat nicht in ausreichenden Mengen verfügbar und Sammelsysteme sowie geeignete Trennsysteme sind nicht vorhanden.

Hersteller von Kunststoffteilen für den Automotive-Bereich greifen deshalb des Öfteren nur auf den systembedingten Abfall der eigenen Herstellung zurück. Hier kann auch die Reinheit des Gemisches garantiert werden, jedoch sind die Mengen hier eher gering.

ANWENDUNGSBEREICH AUTOMOTIVE

Herausforderungen in der Kreislaufwirtschaft

Materialvielfalt

Ist das Fahrzeug im Entsorgungsbetrieb angekommen, werden die Altstoffe, wie z.B. der Motor oder die Batterie, händisch entfernt. Danach wird das Auto geschreddert und die Fraktionen separat gesammelt. Der Fokus liegt hier jedoch auf den Metallen. Zum Beispiel wird bei Kabel- und Leitungssystemen meist die Ummantelung aus Kunststoff runtergebrannt um an Aluminium und Kupfer zu gelangen. Möchte man die Kunststofffraktionen nach dem Schreddern doch verwerten, besteht die größte Herausforderung beim anschließenden Recycling in der Vielfalt der Materialtypen, den verschiedenen Additiven und den verstärkten Kunststoffen (wie Glasfaser, Kohlefaser und Glasperlen). Daher werden derzeit hauptsächlich Polymere recycelt, die in größeren Mengen vorkommen, wie PP.

Anforderungen der Automobilindustrie

Zudem können Schmutz, Klebstoffe und Farbstoffe die Qualität des recycelten Materials beeinträchtigen. Die hohen Qualitätsstandards der Automobilindustrie können im Recyclingprozess demnach nur schwer erfüllt werden. Dazu kommt noch, dass recycelte Kunststoffe hohe Anforderungen an Ästhetik, Toleranzen und Genauigkeit erfüllen müssen, die oft schwerer zu erreichen sind als bei neuen Kunststoffen. Außerdem sind recycelte Kunststoffe um 50 bis 100 % teurer als neue Materialien.

Das Recycling im Interieurbereich ist aufgrund der Kombination aus vielen verschiedenen Kunststoffen und anderen Materialien schwierig. Insgesamt ist daher eine effiziente Trennung dieser Teile sehr komplex und nicht weit verbreitet.

Beispiele eines OSMs für Kabel- und Leitungssysteme

Ein OEM (Original Equipment Manufacturer) stellt intern am Standort PVC selbst her und führt Versuche durch, eigene Abfälle zu recyceln. Dabei tritt das Problem auf, dass die Kunststoffqualität abnimmt und somit nicht mehr den hohen Anforderungen im Automobil- und Hochvoltbereich entspricht, die für sicherheitsrelevante Leitungen gelten. Diese Leitungen dürfen unter keinen Umständen ausfallen. Ein wesentliches Hindernis beim Recycling sind also die strengen Normen und technischen Anforderungen, die erfüllt werden müssen.

Ein weiteres Hindernis stellt die Logistik dar. Intern funktioniert das Recycling, da die Abfälle der eigenen Prozesse, wie PVC oder TPU, getrennt werden. Allerdings werden die verschiedenen Typen (über 10 verschiedene PVC-Typen mit unterschiedlichen Eigenschaften) nicht einzeln sortiert. Ein solcher Mix erfüllt dann nicht die gewünschte Performance. Das typenspezifische Sammeln wäre zu aufwendig, da für jede Produktionslinie separate Container bereitgestellt werden müssten.

Bei Kabelabfällen müsste man die Leitungen abmanteln, was zu Metallverunreinigungen führen würde. Intern werden die Abfälle daher gesammelt und an Verwerter weitergegeben. Es handelt sich dabei um Kreislaufwirtschaft aber auch um Down-Cycling. Die Verwerter stellen daraus keine neuen Kabel her, sondern verkaufen das Material an Abfallverwerter weiter, der daraus andere Produkte mit niedrigeren Qualitätsanforderungen herstellt, bspw. Kunststoffsandalen.

Designrichtlinien und Konsumentenansforderungen

OEMs haben keinen Einfluss darauf, wie Teile im Auto verbaut werden. Jedoch wird die Säulenverkleidung häufig mit einer Verbindung aus Textil und Kunststoff hergestellt. Das Textil ist dabei mit Kunststoff hinterspritzt, was es für Recycler unbrauchbar macht, da sie das Textil nicht vom Kunststoff trennen können. Dennoch wird Textil bei teureren Autos bevorzugt, da Kunden hochwertige Teile wünschen, die den Wert ihres Fahrzeugs unterstreichen.

Die Idee, weniger Automodelle insgesamt, dafür aus denselben Materialien zu produzieren, würde das Recycling vereinfachen, ist jedoch praktisch nicht umsetzbar. Die steigenden Konsumentenansforderungen wie schnellere Ladung und höhere Geschwindigkeiten erhöhen die Ansprüche an die Kunststoffe zusätzlich. Dies führt teilweise dazu, dass nur noch vernetzte Werkstoffe verwendet werden, die nicht mehr zu einem Rezyklat aufbereitet werden können. Eine Rückbesinnung auf das Wesentliche, nämlich das einfache Fortbewegen von A nach B, könnte die Anforderungen an den Kunststoff reduzieren und somit das Recycling begünstigen.

ANWENDUNGSBEREICH AUTOMOTIVE

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen von biobasierten Alternativen

Eingesetzte Materialien

In der Automobilindustrie können gängige Naturverstärkungen wie Holzfasern verwendet werden, um Holz-Kunststoff-Verbundwerkstoffe (WPC) herzustellen. Naturfasern aus Flachs, Hanf, Jute und Sisal werden zur Produktion von Naturfaser-Verbundwerkstoffen (NFC) genutzt. Thermoplastische und duroplastische Matrices können in Kombination mit diesen Verstärkungen verwendet werden. Es stehen mehrere thermoplastische Matrixoptionen zur Verfügung: biologisch abbaubare Polyester (z.B. PLA, PHB, PBS), natürliche Polymere (z.B. Cellulose, Naturkautschuk) und Drop-in Kunststoffe mit biobasiertem Anteil (z.B. Bio-PE, Bio-PP, Bio-PET, Bio-PC). Viele dieser thermoplastischen Biopolymere stammen aus der Fermentation von Stärke und Glukose. Optionen für duroplastische Matrices umfassen gängige Harze mit biobasiertem Inhalt aus natürlichen Ölen und Bioethanol (z.B. Bio-Epoxydharz, Bio-Polyester, Bio-Polyurethane). In Europa wurden 2012 150.000 t Bioverbundwerkstoffe im Automobilbereich eingesetzt, etwa 3,5% (Schätzung!) der gesamten Menge an eingesetztem Kunststoff in der Automobilindustrie. Davon 60.000 t auf Basis von Naturfasern (vor allem Bastfasern), 60.000 t auf Basis von Holzfasern und 30.000 t mit rezyklierten Baumwollfasern.



Abbildung 2: Naturfaser-Verbundwerkstoffe werden bei Mercedes-Benz E-Class zur Herstellung von 50 Bauteilen verwendet (Elfaleh et al. 2023, S.23)

Herausforderung Preis

PP und PUR werden hauptsächlich im Innenraum verwendet. Für beide Materialien gibt es (teil)biobasierte Alternativen. Diese sind derzeit am Markt vorhanden, aber vor allem aus Preisgründen nicht stark verbreitet. Bio-PE wird ebenfalls nur selten vom Kunden nachgefragt. Der Preis ist nicht wettbewerbsfähig und deshalb ist das Material nicht interessant.

Ein Umstieg würde die Entwicklung der biobasierten Ökonomie massiv unterstützen, auch wenn dadurch mittelfristig bis zum vollen Kapazitätsausbau Teile für Verkleidungen signifikant teurer würden. Gegenüber üblicherweise verbauten High-Tech Komponenten sollten die Kostensteigerungen jedoch geringer sein.

Kabel- und Leitungssysteme

Kabel und Leitungssysteme sind sehr selten aus biobasierten Materialien. Wenn ja, dann vereinzelt am ehesten Polyamid 12. Es wurde versucht, biologische Weichmacher auf Basis von Pflanzenölen einzusetzen. Allerdings zog dies Marder an, die erhebliche Schäden verursachten. Aufgrund dieser Probleme wurde von dieser Alternative wieder Abstand genommen.

Trend und Studie „HoT-BRo“

Im Bereich des Bodens und des Gepäcksraums ist die Verwendung von Fasermatrix bereits Standard und es besteht ein klarer Trend hin zu nachwachsenden Rohstoffen. Hingegen gibt es bei Säulenverkleidungen, Sichtverkleidungen und sicherheitsrelevanten Bauteilen keine spezifischen Anforderungen oder Forderungen nach nachhaltigeren Materialien.

Biobasierte Materialien werden sich nicht flächendeckend durchsetzen können. Gibt es eine Kundenanforderung für OEMs, die für alle Mitbewerber (auch im Ausland) gleich ist, kann es funktionieren. Derzeit ist es nur bei Preisgleichheit ein Vorteil, wenn biobasierten Materialien eingesetzt werden – diese Preisgleichheit wird jedoch derzeit nicht erreicht. Die Machbarkeitsstudie "HoT-BRo" untersucht die Eignung biobasierter Verbundwerkstoffe für Hochtemperaturanwendungen. Diese Materialien bestehen aus (teil-)biobasierten und recycelten Polyamiden, die als thermoplastische Kunststoffe weltweit stark nachgefragt sind. Industriepartner planen, sie zunächst in Turbolader-Ladeluftrohren, Nutzfahrzeug-Flüssigfiltermodulen, Thermomanagement-Modulen und Kabelverschraubungen einzusetzen.

ANWENDUNGSBEREICH AUTOMOTIVE

Perspektiven und Maßnahmen

EU-Kommission → Richtlinie für das Recycling von Metall und Kunststoff in der Automobilindustrie. Ab 2030 müssen 25% der Kunststoffe und 20% der Metalle für Neufahrzeuge aus recycelten Altfahrzeugen stammen. Hersteller, die diese Anforderungen nicht erfüllen, erhalten keine Zulassung für ihre Fahrzeuge. **Wie soll das erreicht werden?**

Best Practice

- In Deutschland gibt es zum Beispiel das Unternehmen WIPAG, welches sich auf das Recyceln von post-industriellen und post-consumer Kunststoffabfälle aus der Automotive Industrie spezialisiert hat. Neu Teile können dann durchaus aus bis zu 100% recyceltem Ausgangsmaterial bestehen.
- Audi und das Fraunhofer Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV erforschen in einer Machbarkeitsstudie das physikalische Recycling von Kunststoffabfällen aus Autos. Diese Methode erlaubt die Verarbeitung stärker verschmutzter Kunststoffe durch Auflösung in Lösemitteln, ohne die Polymerketten zu zerstören. Das Ergebnis ist ein reines Kunststoffgranulat. Ziel ist die Herstellung größerer Mengen dieses Granulats, um technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit zu prüfen, und daraus hochwertige Autoteile herzustellen. Zukünftig sollen verschiedene Recyclingtechnologien bei Audi kombiniert eingesetzt werden.
- Bis 2025 strebt Volvo an, dass 25 % des Materials in seinen neuen Autos aus recycelten und biobasierten Inhalten bestehen, mit dem Ziel, bis 2040 ein vollständig zirkuläres Unternehmen zu werden.
- Der 718 Cayman GT4 Clubsport, das erste in Serie produzierte Rennfahrzeug seiner Art, ist mit Karosserieteilen aus einem Biofaser-Verbundwerkstoff ausgestattet. Die Fahrer- und Beifahrertüren sowie der Heckflügel bestehen aus einem Naturfasermix, die hauptsächlich aus Reststoffen der Landwirtschaft wie Flachs- oder Hanffasern hergestellt wird. Dieser Verbundwerkstoff weist ähnliche Eigenschaften hinsichtlich Gewicht und Steifigkeit wie Kohlefaser auf.

Quellen

- Statista
- Acumen Research and Consulting
- BAWP 2023
- Elfaleh et al. 2023: A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials
- VOEB
- Plastics Europe

Mögliche Handlungsansätze

Förderung des kreislauffähigen Designs

Anreize für Autohersteller schaffen, die ästhetischen Anforderungen zugunsten eines kreislauffähigen Designs zu reduzieren, das auf das Wesentliche – nämlich die Fortbewegung von A nach B – fokussiert ist. Dies könnte durch Steuervergünstigungen oder Förderprogramme unterstützt werden.

Regulierung der Materialauswahl

Einführung von Vorschriften, die den Einsatz von Kunststoffen in Fahrzeugen auf das Wesentliche beschränken. Diese Regelungen könnten festlegen, dass nur notwendige Kunststoffe verwendet werden dürfen, die für die grundlegende Funktionalität und Sicherheit des Fahrzeugs erforderlich sind.

Modulare Konstruktion von Kunststoffteilen

Um eine sortenreine Trennung zu erleichtern, sollten Kunststoffteile in Fahrzeugen modular aufgebaut sein. Dies würde es ermöglichen, sie nach dem Ausbau einfacher und effizienter zu sortieren und zu recyceln.

Standardisierung von Rezyklaten

Um die Verwendung von recycelten Kunststoffen zu fördern, sollten branchenweite Standards für Rezyklatmaterialien etabliert werden. Dies würde es den Herstellern ermöglichen, Rezyklate leichter in ihren Produkten zu integrieren und die Konsistenz und Qualität des recycelten Materials zu gewährleisten.

Verbesserung der Logistik

Effiziente Logistiklösungen sind entscheidend, um den Transport und die Sortierung von Recyclingmaterialien zu optimieren. Dies könnte die Einführung von Typ-spezifischen Sammelsystemen oder die Nutzung von Rücknahmestellen für Altfahrzeuge umfassen.

Industrielle Partnerschaften

OEMs könnten mit Recyclingunternehmen zusammenarbeiten, um innovative Lösungen für das Recycling von komplexen Bauteilen wie der Säulenverkleidung zu entwickeln. Dies könnte die Entwicklung spezieller Trennverfahren oder die Nutzung neuer Technologien zur effizienteren Wiederverwertung umfassen.

FAZIT

- ✓ **Steigender Kunststoffbedarf im Automobilbereich**
- ✓ **ca. 12.000 Tonnen Kunststoff aus Altautos pro Jahr**
- ✓ **Hohe Standards für den Einsatz von Rezyklaten**
- ✓ **Biobasierte Alternativen im Interiorbereich verwendet**
- ✓ **Design for Recycling als vielversprechende Lösung**

ANWENDUNGSBEREICH ERNEUERBARE ENERGIEN

WINDKRAFT

SOLARENERGIE

ANWENDUNGSBEREICH ERNEUERBARE ENERGIEN – WINDKRAFT

Status quo und Trends

Entwicklung des Marktes für Windenergie in Europa

Die Stromerzeugung im Windenergiemarkt in Europa wird für das Jahr 2024 auf 620 Terawatt prognostiziert. Eine jährliche Wachstumsrate von 6,01 % (CAGR 2024-2029) wird erwartet, was zu einer erheblichen Steigerung der erzeugten Strommenge führen dürfte. Vor diesem Hintergrund könnte die Stromerzeugung im Jahr 2029 die Marke von 900 Terawattstunden überschreiten. Global gesehen ist Offshore-Systeme der Wachstumstreiber im globalen Windenergie-Markt. Dennoch besteht erheblicher Kostendruck, da die Gestehungskosten der erzeugten Energie (ausgedrückt in €/MWh Strom) eine maßgebliche Rolle spielen.

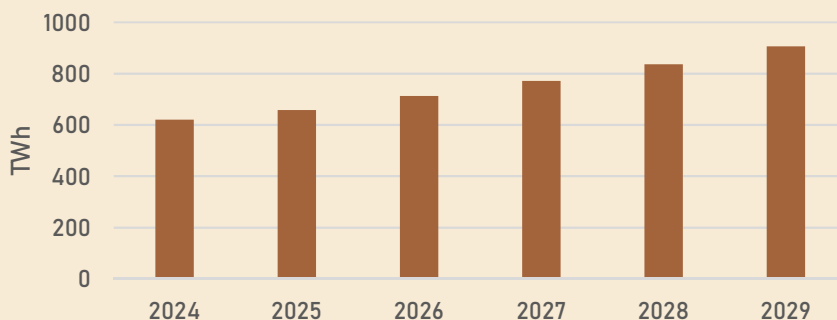


Abbildung 1: Markt für Windenergie in Europa (eigene Darstellung nach Statista)

Aktuelle Trends in der Windindustrie

Die Windenergie ist eine der am schnellsten wachsenden Energiequellen der Welt. Da der Windenergiemarkt weltweit wächst und die Rotorblätter immer größer werden, benötigen die Entwickler von Windparks mehr Verbundwerkstoffe, um diese Anforderungen zu erfüllen.

Aktuell werden pro Jahr etwa 70.000 Rotorblätter gefertigt. Etwa 50% der Aktivität konzentriert sich auf den asiatisch-pazifischen Raum (größtenteils in China, gefolgt von Indien, mit geringeren Anteilen in Südkorea und Japan). Der Rest verteilt sich auf Amerika (ca. 20%) und Europa (ca. 25%, insbesondere Offshore-Aktivitäten).

Eingesetzte Kunststoffe

Ein modernes Rotorblatt ist in etwa 50 – 80 m (Onshore) bzw. bis 115 m (Offshore) lang. Es besteht aus faserverstärkten Kunststoffen, die hervorragende mechanische Eigenschaften bei geringem Gewicht bieten. Dabei kommen Glasfasern und teilweise Kohlenstofffasern zum Einsatz. Die Kunststoffmatrix besteht meist aus Epoxidharz während für das Kernmaterial Holz oder Polyethylenterephthalat-Schaum (PET) verwendet wird. Für die Herstellung eines Rotorblatts werden ca. 2 bis über 10 Tonnen Harz verwendet. Die High-Tech-Beschichtungen basieren auf speziellem Polyurethan-Kunststoff und sind abriebfest sowie UV-beständig. Die Masse der Rotorblätter liegt je nach Höhe der Windräder zwischen etwa 25 und 60 Tonnen. Dies ist mengenmäßig im Vergleich zum Rest einer Windkraftanlage weniger bedeutend, dafür funktional das vermutlich wichtigste Bauteil.

Sandwichbauweise

In der Sandwichbauweise werden verschiedene Werkstoffe in Schichten zusammengesetzt, wobei die Deckschichten aus faserverstärktem Kunststoff und der Kern aus leichtem Balsaholz oder Schaumstoff besteht. Bei der Herstellung ist das Vakuuminfusionsverfahren weit verbreitet: Dabei wird eine Form mit Glasfasermatten ausgekleidet. Anschließend wird eine luftdichte Folie angebracht und ein Vakuum erzeugt, welches eine Mischung aus Epoxidharz und Härter in die Form zieht. Dadurch werden die Fasern gleichmäßig gesättigt. Die Rotorblatthälften werden bei etwa 70 °C gehärtet und dann verklebt.



Abbildung 2: Aufbau eines Rotorblattes von Windkraftanlagen (Vogel Communications Group)

ANWENDUNGSBEREICH ERNEUERBARE ENERGIEN – WINDKRAFT

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft

Aktuelle Praxis

Der Windenergiemarkt ist seit Anfang der 2000er Jahre erheblich gewachsen, und es werden inzwischen jährlich etwa 70.000 Flügel produziert. Die Lebensdauer von Rotorblättern liegt bei etwa 25 Jahren, da sie durch die starken Belastungen Materialermüdungen in Form von kleinen Rissen erleiden. Diese Flügel müssen also irgendwann ersetzt werden.

Aktuell wird versucht, ältere Anlagen soweit wie möglich „nach-zu-zertifizieren“, um ihre Betriebsdauer zu verlängern. Oftmals werden in Österreich und anderen westlichen Ländern alte Windkraftanlagen für den ReUse-Bereich im Ausland abgebaut. Dies geschieht aus verschiedenen Gründen, einschließlich wirtschaftlicher und regulatorischer Aspekte. Zudem muss man bedenken, dass das Fundament eines Windrades nach ca. 30 Jahren erneuert werden sollte.

Recycling stellt also ein Problem dar, das lediglich in die Zukunft verschoben wird. Der derzeitige Stand der Technik beim Umgang mit ausgedienten Rotorblättern ist die Deponierung („Landfill“). Insgesamt stammen 10% des gesamten Abfalls von faserverstärkten Verbundwerkstoffen (FRP) in Europa von den Rotorblättern von Windturbinen.

Es gibt viele Ideen und auch technische Möglichkeiten (nachfolgend unter „Aktuelle Recyclingansätze“ erläutert) aber das Problem der hohen Kosten: Bspw. kostet 1 kg Glasfaser auf dem Weltmarkt derzeit etwa 1-2 USD, während der Preis für 1 kg fertig formuliertes Epoxid-Infusionsharz zwischen 3 und 5 USD liegt. Zusammengefasst:

- Es existieren derzeit keine umfassenden Sammelschienen für das Recycling
- Die Probleme betreffen viele Bereiche: Sammlung, Zerlegung bis hin zur Wiederverwertung der Materialien.
- Windparkbetreiber stehen vor der Herausforderung, dass ihre Anlagen nach spätestens 25-30 Jahren erneuert werden müssen.

Geringe Wertigkeit der Rotorblätter

Weltweit gibt es unzählige Ideen und Projekte, um das Recyclingproblem anzugehen. Nachhaltigkeit ist wichtig und gewinnt auch in die Windkraftindustrie zunehmend an Bedeutung. Tatsache ist, dass der Wertanteil der Rotorblätter an der gesamten Windkraftanlage nur etwa 15-20% beträgt. Dies führt dazu, dass dem Recycling der Blätter im Vergleich zu anderen, leichter zu recycelnden Komponenten der Anlage, weniger Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Hinderniss Materialmix

Rotorblätter bestehen aus einem komplexen Materialmix, der das Recycling erschwert. Zu den Materialien gehören Metalle für das Blitzschutzsystem und das Root-End (dort wo das Blatt angeschraubt ist), PUR-Lack und Surface-Coat für die Oberfläche, Carbon-Epoxy-Composite als tragende Struktur (5 bis 8 Tonnen schwer), Glas-Epoxy-Composite in den Schalen und im Shear-Web (Stege), sowie verschiedene Schaumstrukturen wie ABS-Schaum, PVC-Schaum in älteren Blättern und Balsa-Holzkerne.



Aktuelle Recyclingansätze

- Rotorblätter zerkleinern und dann Verbrennen
- Rotorblätter zerkleinern und dann als Zusatz in Zement (womöglich für Fundamente für neue Windkraftanlagen)
- Rotorblätter zerkleinern und als Füllstoff für andere Polymere verwenden
- Rotorblätter teilweise zerkleinern und als tragende Strukturen im Bau verwenden (z.B. „Continuum“: mit fortschrittlicher mechanischer Technologie können Verbundstoffabfälle in recycelbare Produkte für den Bau verwandelt werden)
- Rotorblätter als möglicher Materialstrom (z.B. „Blade Circularity“ von Vestas: durch chemischen Prozess können ausgediente Blätter in eine Rohstoffquelle für neue Blätter umgewandelt werden)

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen bei biobasierten Alternativen

Generelle Einschätzungen

Obwohl es biobasierte Alternativen zu Epoxy-Infusionssystemen gibt, ist ihre derzeitige Verfügbarkeit nicht ausreichend, um den Markt zu bedienen. Das Hauptproblem sind die Kosten, da diese Alternativen für die Industrie derzeit nicht bezahlbar sind. Da der Markt global ist und wesentliche Akteure in der EU ansässig sind, sind auch keine einschneidenden Änderungen der EU-Richtlinien zu erwarten.

Es wurden bereits Demonstrations- und Testflügel mit biobasierten Materialien in der EU gebaut, was die technische Machbarkeit unterstreicht. Allerdings gibt es aufgrund der hohen Kosten und der mangelnden Akzeptanz seitens der Hersteller und Windparkbetreiber derzeit wenig Interesse an diesen Lösungen. Das Thema ist generell aber sekundär, da Recycling derzeit als prominentere Lösung gesehen wird.

Dennoch gibt es Ansätze bei denen man allerdings zwischen Klein- und Großwindkraftanlagen unterscheiden muss.

Klein-Windkraftanlagen (KWKs)

WOODK+ hat ein Demo-Rotorblatt im Rahmen eines geförderten Projektes aus 100% Hanf basierenden Compositen gebaut und getestet. Dies zielte allerdings nur auf den Einsatz in KWK, bis ca. 10 kW Nennleistung, ab (Abbildung 3). Hier macht der Ansatz durchaus Sinn. Folgendes soll berücksichtigt werden:

→ Markt und Zertifizierung:

- Sehr kleines und stark fragmentiertes Marktvolumen
- Keine international einheitliche Zertifizierung für

→ Mechanische Beanspruchung und Materialwahl

- Deutlich geringere mechanische Anforderungen (statisch und dynamisch)
- Erweitertes Spektrum der Materialauswahl, z.B. Naturfasern wie Hanf als Verstärkung

Vorteile des Ansatzes

- Der geringere mechanische Anspruch ermöglicht innovative Materiallösungen
- Sinnvoller Ansatz für die speziellen Anforderungen und Bedingungen im KWK-Markt

Groß-Windkraftanlagen (GWKs)

Im Vergleich zu KWKs gibt es für GWKs eine einheitliche Zertifizierung (wie bei Großanlagen die Reihe IEC 61400; Zertifizierung üblicherweise durch DNV-GL) jedoch andere Hindernisse in der Etablierung von biobasierten Alternativen:

→ Materialeinschränkungen

- Nennleistungen im hohen MW-Bereich
- Aerodynamisch optimierte, schlanke Blattprofile zur Maximierung des Wirkungsgrades
- Begrenzter Bauraum für Materialeinsatz, daher eingeschränkte Materialwahl
- Hohe Anforderungen an Steifigkeit und Festigkeit erfordern Carbonfasern (Steifigkeiten von 240 GPa und mehr)

→ **Wirtschaftliche Abwägung:** hohe Materialkosten im Rotorblattbau gegenüber mehr Ertrag über die Lebensdauer – dies hat Einfluss auf die Energie-Gestehungskosten über die Lebensdauer der Anlage

→ Biobasierte Materialien und deren Einschränkungen

- Theoretisch mögliche Verstärkung mit Naturfasern würde zu schweren, ineffizienten Rotorblättern führen
- "Dicke" Profile würden zu einem geringen aerodynamischen Wirkungsgrad und hohen Energie-Gestehungskosten führen

FAZIT

Die Möglichkeit eines Ersatzes der derzeitigen Epoxy-Infusionsharzsysteme durch biobasierte Alternativen in allen Rotorblattgrößen ist technisch umsetzbar. In Bezug auf die Faserverstärkung zeigt sich jedoch eine relevante Abhängigkeit von der Rotorblattlänge. Während klassische biobasierte Fasern in Kleinwindkraftanlagen eine mögliche Option sind, bleibt Carbonfaser aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften unverzichtbar für Großwindkraftanlagen. Dennoch wird international viel Forschung und Entwicklung betrieben, um Carbonfasern aus biobasierten Vorgängersubstanzen herzustellen.

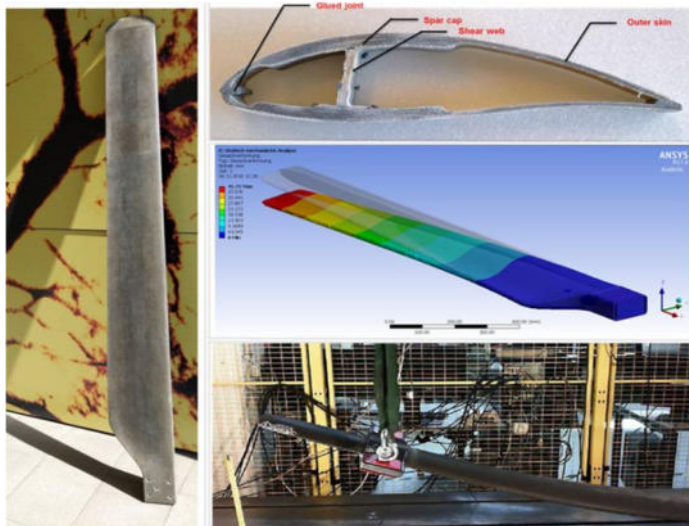


Abbildung 3: Rotorblatt aus Hanf (links), Querschnitt des Rotorblattes (oben rechts) FEM Simulation (Mitte rechts), Full-scale Test des Rotorblatts (unten rechts) (WOODK+)

Perspektiven und Maßnahmen

Best Practice

Im Rahmen des Projekts „RecyclableBlade“ von Siemens-Gamesa wird ein neuartiges Harz verwendet, welches sich aufgrund seiner chemischen Struktur am Ende der Rotorblatt-Lebensdauer wieder von den anderen Komponenten trennen lässt und so deren Recycling ermöglicht (siehe Abbildung 4). Wenn das Konzept auf alle neuen Offshore-Projekte weltweit angewendet werden würde die bis 2050 geplant sind, könnten →

- 200.000 Rotorblätter recycelt werden und es könnte vermieden werden, dass sie z.B. auf einer Mülldeponie enden.
- 10.000.000 Tonnen recyclebares Material gewonnen werden wenn man die bis dahin mit der RecyclableBlade-Technologie hergestellten Rotorblätter berücksichtigt.



Abbildung 4: Infografik der RecyclableBlade-Technologie

Maßnahmen

Aufbau von Sammelstellen und Infrastruktur: Errichtung eines flächendeckenden Netzwerks von Sammelstellen für ausgediente Rotorblätter an strategischen Standorten, unterstützt durch effiziente Transport- und Logistiklösungen.

Finanzielle Anreize für Windparkbetreiber: Bereitstellung von finanziellen Anreizen oder Vergünstigungen für Windparkbetreiber, die sich um die Entsorgung der Rotorblätter kümmern

Recyclinglösungen seitens der Hersteller: Verpflichtung der Hersteller von Anlagen zur Entwicklung und Bereitstellung von Recyclinglösungen für ausgediente Rotorblätter, um die Kreislaufwirtschaft zu unterstützen.

Rechtliche Rahmenbedingungen schaffen: Gesetzgeber sind gefordert, rechtliche Rahmenbedingungen zu schaffen, die das Rotorblattrecycling fördern und die Entsorgung von Rotorblättern regulieren. Globale Lösungen sind hierbei besonders wünschenswert, um eine einheitliche und effektive Umsetzung zu gewährleisten.

Forschung und Entwicklung neuer Recyclingtechnologien: Investitionen in F&E, um innovative und kosteneffiziente Recyclingtechnologien für Rotorblätter zu entwickeln, die den Anforderungen der Windenergiebranche gerecht werden.

Ausnahmen des Ablagerungsverbots in der DVO einführen: Durch das Ablagerungsverbot von GFK- und CFK-Abfällen (um diese in den Recyclingzyklus einzubringen), wurden diese Verbundwerkstoffe illegal in den Restmüll beigemischt, was zu Lasteinbrüchen in den thermischen Verbrennungsanlagen führte → Wieder befristete Ausnahmeregelungen einführen um potentielle Recyclingmöglichkeiten zu etablieren.

Rohstoffe im inländischen Kreislauf halten

Das Problem, dass ausgediente Windkraftanlagen für den ReUse im Ausland abgebaut werden führt auch dazu, dass wertvolle Rohstoffe und Materialien nicht in den österreichischen Kreislauf zurückgeführt werden. Maßnahmen zur Verbesserung dieses Umstandes könnten stärkere Regulierungen und Anreize sein:

- Einführung von strengeren Vorschriften für den Export gebrauchter Windkraftanlagen
- Anreize für Windparkbetreiber, ihre Anlagen vor Ort zu recyceln oder in eine Kreislaufwirtschaft zu integrieren.
- Zusammenarbeit mit anderen Ländern, um globale Standards für das Recycling zu entwickeln.

Quellen

- Statista
- BASF
- Siemens Gamesa
- WOODK+

FAZIT

- ✓ Markt für Windenergie wird weiter wachsen; weltweit werden 70.000 Rotorblätter pro Jahr gefertigt
- ✓ Recycling und Kreislaufführung der Rotorblätter ist aufgrund von Verbundwerkstoffen eine Herausforderung
- ✓ Recycling wird aber als prominenteste Lösung angesehen: Technologie mit recyclingfreundlichem Harz

ANWENDUNGSBEREICH ERNEUERBARE ENERGIEN – SOLARENERGIE

Status quo und Trends

Entwicklung des Marktes für Solarenergie in Europa

Die Stromerzeugung durch Solarenergie in Europa wird für das Jahr 2024 auf 304 Terawatt geschätzt. Es wird prognostiziert, dass die Branche eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von 10,59 % zwischen 2024 und 2029 verzeichnen wird, was zu einem deutlichen Anstieg der produzierten Energiemenge führen dürfte. Angesichts dieses Wachstums könnte die Stromerzeugung bis zum Jahr 2029 über 500 Terawatt hinausgehen.

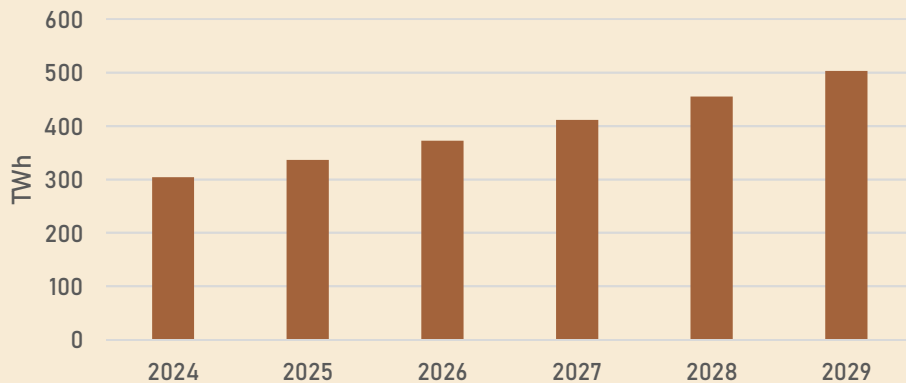


Abbildung 1: Markt für Solarenergie in Europa (eigene Darstellung nach Statista)

Trend der PV-Branche in Ö

Der Photovoltaikmarkt in Österreich verzeichnete Ende 2022 eine installierte PV-Leistung von 3,8 GWp. Für das Jahr 2030 wird eine prognostizierte PV-Leistung von 21 GWp erwartet, und bis 2040 könnte diese auf 41 GWp steigen. Die Prognose sieht einen durchschnittlichen jährlichen Zubau von 2,1 GWp von 2023 bis 2040 vor.

→ Überlegung: wenn man annimmt, dass 6 m² ausreichen um 1000 kWh Strom zu erzeugen, dann sind für 2030 ca. 130.000 m² PV-Module notwendig um die prognostizierte Menge zu erreichen. Dies ergibt einen Bedarf an Kunststoffen von etwa 130-300 Tonnen.

Eingesetzte Kunststoffe

- Ethylenvinylacetat (**EVA**) für Einkapselung der Solarzellen → ca. 800 g je m² PV Modul
 - Polyethylenterephthalat (**PET**) für Backsheet
 - Polyvinylfluorid (**PVF**) für Backsheet
- ca. 240 bis 500 g je m² PV Modul

Die gebräuchlichsten Solarmodule sind sogenannte Glas/Folien-Lamine mit einem Gewicht von 10-15 kg je m². Diese bestehen aus einer Frontscheibe aus Glas und einer Kunststoffverbundfolie auf der Rückseite, dem sogenannten Backsheet. Zwischen diesen Schichten sind die Solarzellen in Ethylenvinylacetat (EVA) eingebettet, in sogenannten Einkapselungen. EVA ist ein thermoplastischer Copolymer und dient als Zwischenschicht zwischen den Solarzellen und dem äußeren Schutzglas und schützt die Zellen für mechanischen Belastungen und Umwelteinflüssen wie Feuchtigkeit. Es wird aus den Monomeren Ethylen und Vinylacetat hergestellt, die im Verhältnis von 85:15 bis 95:5 polymerisiert werden. Diese Mischung verleiht EVA seine besonderen Eigenschaften, darunter hohe Transparenz und Flexibilität. Darüber hinaus gewährleistet sie eine effiziente Übertragung des erzeugten Stroms von den Solarzellen zum Ausgangskabel. EVA wird typischerweise als Folie mit einer Dicke von 0,4 bis 0,8 mm verwendet. Um die Ästhetik des Solarmoduls zu verbessern, kann sie in verschiedenen Farben hergestellt werden. Das Backsheet setzt sich aus einer dickeren Polyethylenterephthalat (PET)-Folie zusammen, die zwischen zwei dünnere Polyvinylfluorid (PVF)-Folien laminiert ist. Diese dreilagige Struktur sorgt für eine zuverlässige elektrische Isolierung nach hinten und bietet gleichzeitig eine hohe Witterungsbeständigkeit.

Materialanteile eines PV-Moduls in Gew.-%

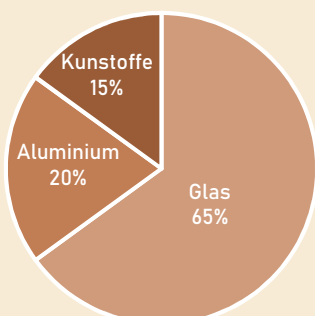


Abbildung 2: Materialanteile eines PV-Moduls in Gew.-% (Strachala et al. 2017)

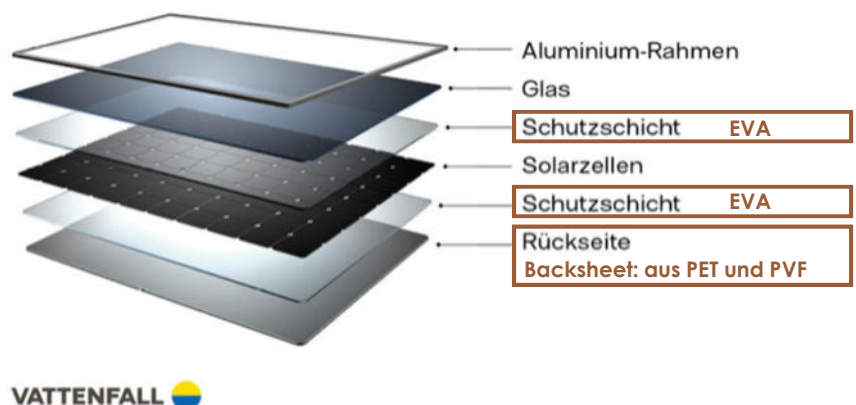


Abbildung 3: Aufbau eines PV-Moduls (VATTENFALL, eigene Ergänzungen)

Aktuelle Möglichkeiten und Herausforderungen

Aktuelle Praxis

Die Kreislaufführung von Solarmodulen gestaltet sich durch nicht vorhandene Sammelschienen schwierig. Obwohl die Hersteller generell eine Rücknahme der Produkte ermöglichen, wird dies selten umgesetzt, da z.B. die KundInnen eines Herstellers in Österreich weit verstreut sind. Dabei wären die Module zu 95 % recycelbar.

Derzeit entsorgen Großkunden die Module meist welche dann mechanisch nach Materialien sortiert werden. Glas und Aluminium, die etwa 80 % der Masse eines Moduls ausmachen, werden getrennt und recycelt. Die restlichen Materialien werden jedoch nicht wiederverwertet.

Photovoltaikanlagen haben den höchsten Silberbedarf, und dieses Silber könnte im Recyclingprozess zurückgewonnen werden. Allerdings stellt EVA hier ein großes Hindernis dar, da es stark vernetzend ist. Das Silber ist mit den EVA-Schichten verbunden, was die Rückgewinnung zusätzlich verkompliziert.

Die aktuellen Herausforderungen im Recycling von Solarmodulen verdeutlichen, dass weitere Anstrengungen erforderlich sind, um die Recyclingquoten zu erhöhen.

Qualität des Rezyklats

Ein häufiges Problem bei der Nutzung von Rezyklaten ist die schwankende Qualität. Die gute Nachricht ist jedoch, dass mit dem entsprechenden Know-how die Eignung eines Rezyklats oder eines nachwachsenden Kunststoffes für die Photovoltaik gut überprüft und nachgewiesen werden kann. Screeningtests helfen dabei, die größten Stolpersteine frühzeitig zu erkennen und zu beseitigen. Bis auf kleinere Anfänge/Ausnahmen kommen biobasierte Alternativen in der PV-Industrie nicht zum Einsatz.

Studie zu PV-Recycling

Mechanisches Recycling erweist sich als vielversprechendste Methode. Chemisches Recycling ist nicht wirtschaftlich, da der Silbergehalt im mechanisch zerkleinerten Output nur 0,07% beträgt. Kunststoffe können nur teilweise oder gar nicht recycelt werden, insbesondere aufgrund ihrer Degradation durch Wetterverhältnisse. Zudem besteht das Risiko, dass Plastikstücke zusammen mit Silizium und Silber verbleiben.

Prognostizierte Abfallmengen

Im Jahr 2016 prognostizierte die Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA), die kumulierten globalen PV-Abfallströme für 2016 auf voraussichtlich 43.500 bis 250.000 Tonnen. Dies entspricht 0,1 % bis 0,6 % der kumulierten Masse aller installierten Module (4 Millionen Tonnen). Die Studie zeigt außerdem, dass die Abfallmengen aus Photovoltaikanlagen in den kommenden Jahren weiter ansteigen werden. Angesichts einer durchschnittlichen Lebensdauer von 30 Jahren werden bis 2050 große Mengen erwartet. IRENA liefert die ersten globalen Prognosen für zukünftige PV-Abfallmengen und untersuchte zwei Szenarien:

→ Regular-loss scenario: Geht von einer 30-jährigen Lebensdauer der Solarmodule ohne vorzeitigem Ausfall aus.

→ Early-loss scenario: Berücksichtigt Ausfälle in der vor Ende der 30-jährigen Lebensdauer, bspw. durch Verschleiß.

Prognosen in Abbildung 4 zeigen, dass die kumulative PV-Kapazität im Jahr 2030 etwa 1.630 GW erreichen und bis 2050 auf 4.500 GW weiter ansteigen wird. Bis 2050 werden dann weltweit 60-78 Millionen Tonnen PV-Modulabfall erwartet. Für Deutschland werden Abfallmengen von etwa 4 Millionen Tonnen prognostiziert.

Overview of global PV panel waste projections, 2016-2050

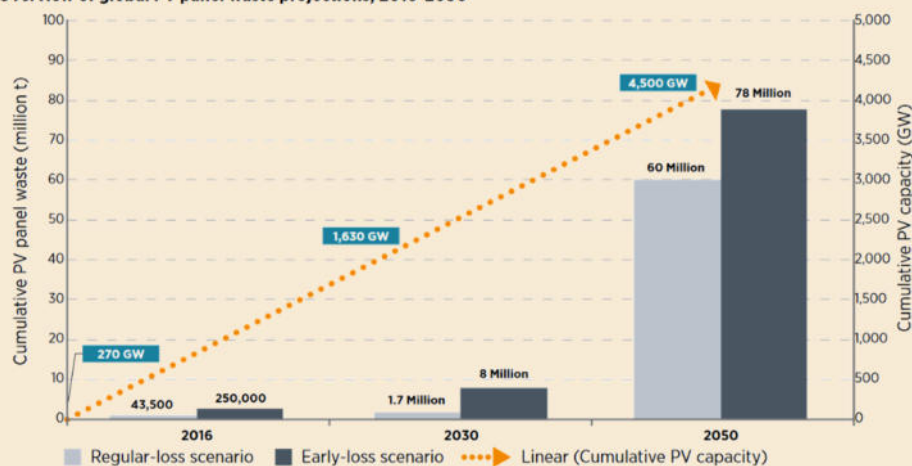


Abbildung 4: Überblick über die global prognostizierten PV-Abfallmengen, 2016-2050 (IRENA 2016, S. 12)

Perspektiven und Maßnahmen

Strategien zur Lebensdauerverlängerung

Um die Nachhaltigkeit zu fördern, sollten effektive Strategien zur Reparatur und Wiederverwendung von Solarmodulen entwickelt werden. Häufig werden Solarmodule trotz Reparaturmöglichkeiten einfach entsorgt. Durch gezielte Maßnahmen wie Schulungen für Installateure in der Modulreparatur, die Bereitstellung von Ersatzteilen und die Förderung von Rücknahmeprogrammen können wir die Abfallmenge reduzieren und die Lebensdauer der Solarmodule erheblich verlängern.

Strategien zur Entwicklung solcher Maßnahmen könnten durch Zusammenarbeit mit Solarmodulherstellern, Forschungseinrichtungen und Recyclingunternehmen erfolgen. Es wäre wichtig, Standards für die Modulreparatur zu etablieren und technische Lösungen zu erforschen, die eine einfache Demontage und Wiederverwertung ermöglichen.

Best Practice

Die AAC Aerospace and Advanced Composites GmbH forscht derzeit über den Einsatz von geschäumten Ligninplatten in der Photovoltaikindustrie, als Ersatz für thermoplastische Backsheets. Das verwendete Lignin stammt aus der Abfallproduktion der Papierherstellung. Das Solar Energy Technologies Office (SETO) des U.S. Department of Energy denkt innovativ über die Herstellung von Solarmodulen nach, um weniger Abfall zu produzieren. Zudem fördert SETO Forschung, die darauf abzielt, teure, seltene oder umweltschädliche Materialien in der Produktion von Solarmodulen zu ersetzen. Einige SETO-Projekte arbeiten beispielsweise daran, die teuren Silberkontakte, die den Strom aus einer Solarzelle leiten, durch Kupfer oder Aluminium zu ersetzen.

Quellen

- Statista
- Kunststoffe.de
- VATTENFALL
- Bundesverband Photovoltaik Austria
- IRENA 2016: END-OF-LIFE MANAGEMENT – Solar Photovoltaik Panels
- Strachala et al. 2017: Methods for recycling photovoltaic modules and their impact on environment and raw material extraction

Maßnahmen

REDUCE und REUSE sind die ersten Schritte, die betont werden müssen, da sie neben dem Recycling eine grundlegende Bedeutung haben. Nachfolgend noch spezifischere Perspektiven und mögliche Maßnahmen.

REDUCE: Durch Forschung und technologische Fortschritte wird erwartet, dass PV-Module weniger Rohstoffe benötigen. Der Großteil der heutigen Module besteht aus nicht-gefährlichem Glas, Polymer und Aluminium, enthält aber auch gefährliche Materialien wie Silber, Zinn und Blei. Bis 2030 könnten die Rohstoffanforderungen für kristalline Silizium- und Dünnschicht-Technologien erheblich reduziert werden, was die Recyclingfähigkeit und Ressourcengewinnung verbessert.

REUSE: Mit dem globalen Wachstum der PV-Industrie entsteht ein starker Sekundärmarkt für Panelkomponenten. Frühe Ausfälle bieten Chancen zur Reparatur und Wiederverwendung. Reparierte PV-Module können zu reduzierten Preisen verkauft werden, auch teilweise reparierte Komponenten finden Käufer. Dieser Markt ist besonders wichtig für Länder mit begrenzten finanziellen Mitteln, die in die Solar-PV-Branche einsteigen möchten.

Entwicklung spezifischer PV-Abfallvorschriften:

Einführung von Regulierungen, die spezifisch auf das Recycling und die Behandlung von PV-Modulen abzielen, um effiziente und profitablere Lösungen zu gewährleisten.

Erweiterung der Abfallmanagementinfrastruktur:

Anpassung von PV-Abfallmanagement-Systemen an die spezifischen Bedingungen des Landes oder Region, einschließlich der Förderung von regionalen Märkten für Abfallmanagement und Recyclinganlagen. Koordinationsmechanismen zwischen Energie- und Abfallsektoren sind entscheidend für eine effektive End-of-Life-Verwaltung von PV-Modulen.

Förderung von kontinuierlicher Innovation:

Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie Ausbildung, um zusätzliche Wertschöpfung aus End-of-Life PV-Modulen zu unterstützen. Dies umfasst die Entwicklung neuer Recyclingtechnologien, Schulungsprogramme für Reparaturen und die Verbesserung der Materialrückgewinnung aus PV-Modulen.

Datenerfassung und Analyse auf nationaler Ebene:

Verbesserung der statistischen Datenerfassung über PV-Modulabfälle, einschließlich Mengen nach Land und Technologie, Zusammensetzung der Abfallströme und Leistungsdaten installierter Systeme. Diese Daten sind entscheidend für die Entwicklung geeigneter regulatorischer Rahmenbedingungen und Investitionsbedingungen.

FAZIT

- ✓ **Europäischer Markt für Solarenergie wird weiter wachsen – CAGR von 10%**
- ✓ **Kunststoffe machen nur einen geringen Gew.-%-Anteil eines PV-Moduls aus**
- ✓ **PV-Abfallmengen werden steigen – aktuell keine Sammelschienen vorhanden**
- ✓ **Verwendeter Kunststoff EVA ist stark vernetzend und an Silberanteile gebunden**
- ✓ **Vielversprechende Maßnahmen zur Kreislaufführung umfassen vor allem die Lebensdauerverlängerung**

ALLGEMEINES FAZIT

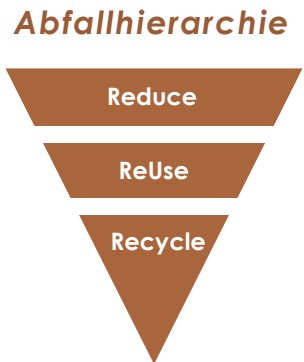
Berücksichtigung aller Bereiche

Kurzfassung:

- Kunststoffe sind Wertstoffe und in vielen Bereichen wie den betrachteten Fallbeispielen für langlebige Anwendungen aufgrund ihrer hohen Funktionalität, dem geringen Gewicht und hoher Energie- und Ressourceneffizienz alternativlos. Aufgrund der derzeit noch dominierenden fossilen Herkunft muss es das Ziel sein Kunststoffe in regenerierbare Materiallösungen umzuwandeln.
- Um die Regenerierbarkeit von Kunststoffen zu steigern, werden viele verschiedene Technologien erforderlich sein, da jede Anwendung individuelle Anforderungen hat.
- Design for Recycling ist eine der prominentesten Maßnahmen für die Kreislaufführung von Kunststoffen
- Design for Disassembly stellt vor allem im Bereich der Consumer Goods eine vielversprechende Methode dar um die Lebensdauer der Produkte zu verlängern
- Bei Post-Consumer-Kunststoffabfällen stellt die Sortenreinheit eine große Herausforderung für den Recyclingprozess dar. Ein Schlüssel zur Förderung des Recyclings liegt daher in der Reduktion der Materialvielfalt.
- Die oft nicht ausreichende Rezyklat-Qualität erschwert deren Einsatz vor allem in Hochleistungsbereichen. Dazu kommen regulatorische Aspekte, welche die Herstellung von Rezyklat beschränken (verbotener Zusatzstoff in älteren Produkten, z.B. PVC)
- Ein Hindernis für die Verwendung von Rezyklat ist der hohe Preis im Vergleich zur Neuware
- Biobasierte Alternativen spielen auch zukünftig in den untersuchten Bereichen nur eine untergeordnete Rolle.
- Langfristig könnte mit CCU (Carbon Capture Utilization) auch CO₂ eine mögliche Rohstoffquelle für Kunststoffe werden, hierfür ist allerdings noch ein hohes Maß an Forschungs- und Entwicklungsarbeit notwendig.

FAZIT

Zur Steigerung der Regenerierbarkeit von Kunststoffen im Nicht-Verpackungsbereich sollten, wie in vielen anderen Bereichen, die Grundsätze der Abfallhierarchie „Reduce, ReUse und Recycle“ gelten und berücksichtigt werden. Dementsprechend müssen die Prioritäten der Maßnahmen ausgerichtet sein. Wichtig festzuhalten ist, dass der Einsatz einer Vielzahl von Technologien und Ansätzen notwendig ist, da jede Anwendung individuelle Anforderungen hat. Keine einzelne Technologie kann generell angewendet werden, um die gewünschten Ziele zu erreichen. Es ist wichtig, dass Vorschriften Innovationen nicht ausschließen, um Fortschritte in der Nachhaltigkeit zu erzielen. Ein entscheidender Faktor für nachhaltige Kunststoffe liegt in der sorgfältigen Auswahl ihrer Herkunft und der Betrachtung des gesamten Kohlenstoffkreislaufs. Diese Aspekte sollten maßgeblich in Handlungsempfehlungen einfließen. Nachfolgend werden nun vielversprechende Methoden und Erkenntnisse des Projekts nochmal kurz erklärt und zusammengefasst.



Design for Recycling

Design for Recycling ist eine recht vielversprechende Methode im Rahmen der Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe. Sie zielt darauf ab, Produkte so zu gestalten, dass sie am Ende ihrer Nutzungsdauer leicht recycelt werden können. Dies wird durch die Auswahl der Materialien, die Vermeidung von Verbundsystemen und die Erleichterung der Demontage erreicht. Im Automobilbereich bedeutet dies beispielsweise die Verwendung von sortenreinen Kunststoffen für Stoßstangen und Armaturenbretter um eine einfache Demontage und Wiederverwertung zu ermöglichen.

Design for Repair/Disassembly

Design for Repair ist eine Methode, bei der Produkte so gestaltet werden, dass sie leicht repariert werden können, um vor allem ihre Lebensdauer zu verlängern und sie im Kreislauf zu halten. Im Bereich der Consumer Goods bedeutet dies beispielsweise, dass für Haushaltsgeräten modulare Designs verwendet werden, die den einfachen Austausch defekter Teile ermöglichen.

Design for Disassembly ist eine Strategie, bei der Produkte so gestaltet werden, dass sie am Ende ihrer Lebensdauer einfach zerlegt und die einzelnen Materialien recycelt werden können. Bei Consumer Goods Spielzeug werden Schnapp- oder Schraubverbindungen verwendet, um die Demontage zu erleichtern.

Effizienz an erster Stelle

Im Kontext der Regenerierbarkeit von Kunststoffen ist es wichtig, den Fokus auf Effizienz anstelle von Substitution zu legen. Vorrangig sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Produktion, Nutzung und Entsorgung von Kunststoffen so zu optimieren. So sollen z.B. die Herstellungsprozesse von Kunststoffen so gestaltet werden, dass sie weniger Energie und Ressourcen verbrauchen und gleichzeitig weniger Emissionen verursachen. Die Nutzung und Entsorgung von konventionellen Kunststoffen kann z.B. durch eine längere Lebensdauer und effektive Sammel- und Wiederaufbereitungssysteme effizienter gestaltet werden. Erst wenn dieses Potential ausgeschöpft ist, sollte der Austausch von Materialien und die Umstellung der Rohstoffbasis in Betracht gezogen werden. Der Fokus auf Effizienz bedeutet also, dass bevor man darüber nachdenkt, Kunststoffe durch andere Materialien zu ersetzen oder neue Ressourcenquellen zu erschließen, zunächst die bestehenden Prozesse und Nutzungsweisen optimiert werden sollten.

→ **FAZIT der Designstrategien:** Design for Recycling sollte in der Herstellung von Produkten immer berücksichtigt werden. Komplexe Materialmischungen sollten vermieden und so gut wie möglich sortenreine Kunststoffe verwendet werden. Bezüglich den Consumer Goods hat Design for Disassembly und Design for Repair großes Potential die Lebensdauer zu verlängern. Eine mögliche Maßnahme wäre die Einrichtung von Schnittstellen vor der Abfallentsorgung, die prüfen, ob ein Produkt repariert werden kann. Auch bei Fenstern könnte beispielsweise nur das defekte Glas ausgetauscht werden, während der Rahmen verankert bleibt.

Kauf von Leistung bzw. Miete

Der innovative Ansatz des Kaufs von Leistung anstelle des Produkts kann speziell die Wartung und Reparatur von Geräten fördern. Dabei wird nicht das physische Produkt gekauft, sondern die spezielle Leistung, die dieses Produkt erbringt. Ein Beispiel wäre der Kauf von 200 Waschgängen anstelle einer Waschmaschine. Da der Produzent weiterhin Eigentümer des Produkts bleibt, ist er auch für Wartung und Reparaturen verantwortlich. Dies fördert die Anwendung von Design for Repair, da Reparaturen in den Verantwortungsbereich des Herstellers fallen. Erst dieser Ansatz macht die Lebensdauerverlängerung wirtschaftlich.

Mechanisches Recycling

Bei den verfügbaren State-of-the-Art-Technologien nehmen mechanisch recycelte Materialien die größte Gruppe ein und ermöglichen es etwa 35% der Kunststoffe in Europa wiederzuverwenden. Allerdings sind Kunststoff-Recyclingzyklen begrenzt: Nach 3-5 Zyklen sind die meisten Kunststoffe nicht mehr recycelbar. Obwohl Design for Recycling den Anteil mechanisch recycelter Materialien erhöhen kann, werden Reuse-Maßnahmen die Qualität und Menge des recycelten Kunststoffs einschränken.

Marktakzeptanz von Rezyklaten

Die Einbindung von Kunststoffherstellern in den Design-Prozess ist entscheidend, da sie grundsätzlich daran interessiert sind, dass ihre Produkte effizient genutzt werden, ohne dass weniger Kunststoff im Produkt verwendet wird. Zusätzlich sollte die Notwendigkeit der Verwendung von Rezyklaten durch Sensibilisierung, Entwicklung von Richtlinien, Anreizsysteme und Kooperationen klar gestellt werden.

Ein Markt für Rezyklate muss geschaffen werden, indem gezielte Anreize die Akzeptanz und wirtschaftliche Rentabilität steigern - Rezyklate müssen sowohl verfügbar als auch nachgefragt werden. Die Bereitschaft, recycelte Materialien für Produkte wie Fenster und Dämmungen zu verwenden, muss finanziell attraktiv sein, um die Motivation und damit die Praxis des Recyclings zu fördern.

Es ist auch von entscheidender Bedeutung, am Markt sicherzustellen, dass der Preis für Rezyklate den Preis für Neuware nicht übersteigt, wie es aktuell häufig bei PET der Fall ist. Dies könnte durch gezielte Preisregulierungen, Förderprogramme oder Subventionen für recycelte Materialien sowie durch die Stärkung der Nachfrage nach recycelten Produkten erreicht werden.

Chemisches Recycling

Eine aufkommende State-of-the-Art-Technologie ist das chemische Recycling über Pyrolyse-Öl, mit den ersten Anlagen in Europa. Dieses Verfahren kann Kunststoffe, die nicht mehr mechanisch recycelbar sind, zu 70-90% in nutzbare Rohstoffe umwandeln. Auch hier ist die Vorsortierung und Reinheit der Stoffe entscheidend für den Erfolg. Diese Technologie ermöglicht es, derzeit vor allem Polyolefinströme aus der Sortierung, wieder zu Kunststoffen zu verwerten. Dennoch gibt es auch hier technologische Begrenzungen, sodass das Potenzial zusätzlich zum mechanischen Recycling bei ca. 10-20% liegt. Es ist jedoch zu beachten, dass bei diesem Verfahren Rückstände verbleiben, die weiterhin verbrannt werden müssen.

Materialsstitution durch biobasierte Alternativen

Werden Kunststoffe aus erneuerbaren Rohstoffen hergestellt, sollte man sie so einsetzen, dass sie langlebig sind und möglichst im Kreislauf gehalten werden. Klar ist, dass Single-use von Biokunststoffen keinen Sinn macht und biologisch abbaubarer Kunststoff nur in spezifischen Anwendungen verwendet werden sollte. Die Herstellung von biobasierten Alternativen hat zudem das größte Potential wenn Rohstoffe aus nachhaltiger Bewirtschaftung und ohne Raubbau (z.B. Entwaldung) stammen. Der Einsatz von Reststoffen (z.B. aus der Lebensmittelindustrie) wäre aus ökologischer Sicht überhaupt zu bevorzugen.

Es ist durchaus denkbar, in vielen verschiedenen Bereichen vermehrt einen biobasierten Anteil in den Produkten beizumischen, aber grundsätzlich ist auch in Zukunft von einer Nischenanwendung zu sprechen. Die Implementierung biobasierter "drop-in" Lösungen bietet Potential, bestehende Anlagen für konventionelle Kunststoffe zu nutzen.

Es wird oft behauptet, dass die Herstellung problemlos möglich ist, doch in der Praxis können sich signifikante Herausforderungen ergeben. Ein zentrales Problem liegt in der Anpassung der Maschinenausrüstung. Extrusions- und Spritzgussverfahren für Kunststoffe sind zwar etabliert, aber jedes Material erfordert spezifische Verarbeitungsparameter. Zum Beispiel benötigen Extruder unterschiedliche Schneckengeometrien, um das Material homogen zu verarbeiten – sei es als Pulver oder Granulat. Ein einfaches Ersetzen eines fossilen Grundstoffs durch ein bio-Äquivalent kann daher problematisch sein, da die optimale Leistung des Extruders nicht mehr gewährleistet ist.

Ein weiteres wesentliches Problem betrifft die Schwindung. Wenn sich die geschmolzene Kunststoffmasse beim Abkühlen zusammenzieht, muss das Spritzgussteil in der Regel 1-3% größer konstruiert werden. Dieses Phänomen erfordert präzise Einstellungen im Fertigungsprozess, da jeder Kunststofftyp unterschiedliche Schwindungseigenschaften aufweist. Wenn eine neue Art von Kunststoff diese Parameter nicht mehr kompensieren lässt, könnte ein komplett neues Werkzeug erforderlich werden – eine Investition mit erheblichen Kosten.

Die Nutzung biobasierter Roh- und Reststoffe für Kunststoffe steht zudem in Konkurrenz mit der Herstellung von Biofuels. Dieses Hindernis entsteht hauptsächlich aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit und der steigenden Nachfrage nach diesen Rohstoffen.