



# Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands

## Rücknahmesysteme zur Kreislaufschließung



Studie: Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands –  
Rücknahmesysteme zur Kreislaufschließung

Autorinnen und Autoren:

Dr. Francesco Castellani, Ramboll Deutschland GmbH, München

Katharina Terörde, Ramboll Deutschland GmbH, München

Rebecca Bliklen, Ramboll Deutschland GmbH, München

Alexander Greßmann, Ramboll Deutschland GmbH, München

Selina Scheer, Ramboll Deutschland GmbH, München

Elisabeth Zettl, Ramboll Deutschland GmbH, München

Fachliche Ansprechpartnerin:

Dr.-Ing. Ulrike Lange, VDI Zentrum Ressourceneffizienz

Wir danken Deike Gliem, M.Sc. und Nicolas Wittine, M.Sc. vom Fachgebiet  
Produktionsorganisation und Fabrikplanung an der Universität Kassel für Ihre  
fachliche Unterstützung.

Die Studie wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz,  
nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz erstellt.

Redaktion:

VDI Technologiezentrum GmbH

VDI-Platz 1

40468 Düsseldorf

Tel. +49 30-27 59 506-505

zre-info@vdi.de

www.ressource-deutschland.de

Titelbild: © PantherMedia / halfpoint (bearbeitet)

# **VDI ZRE Publikationen: Studien**

**Ökologische und ökonomische Bewertung  
des Ressourcenaufwands**

**Rücknahmesysteme zur Kreislaufschließung**

# INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	7
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	9
KURZFASSUNG	12
1 EINLEITUNG	16
2 ZIEL DER STUDIE	18
3 EINFÜHRUNG RÜCKNAHMESYSTEME	20
3.1 Rücknahmesysteme – Motivation und Typisierung	20
3.1.1 Motivation von Rücknahmesystemen	20
3.1.2 Closed und Open Loop Supply Chain	22
3.1.3 Rücknahmen nach Anfallstelle	23
3.1.4 Rückgabesystemtypen nach Geschäftsmodellen	24
3.2 Einflussfaktoren der Gestaltung von Rücknahmesystemen	26
3.2.1 Produkt- und Materialeigenschaften	26
3.2.2 Gestaltung des Geschäftsmodells	27
3.2.3 Wirtschaftlichkeit	28
3.2.4 Ökologische Effekte	28
3.3 Zusammenfassung	29
4 KRITERIEN FÜR DIE EINFÜHRUNG FREIWILLIGER RÜCKNAHMESYSTEME	30
4.1 Produkt- und Materialeigenschaften (PM)	32
4.1.1 Produkteigenschaften	32
4.1.2 Materialeigenschaften	36
4.1.3 Stoffeigenschaften	37
4.2 Gestaltung des Geschäftsmodells (GM)	38
4.2.1 Inhouse und Vergabe	39

4.2.2	Analyse und Gestaltung des Stoffstroms	40
4.2.3	Ausgestaltung von Kooperationen	43
4.2.4	Logistik	45
4.3	Wirtschaftlichkeit (W)	48
4.3.1	Potenzielle Aufwände	49
4.3.2	Positive ökonomische Effekte	50
4.4	Ökologische Effekte (ÖE)	50
4.4.1	Auswahl von Wirkungskategorien	51
4.4.2	Methodik der Lebenszyklusanalyse	52
5	ÖKOLOGISCHE UND ÖKONOMISCHE BEWERTUNG:	
	UNTERSUCHUNGSRAHMEN, SACHBILANZ	54
5.1	Betrachtetes Produktsystem	55
5.2	Funktion und funktionelle Einheit des Produktsystems	56
5.3	Festlegung der Systemgrenzen	56
5.4	Indikatoren der ökologischen Bewertung	60
5.4.1	Treibhausgasemissionen	61
5.4.2	Kumulierter Energieaufwand (KEA)	62
5.4.3	Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)	63
5.4.4	Wasserverbrauch	64
5.4.5	Versorgungskritikalität	64
5.4.6	Flächenverbrauch	65
5.4.7	Sensitivitätsanalyse	65
5.5	Grundlagen der ökonomischen Analyse	66
5.6	Inventarisierung der Daten	66
5.6.1	Primärdaten	67
5.6.2	Sekundärdaten	68
5.6.3	Quantifizierung der ausgewählten Kostenpositionen	73
6	ERGEBNISSE DER ÖKOLOGISCHEN UND ÖKONOMISCHEN BEWERTUNG	79
6.1	Ökologische Bewertung	80
6.1.1	Ergebnisse der Treibhausgasemissionen (GWP)	80
6.1.2	Ergebnisse des kumulierten Energieaufwands (KEA)	83

6.1.3	Ergebnisse des kumulierten Rohstoffaufwands (KRA)	86
6.1.4	Ergebnisse des Wasserverbrauchs	88
6.1.5	Ergebnisse des Flächenverbrauchs	91
6.1.6	Ergebnisse der Versorgungskritikalität	93
6.2	Ökonomische Analyse	96
6.3	Sensitivitätsanalyse	99
6.4	Kritische Würdigung der Ergebnisse	106
7	ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT	108
	LITERATURVERZEICHNIS	112
	ANHANG	120

---

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Phasen in der Planung eines Rücknahmesystems	30
Abbildung 2: Cluster-Bildung für die Optimierung von Transport-Routen	48
Abbildung 3: Darstellung Förderband-Modul	55
Abbildung 4: Systemgrenzen Szenario „Ohne Rücknahme“	58
Abbildung 5: Systemgrenzen Szenario „Rücknahme individuell“	59
Abbildung 6: Systemgrenzen Szenario „Rücknahme kollektiv“	59
Abbildung 7: Indikatoren im Rahmen der ökologischen Bewertung (VDI 4800 Blatt 1 und 2 und VDI 4600)	61
Abbildung 8: Treibhausgaspotenzial (GWP) der Szenarien ohne und mit Rücknahme in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalenten je funktioneller Einheit	81
Abbildung 9: Kumulierter Energieaufwand (KEA) der Szenarien ohne und mit Rücknahme in MJ je funktioneller Einheit	84
Abbildung 10: Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) der Szenarien ohne und mit Rücknahme in kg je funktioneller Einheit	86
Abbildung 11: Wasserverbrauch der Szenarien ohne und mit Rücknahme in m <sup>3</sup> je funktioneller Einheit	89
Abbildung 12: Flächenverbrauch der Szenarien ohne und mit Rücknahme in m <sup>2</sup> je funktioneller Einheit	91
Abbildung 13: Darstellung der realitven Kosten der Szenarien ohne und mit Rücknahme in %	97
Abbildung 14: Sensitivitätsanalyse des Treibhausgaspotenzials (GWP) in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalenten (markttypisches Lebensende)	101

Abbildung 15: Sensitivitätsanalyse des KEA in MJ (markttypisches Lebensende)	101
Abbildung 16: Sensitivitätsanalyse des KRA in kg (markttypisches Lebensende)	102
Abbildung 17: Sensitivitätsanalyse des Wasserverbrauchs in m <sup>3</sup> (markttypisches Lebensende)	103
Abbildung 18: Sensitivitätsanalyse des Flächenverbrauchs in m <sup>2</sup> pro Jahr (markttypisches Lebensende)	104
Abbildung 19: Sensitivitätsanalyse der Kosten in € (markttypisches Lebensende)	105



## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Gesamtvergleich des Einflusses auf die Wirkungsindikatoren für alle fünf Szenarien	14
Tabelle 2:	Rücknahmesystemtypen	24
Tabelle 3:	Übersicht über Kriterien je Planungsphase	31
Tabelle 4:	Inventardaten für den Sortierprozess	72
Tabelle 5:	Inventardaten für den Recyclingprozess	73
Tabelle 6:	Preise der Inputs für die Herstellungsphase	75
Tabelle 7:	Preise der Inputs für die Phase von Aufbereitung und Recycling	77
Tabelle 8:	Treibhausgasemissionen für die Szenarien des Lebenswegs ohne Rücknahme in kg CO <sub>2</sub> -Äquivalenten je funktioneller Einheit	81
Tabelle 9:	Kumulierter Energieaufwand (KEA) für die Szenarien des Lebenswegs ohne Rücknahme in MJ je funktioneller Einheit	84
Tabelle 10:	Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) für die Szenarien ohne Rücknahme in kg	87
Tabelle 11:	Wasserverbrauch der konventionellen Lebenswege ohne Rücknahme in m <sup>3</sup> je funktioneller Einheit	89
Tabelle 12:	Flächenverbrauch der Szenarien des konventionellen Lebenswegs in m <sup>2</sup> je funktioneller Einheit	92
Tabelle 13:	Indikatoren der Versorgungskritikalität nach VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2	94
Tabelle 14:	Versorgungskritikalität	95

## 8 Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 15:	Relative Kosten der Szenarien des konventionellen Lebenswegs in %.	97
Tabelle 16:	Gesamtvergleich des Einflusses auf die Wirkungsindikatoren für alle fünf Szenarien	110

---

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>AbfAEV</b>	Anzeige- und Erlaubnisverordnung
<b>AbfTransportV</b>	Abfalltransportverordnung
<b>ADR</b>	Europäische Verordnung über den Transport gefährlicher Güter
<b>AP</b>	Acidification Potential
<b>ASN</b>	Abfallschlüsselnummer
<b>AVV</b>	Abfallverzeichnis
<b>B2B</b>	Business-to-Business
<b>B2C</b>	Business-to-Consumer
<b>CLSC</b>	Closed Loop Supply Chain
<b>DfRem</b>	Design for Remanufacturing
<b>DPP</b>	Digitaler Produktpass
<b>ElektroG</b>	Elektro- und Elektronikgerätegesetz
<b>ElektroStoffV</b>	Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung
<b>EoL</b>	End-of-Life
<b>EP</b>	Eutrophication Potential
<b>EPLCA</b>	European Platform on Life Cycle Assessment
<b>EPR</b>	Extended Producer Responsibility
<b>ESPR</b>	Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte
<b>EU</b>	Europäische Union

<b>GewAbfV</b>	Gewerbeabfallverordnung
<b>GGVSEB</b>	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
<b>GM</b>	Geschäftsmodell
<b>GWP</b>	Global Warming Potential
<b>KEA</b>	Kumulierter Energieaufwand
<b>KPI</b>	Key Performance Indicator
<b>KRA</b>	Kumulierter Rohstoffaufwand
<b>KrWG</b>	Kreislaufwirtschaftsgesetz
<b>LCA</b>	Life-Cycle-Assessment
<b>LZ</b>	Lebenszyklus
<b>ODP</b>	Ozone Depletion Potential
<b>ÖE</b>	Ökologische Effekte
<b>OLSC</b>	Open Loop Supply Chain
<b>PA</b>	Polyamid
<b>PaaS</b>	Product-as-a-Service
<b>PBT</b>	Polybutylenterephthalat
<b>PCB</b>	Polychlorierte Biphenyle
<b>PCF</b>	Product Carbon Footprint
<b>PE</b>	Polyethylen
<b>PM</b>	Produkt- und Materialeigenschaften
<b>POCP</b>	Photochemical Ozone Creation Potential

---

<b>POM</b>	Polyoxymethylen
<b>PP</b>	Polypropylen
<b>PVC</b>	Polyvinylchlorid
<b>R0</b>	Refuse
<b>R1</b>	Rethink
<b>R2</b>	Reduce
<b>R3</b>	Reuse
<b>R4</b>	Repair
<b>R5</b>	Refurbish
<b>R6</b>	Remanufacture
<b>R7</b>	Repurpose
<b>R8</b>	Recycle
<b>R9</b>	Recover
<b>REACH-VO</b>	REACH-Verordnung
<b>VDI</b>	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
<b>VDI TZ</b>	VDI Technologiezentrum GmbH
<b>VDI ZRE</b>	VDI Zentrum Ressourceneffizienz
<b>VerpackG</b>	Verpackungsgesetz
<b>vPvB</b>	Very persistent very bioaccumulative
<b>W</b>	Wirtschaftlichkeit
<b>WF</b>	Water Footprint

## KURZFASSUNG

Mit voranschreitender Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft bzw. Circular Economy gewinnt die Rückführung von Produkten, Komponenten und Materialien in den Wertschöpfungskreislauf zunehmend an Bedeutung. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, Unternehmen eine Übersicht über wesentliche Kriterien für die Aufstellung eines freiwilligen herstellereigenen Rücknahmesystems zu geben. Anhand eines Praxisbeispiels industriell genutzter Förderbänder wird aufgezeigt, welche ökologischen und ökonomischen Effekte durch die Installation von Rücknahmesystemen entlang des gesamten Lebenswegs resultieren können.

Über eine Literaturrecherche und eine Befragung bestehender Rücknahmesysteme im B2B-Bereich (vgl. Anhang) werden vier übergeordnete Kriterien abgeleitet, die entsprechend ihrer Chronologie für die vorliegende Studie als Planungsphasen definiert werden: Produkt- und Materialeigenschaften (PM), Gestaltung des Geschäftsmodells (GM), Wirtschaftlichkeit (W) und Ökologische Effekte (ÖE). Je Planungsphase werden detailliertere Kriterien zusammengetragen, die in einen Excel®-basierten Leitfaden überführt werden. Dieser steht Unternehmen für eine erste, orientierende Abschätzung der Machbarkeit eines Rücknahmesystems unter dem Link [www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/](http://www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/) zur Verfügung. Es wird empfohlen, den Leitfaden kontinuierlich weiterzuentwickeln, zu konkretisieren und entsprechend den aktuellen und künftigen Entwicklungen hin zu einer zirkulären Wirtschaft anzupassen.

Zusätzlich werden in der vorliegenden Studie anhand des Praxisbeispiels industriell genutzter Förderbänder die ökologischen und ökonomischen Effekte der Installation eines Rücknahmesystems untersucht. Dazu werden theoretisch modellierte Rücknahmesysteme eines Herstellers und eines Herstellerkollektivs einem Referenzszenario ohne Rücknahmesystem gegenübergestellt. Für das Referenzszenario ohne Rücknahmesystem werden dabei drei verschiedene Varianten des End-of-Life berücksichtigt (markttypisches Lebensende, Zement-Lebensende, Verbrennungs-

Lebensende). Für alle Szenarien mit und ohne Rücknahme werden jeweils zwei Lebenszyklen des Förderbands betrachtet. Für die Szenarien mit Rücknahmesystem gilt dabei, dass im zweiten Lebenszyklus Primärmaterial für das Förderband durch aufgearbeitetes PP-Kunststoffrezyklat ersetzt wird. Für die Ergebnisdarstellung des ökologischen Vergleichs werden die Indikatoren Treibhausgasemissionen, kumulierter Energieaufwand, kumulierter Rohstoffaufwand, Wasserverbrauch und Flächenverbrauch und Versorgungskritikalität zugrunde gelegt. Die funktionelle Einheit der Studie ist auf 1 m<sup>2</sup> Förderband für zwei vollständige Lebenszyklen festgelegt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller im Vergleich zum konventionellen Lebensweg ohne Rücknahme (markttypisches Lebensende) in allen Indikatoren die geringsten Umweltauswirkungen aufweist. Die Umweltauswirkungen des Lebenswegs mit Rücknahme eines Herstellers sind dabei nur marginal höher im Vergleich zum Rücknahmesystem mehrerer Hersteller, was auf die höheren Transportkilometer zurückzuführen ist. Auch in Bezug auf die verschiedenen Varianten des Lebensendes des konventionellen Lebenswegs ohne Rücknahmesystem verursachen die Szenarien mit Rücknahmesystem geringere ökologische Auswirkungen. Eine Ausnahme stellt hier das Zement-Lebensende bei den Treibhausgasemissionen (GWP) dar. Dies konnte im Vergleich zu den Szenarien mit Rücknahmesystem einen geringeren Treibhausgasausstoß verzeichnen, da das Förderband als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie eingesetzt wird. Dies führt dazu, dass das Ende der Abfalleigenschaft bereits nach dem Sortierprozess erreicht ist. Die Emissionen aus der Verbrennung werden somit ökobilanziell nicht dem Förderband zugeschrieben, sondern dem Zementwerk.

Die ökonomische Bewertung zeigt, dass die beiden Szenarien mit Rücknahmesystem mehr als 20 % weniger Lebenszykluskosten im Vergleich zum Szenario des konventionellen Lebenswegs ohne Rücknahme und markttypischem Lebensende verursachen. Hierbei sind die Kosten für den Lebenszyklus nicht akteurspezifisch dargestellt. Im Vergleich beider

Szenarien mit Rücknahmesystem ist das durch mehrere Hersteller betriebene System aufgrund der geringeren Transportkosten in der Rücknahmephase über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen geringfügig günstiger.

Die Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Bewertung sind in der nachfolgenden Tabelle anhand eines Notensystems zusammenfassend dargestellt („1“ ist bester Indikatorwert mit aufsteigenden Indikatorwerten für schlechter werdende, relative Leistungen der Szenarien zum besten Indikatorwert)

**Tabelle 1: Gesamtvergleich des Einflusses auf die Wirkungsindikatoren für alle fünf Szenarien**

Wirkungsindikator	Ohne Rücknahme, markttypisches Lebensende	Ohne Rücknahme, Zement-Lebensende	Ohne Rücknahme, Lebensende Verbrennung	Mit Rücknahme, ein Hersteller	Mit Rücknahme, mehrere Hersteller
GWP	4	1	4	3	2
KEA	4	3	4	2	1
KRA	4	3	4	2	1
Wasserverbrauch	3	2	3	1	1
Flächenverbrauch	3	2	3	1	1
Lebenszykluskosten	3	2	3	1	1

Die konkreten Ergebnisse in Kapitel 6 zeigen, dass die Reduktion der Transportkilometer durch die Rücknahme mehrerer Hersteller im Vergleich zur Rücknahme eines Herstellers kaum einen Unterschied weder in der ökologischen noch in der ökonomischen Bewertung verursachen. Die Einsparung sowohl in den Kosten als auch in den ökologischen



Auswirkungen entstehen durch die Substitution der Primärkunststoffe durch den Einsatz von Polypropylen (PP)-Rezyklaten im zweiten Lebenszyklus. Trotz der zusätzlichen Aufwände durch die Aufbereitung und das Recycling der zurückgenommenen Kunststoffförderbänder sind die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der Rücknahmeszenarien geringer im Vergleich zum konventionellen Lebensweg ohne Rücknahme.

Um genau diese Einflüsse der Eingangsparameter auf die betrachteten ökologischen Indikatoren zu untersuchen, wurden in einer Sensitivitätsanalyse drei Rücknahme-Szenarien mit unterschiedlichen Rezyklatanteilen im Förderband mit einem konventionellen Lebensweg des Förderbandes ohne Rezyklatanteil verglichen. Die Analyse ergab, dass sich der Einsatz von recyceltem PP für alle ökologischen Bewertungen vorteilhafter auswirkt. Für jeden Umweltindikator hat das Szenario mit einem Rezyklatanteil von 97 % die geringsten ökologischen Auswirkungen, gefolgt vom Szenario mit einem Rezyklatanteil von 50 %. Das Szenario mit einem Rezyklatanteil von 4,76 % hat immer noch geringere ökologische Auswirkungen als das Referenzszenario ohne Rezyklatanteil, jedoch teilweise marginal.

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass in dem für diese Studie betrachteten System die Aufbereitung, das Recycling und der Einsatz von Kunststoffrezyklaten zu einer Verbesserung der Umweltindikatoren und zu Kosteneinsparungen führen können. Der Erfolg hängt dabei weniger von der Anzahl der teilnehmenden Hersteller am Rücknahmesystem, sondern vielmehr vom Anteil des zu verarbeitenden Kunststoffrezyklats im Förderband ab.

# 1 EINLEITUNG

Mit dem Ziel der Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft bzw. Circular Economy gewinnt die Rückführung von Produkten, Komponenten und Materialien in den Wertschöpfungskreislauf zunehmend an Bedeutung. Die Kreislaufwirtschaft bzw. Circular Economy wird als ein Produktions- und Konsummodell verstanden, das über Strategien und Maßnahmen den Ressourceneinsatz verringert, die Nutzungsdauer von Produkten verlängert sowie Materialien und Stoffe im Kreislauf führt. Ziele einer Kreislaufwirtschaft sind u. a. die Einsparung von Ressourcen bei der Gewinnung von Rohstoffen und der Produktion von Gütern, die Reduzierung negativer Umweltauswirkungen z. B. durch Rohstoffgewinnung, die Verringerung des Abfallaufkommens sowie die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch.<sup>1,2</sup> Für die konkretere Umsetzung wird oft das Modell der 10R-Strategien nach Potting et al. referenziert, die das Produktions- und Konsummodell einer Kreislaufwirtschaft ausgestalten.<sup>3</sup> Diese reichen von Refuse (R0), Rethink (R1) und Reduce (R2) über Reuse (R3), Repair (R4), Refurbish (R5), Remanufacture (R6) und Repurpose (R7) bis hin zu Recycle (R8) und Recover (R9).

Insbesondere für die Strategien R4 bis R8 stellt die getrennte Sammlung und Rücknahme von Produkten, Komponenten und Materialien eine wesentliche Voraussetzung für die Anwendung der Strategien dar. Seit der Etablierung des Konzepts der erweiterten Herstellerverantwortung (Extended Producer Responsibility, EPR) in der Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Union (EU)<sup>4</sup>, wurden in allen europäischen Mitgliedsstaaten für verschiedene Abfallströme bereits rechtlich verpflichtende Rücknahmesysteme implementiert. Die Finanzierung der Sammlung, des Transports, der Sortierung und der entsprechenden Behandlung erfolgt durch die zu

---

<sup>1</sup> Vgl. Kirchherr, J. et al. (2023).

<sup>2</sup> Vgl. Stahel, W. R. (2016), S. 435-438.

<sup>3</sup> Vgl. Potting, J. et al. (2017), S. 15.

<sup>4</sup> Vgl. § 8, Richtlinie 2008/98/EG.

zahlenden Gebühren der Hersteller für deren in Verkehr gebrachte Produkte. Hierunter fallen z. B. Elektro- und Elektronikaltgeräte, Batterien und Verpackungen.

Neben rechtlich verpflichtenden existieren auch freiwillige Rücknahmesysteme. Diese werden durch Hersteller oder Herstellerinitiativen betrieben und unterliegen keinen rechtlichen Verpflichtungen. Ökonomische und ökologische Anreize für die Etablierung von freiwilligen Rücknahmesystemen sind u. a. ein hoher verbleibender Material- bzw. Produktwert am Lebensende, Kosteneinsparungen durch einen reduzierten Einsatz, insbesondere von Energie und Primärrohstoffen und die damit verbundene Verringerung von Abhängigkeiten von globalen Rohstoffmärkten sowie Wettbewerbsvorteile durch die Erfüllung von Erwartungen der Kundinnen und Kunden an ein nachhaltig und zirkulär agierendes Unternehmen.

Die Ausgestaltung freiwilliger Rücknahmesysteme durch Unternehmen oder Unternehmensinitiativen nimmt im Rahmen der Transformation hin zu einer zirkulären Wirtschaft eine wesentliche Rolle ein. Es gibt bereits Praxisbeispiele, die solche freiwilligen Rücknahmesysteme implementiert und etabliert haben (vgl. Anhang). Dennoch bedarf die Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft weiterer Anstrengungen, Rücknahmesysteme aufzubauen und diese ökonomisch sowie ökologisch sinnvoll zu betreiben. Je nach Produktgruppe und Materialart ist dies ein komplexes Unterfangen, bei dem verschiedenste Aspekte von der Produkt- und Materialbeschaffenheit, der Einrichtung von Sammelstellen und effizienten Transportnetzen, bis hin zur Einhaltung von umwelt-, abfall- und produktrechtlichen Vorgaben bei gleichzeitiger wirtschaftlicher Machbarkeit zu berücksichtigen sind. Diesen Herausforderungen stehen Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz und neuer zirkulärer Geschäftsmodelle durch die Einführung von Rücknahmesystemen gegenüber, die mit Kosteneinsparungen und verbesserter Wettbewerbsfähigkeit einhergehen und auf die Ziele des Klimaschutzes und der Ressourcenschonung einzahlen.

## 2 ZIEL DER STUDIE

Ziel dieser Studie ist es, eine Übersicht über die wesentlichen Kriterien und Stellschrauben für die Aufstellung eines freiwilligen herstellereigenen Rücknahmesystems zu geben und die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen von Rücknahmesystemen anhand eines Praxisbeispiels zu quantifizieren. Nach einer einordnenden Einführung in das Thema der Rücknahmesysteme (vgl. Kapitel 3), beleuchtet die vorliegende Studie dazu Kriterien, die für die ökonomische und ökologische Gestaltung freiwilliger Rücknahmesysteme mit Fokus auf den Business to Business (B2B)-Bereich ausschlaggebend sind (vgl. Kapitel 4). Diese Kriterien werden in einen Excel®-basierten Leitfaden übertragen und sollen Unternehmen befähigen, eine initiale bzw. orientierende Einschätzung über die mögliche Umsetzung eines freiwilligen Rücknahmesystems vorzunehmen. Gleichermaßen sollen Unternehmen für die Potenziale zirkulärer Geschäftsmodelle, die über die Rücknahme von Produkten, Komponenten und Materialien möglich werden, sensibilisiert werden.

Darauf aufbauend wird eine ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands von freiwilligen Rücknahmesystemen anhand des Praxisbeispiels industriell genutzter Förderbänder vorgenommen. Es soll aufgezeigt werden, welche ökologischen und ökonomischen Effekte durch die Installation von Rücknahmesystemen entlang des gesamten Lebenswegs resultieren können. So wird für das Praxisbeispiel industriell genutzter Förderbänder einerseits ein konventioneller Lebensweg und ein theoretisch modellierter Lebensweg mit installiertem Rücknahmesystem, sowohl individuell als auch kollektiv (getragen von mehreren Herstellern), bilanziert. Dazu wird in Kapitel 5 der Untersuchungsrahmen festgelegt und die Sachbilanz konkretisiert. Kapitel 6 präsentiert die Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Bewertung für die folgenden Fragestellungen:

- (1) Welche Aufwendungen an Rohstoffen, Energie, Wasser und Fläche müssen unter Berücksichtigung des gesamten Lebensweges für den Einsatz des Referenzproduktes „Förderbänder“ in den betrachteten Lebenswegeszenarien aufgebracht werden?
- (2) Welche versorgungskritischen Rohstoffe werden für den Einsatz des Referenzproduktes „Förderbänder“ in den betrachteten Lebenswegeszenarien verwendet und/oder eingespart?
- (3) Welche Treibhausgasemissionen, ausgedrückt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, werden für den Einsatz des Referenzproduktes „Förderbänder“ in den betrachteten Lebenswegeszenarien verursacht?
- (4) Welche Kosten ergeben sich für den Einsatz des Referenzproduktes „Förderbänder“ in den betrachteten Lebenswegeszenarien?

## 3 EINFÜHRUNG RÜCKNAHMESYSTEME

Auf dem Weg zu einer Kreislaufwirtschaft bzw. Circular Economy gewinnen Rücknahmesysteme – eine sogenannte Reverse Logistic oder Rückführ-, Rückwärts oder Retourenlogistik – immer mehr an Bedeutung. Sie umfassen „im Wesentlichen die Aufgabenbereiche Sammlung, Sortierung, Transport und Lagerung von (Alt-)Produkten, Bauteilen oder Stoffen zwischen verschiedenen Anfallorten, stofflichen Verwertungsanlagen und Einsatzorten sowie deren Organisation“<sup>5</sup>. Durch die geregelte Planung, Steuerung, Abwicklung und Kontrolle der Rückwärtsflüsse und die damit verbundene Einbringung in die verschiedenen Kreislaufwirtschaftsstrategien, insbesondere in die R-Strategien R4 bis R8, können Unternehmen Ressourcen intensiver und länger nutzen.

### 3.1 Rücknahmesysteme - Motivation und Typisierung

#### 3.1.1 Motivation von Rücknahmesystemen

Die Implementierung von Rücknahmesystemen folgt verschiedenen Motivationen, die je nach Rücknahmesystem in ihrer Rangfolge variieren. Darunter zählen die rechtliche Motivation, die ökonomische Motivation und die ökologische Motivation.<sup>6</sup>

#### Rechtliche Motivation

Entsprechend der Abfallrahmenrichtlinie der EU<sup>7</sup> haben sich mit der Umsetzung der EPR für verschiedene Produkt- und Abfallströme rechtlich verbindliche Rücknahmesysteme entwickelt. So gelten für Batterien, Elektro- und Elektronikaltgeräte, Verpackungen, Altfahrzeuge und Altöl spezifische Gesetze und Verordnungen, die verbindliche finanzielle oder organisatorische Verpflichtungen der Hersteller für die Sammlung und

---

<sup>5</sup> Mühlthaler, S. (2008), S. 26f.

<sup>6</sup> Vgl. Lasch, R. (2018), S. 463f.

<sup>7</sup> Vgl. Richtlinie 2008/98/EG, § 8.

Behandlung der Abfälle festlegen. Hersteller und Händler, die Produkte und Materialien auf dem europäischen Markt in Verkehr bringen, sind verpflichtet, sich finanziell an einem Rücknahmesystem zu beteiligen<sup>8</sup>, sobald sie keine eigene adäquate Rücknahme und Verwertung ihrer Produkte und Materialien nachweisen können. Die Gebühren für die Systemteilnahme richten sich hierbei nach Menge und Art der in Verkehr gebrachten Produkte. Eine Anpassung der Gebühren durch die sogenannte Öko-Modulation nach Kriterien wie z. B. der Recyclingfähigkeit ist möglich, um Anreize für ein kreislauffähiges Produktdesign zu schaffen.<sup>9</sup>

### Ökonomische Motivation

Durch die Anwendung der entsprechenden R-Strategien, speziell der Strategien R4 – R8, können bei einem hohen verbleibenden Material- bzw. Produktwert der zurückzuführenden Produkte und Materialien Kosteneinsparungen durch einen reduzierten Einsatz, insbesondere von Energie und Primärrohstoffen, erzielt werden. Darüber hinaus führt die Reduzierung des Produkt- und Materialeinsatzes zu einer Verringerung der Abhängigkeit von den globalen Rohstoffmärkten sowie zu Wettbewerbsvorteilen durch die Erfüllung der Kundenerwartungen an ein nachhaltig und zirkulär agierendes Unternehmen. Die Kosteneinsparungen durch die Rückführung und adäquate Behandlung der Produkte und Materialien können in der Aktivierung neuer zirkulärer Geschäftsmodelle wie z. B. dem Remanufacturing (R6) münden und eröffnen Unternehmen neue Möglichkeiten ökonomische Potenziale zu heben.

### Ökologische Motivation

Die Ressourcenschonung zum Ziel des Klima- und Ressourcenschutzes ist gesellschaftlicher Konsens, um Bedürfnisse künftiger Generationen nicht einzuschränken. In diesem Rahmen sind Unternehmen gefordert, Strategien und Maßnahmen für eine nachhaltige Wirtschaftsweise umzusetzen

---

<sup>8</sup> Vgl. Fleckinger, P. und Glachant, M. (2010), S. 57-66.

<sup>9</sup> Vgl. Micheaux, H. und Aggeri, F. (2021), S. 289.

und auf eine Transformation hin zu einer zirkulären Wirtschaftsweise einzuzahlen. So gibt bspw. die Veröffentlichung der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie der Bundesregierung im Dezember 2024 einen Rahmen für eine zirkuläre Wirtschaftsweise und unterstreicht die Notwendigkeit der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Transformation. Die strategische Ausrichtung von Unternehmen für mehr Ressourcen- und Klimaschutz beantwortet gleichsam steigende Anforderungen der Kundinnen und Kunden daran. So treten bspw. die Art und Weise der Produktherstellung bei Kaufentscheidungen der Kundinnen und Kunden vermehrt in den Vordergrund.

Unternehmen, die keiner rechtlichen Verpflichtung unterliegen, wie bspw. der Umsetzung der EPR, folgen bei der Implementierung von Rücknahmesystemen einer ökonomischen und einer ökologischen Motivation. Diese Systeme können sowohl unternehmensspezifisch als auch im Unternehmenskollektiv bzw. in einer Unternehmensinitiative umgesetzt werden.<sup>10</sup> Als kollektives System wird dabei ein System bezeichnet, bei dem die einzelnen Hersteller nicht direkt die Sammlung und Behandlung ihrer eigenen Produkte, sondern - anteilig - einer Produktgruppe finanzieren. Diese kollektiven Systeme sind in der Regel eigene Geschäftseinheiten, die die Gebühren der einzelnen Hersteller berechnen und erheben, Verträge mit Behandlungsanlagen schließen und etwaige Berichtspflichten gegenüber den nationalen Behörden übernehmen.<sup>11</sup>

### 3.1.2 Closed und Open Loop Supply Chain

Auf übergeordneter Ebene wird bei der Betrachtung von Rücknahmesystemen grundsätzlich zwischen einer Closed Loop Supply Chain (CLSC) und einer Open Loop Supply Chain (OLSC) unterschieden. Die CLSC umfasst Prozesse, die bidirektional zwischen Herstellenden und Kundinnen und

---

<sup>10</sup> Beispiele für unternehmensspezifische Rücknahmesysteme sind die Lorenz GmbH oder die NovoTech GmbH, Beispiele für Unternehmensinitiativen sind die Rewindo GmbH oder die RIGK GmbH (Vgl. Anhang).

<sup>11</sup> Vgl. Mayers, K. und Butler, S. (2013), S. 277-289.



Kunden erfolgen (z. B. Retouren). Eine OLSC beinhaltet Produkt- und Materialflüsse, die nicht wieder zum ursprünglichen Hersteller fließen, sondern in anderen Lieferketten Anwendung finden (z. B. bestimmte Kunststoffzyklate).<sup>12</sup>

### 3.1.3 Rücknahmen nach Anfallstelle

Eine Unterteilung von Rücknahmen wird durch Lasch, R. (2018) in vier verschiedene Anfallstellen der zurückzunehmenden Produkte und Materialien vorgenommen.

- Rückwärtsflüsse während der Produktion (I): Darunter fallen u. a. Produktionsausschüsse, Rohstoff- und Materialreste, nicht verkaufsfähige Kuppelprodukte;
- Rückwärtsflüsse vor der Nutzung durch den Endabnehmer (II): Darunter fallen u. a. Produkte, die nach der Auslieferung Mängel aufweisen, in falscher Menge oder falschem Zeitraum geliefert wurden sowie Sortimentsumstellungen oder -bereinigungen;
- Rückwärtsflüsse während der Nutzung durch den Endabnehmer (III): Darunter fallen u. a. Produktrückrufe aufgrund von Qualitäts-, Sicherheitsmängeln oder Umweltrisiken, Rücknahmen im Rahmen des Widerrufsrechts, des Gewährleistungs- und Garantierahmens oder innerhalb von Serviceverträgen;
- Rückwärtsflüsse nach der Nutzung (IV): Darunter fallen Produkte und Materialien, die nach der Nutzung durch den Endabnehmer nicht weiterverwendet werden.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> Vgl. Lasch, R. (2018), S. 458.

<sup>13</sup> Vgl. Lasch, R. (2018), S. 460 f.

### 3.1.4 Rückgabesystemtypen nach Geschäftsmodellen

Hallmann und Jäger (2010) gliedern Rücknahmesysteme entsprechend der Rückgabemotivation bzw. dem dahinterliegenden Geschäftsmodell, wobei diese auch in Mischformen Anwendung finden (vgl. Tabelle 2).

Tabelle 2: Rücknahmesystemtypen in Anlehnung an Hallmann, U. und Jäger, F. (2010)<sup>14</sup>

Rücknahmesystem	Art der Rücknahme (Kap. 3.1.1)	Rückgabemotivation	Potenzielle R-Strategie	Anfallstelle (Kap. 3.1.2)
Reines Entsorgungssystem	zumeist OLSC	Entledigungsabsicht	R3 bis R9	I, II, III, IV
Trade-in System	zumeist CLSC	Inzahlungnahme	R4 bis R8	IV
Garantie-teilemanagement	zumeist CLSC	Garantiefall	R4 bis R8	III
Remanufacturing Parts Management	CLSC, OLSC	Austausch	R6 bis R8	III, IV
Obsolet-teilemanagement	CLSC, OLSC	Vermarktungsende, Veralterung	R4 bis R9	II

OLSC (Open Loop Supply Chain), CLSC (Closed Loop Supply Chain);  
 R3 (Reuse), R4 (Repair), R5 (Refurbish), R6 (Remanufacture), R7 (Repurpose), R8 (Recycle), R9 (Recover);  
 I (Rückwärtsflüsse während Produktion), II (Rückwärtsflüsse vor Nutzung), III (Rückwärtsflüsse während Nutzung), IV (Rückwärtsflüsse nach Nutzung)

Reine Entsorgungssysteme umfassen z. B. öffentlich-rechtliche und privatwirtschaftliche Entsorgungsdienstleistungen, die beim Endverbraucher und Gewerbe als Abfälle, also „Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr

<sup>14</sup> Vgl. Hallmann, U. und Jäger, F. (2010), S. 112.

Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“<sup>15</sup>, einsammeln und einer weiteren Verwertung zuführen. Unter die Stoffe und Gegenstände können auch Neu- oder Gebrauchtwaren fallen. Trade-in Systeme umfassen Angebote von Herstellern oder Händlern, über die beim Kauf eines neuen Produktes das Gebrauchtwareprodukt für einen Geldbetrag oder Gutschein ausgetauscht werden kann. Das Garantieteilmanagement bezeichnet den Austausch von defekten Produkten oder Produktteilen innerhalb der Garantie- und Gewährleistungsfrist. Das Remanufacturing Parts-Management ermöglicht eine Rücknahme von Gebrauchtteilen, die über einen industriellen Wiederaufarbeitungsprozess als Neuteil wieder eingesetzt werden können. Im Rahmen der R-Strategien können auch Strategien wie das Refurbishing – abhängig von Art und Zustand der Produkte und Produktteile – durchgeführt werden. Das Obsoleteilemanagement beschreibt den Umgang mit Produkten und Bauteilen, deren Einsatz in der Nutzungsphase durch ein Vermarktungsende oder eine Veralterung nicht mehr erfolgt und betrifft insbesondere Handel und Zentrallager, die die entsprechenden Produkte und Produktteile für den Verkauf lagern.<sup>16</sup>

Geschäftsmodelle für Rücknahmesysteme können darüber hinaus zusammen mit zirkulären Geschäftsmodellen gedacht werden. Zirkuläre Geschäftsmodelle umfassen beispielsweise Product-as-a-Service (PaaS) – Dienstleistungen. Hier wird die Dienstleistung eines Produktes angeboten, wobei der Besitz des Produktes beim Hersteller verbleibt.<sup>17</sup> Darüber angebotene Services, wie vertragsbasierte Wartungs- und Reparaturdienstleistungen können, neue Potenziale für effiziente Rücknahmesysteme heben. Auch die Entwicklungen zum Digitalen Produktpass (DPP) können die Gestaltung von Rücknahmesystemen unterstützen. Entsprechend der Ökodesign-Verordnung von Juli 2024 sind Produkte, die unter die europäische Verordnung fallen, mit einem DPP zu versehen. Dieser stellt

---

<sup>15</sup> § 3, Absatz 1, KrWG.

<sup>16</sup> Vgl. Hallmann, U. und Jäger, F. (2010), S. 113.

<sup>17</sup> Vgl. Tukker, A. (2004), S. 248.

Informationen zum Produkt zur Verfügung und kann eine gezielte Rückführung in Kombination mit zirkulären Geschäftsmodellen wie PaaS fördern.

## 3.2 Einflussfaktoren der Gestaltung von Rücknahmesystemen

„Ein effizienter Systembetrieb muss den vereinten Anforderungen der Systemtypen begegnen und dabei ausreichend Freiraum zur Erfüllung kundenindividueller Zusatzanforderungen erlauben.“<sup>18</sup> Hierbei entscheiden grundsätzlich die nachfolgenden Faktoren über die erfolgreiche Gestaltung des Rücknahmesystems.

### 3.2.1 Produkt- und Materialeigenschaften

Die Art und der Zustand, also die Produkt- und Materialeigenschaften der gesammelten Produkte und Materialien beeinflussen die Wahl der durchzuführenden R-Strategie.<sup>19</sup> Reparierbare Produkte in gutem Zustand können so beispielsweise einer Reparatur (R4) und einem Wiederverkauf zugeführt werden, während sortenrein vorliegende Materialien direkt einhochwertigen Recycling (R8) unterlaufen können. Für Letzteres ist von Bedeutung, in welchem Reinheitsgrad die Materialien vorliegen. Eine gemischte Sammlung und/ oder enthaltene Verunreinigungen erfordern eine nachgeschaltete Trennung, deren ökonomische und ökologische Machbarkeit zu überprüfen ist.<sup>20</sup>

Hierbei zu beachten ist, dass Produkte und Materialströme, denen sich der Besitzer entledigen will oder muss, nach §3 KrWG als Abfall gelten und damit der Abfallgesetzgebung unterliegen, unabhängig von der nachgeschalteten Behandlung. Produkte die einer Reparatur, Aufarbeitung, Wiederaufarbeitung, einem Recycling oder einer Verwertung zugeführt

---

<sup>18</sup> Hallmann, U. und Jäger, F. (2010). S. 112.

<sup>19</sup> Vgl. Hallmann, U und Jäger, F. (2010), S. 112.

<sup>20</sup> Vgl. Lasch, R. (2023), S. 468.

werden (R4 bis R9) sind als Abfälle einzustufen und entsprechende rechtliche Vorgaben an die Lagerung, den Transport und die Bewirtschaftung von Abfällen zu erfüllen. Für die Definition des Abfallendes nach §5, KrWG gilt entsprechend: Für Gegenstände oder Stoffe, die ein Verwertungsverfahren durchlaufen haben, die für bestimmte Zwecke verwendet werden, für die ein Markt oder eine Nachfrage besteht, die technischen Anforderungen für die genannten Zwecke erfüllen und den bestehenden Rechtsvorschriften und Normen genügen und die keine schädlichen Umwelt- und Gesundheitsfolgen verursachen, endet der Abfallstatus. Im Falle einer Wiederverwendung (R3) ohne vorherige Bearbeitung oder Vorbehandlung wird die Lebensdauer des Produktes verlängert, ohne dass dieses erst zu Abfall geworden ist.

### 3.2.2 Gestaltung des Geschäftsmodells

Art und Zustand der Produkte und Materialien hängen dabei insbesondere von der Rückgabemotivation ab, also der potenziellen Anfallstelle. Hierüber kann sich das hinter dem Rücknahmesystem zu installierende Geschäftsmodell ableiten.<sup>21</sup> Dabei ist u. a. zu analysieren, welche potenziellen Rücknahmemengen über welche Zeit an den potenziellen Anfallstellen entstehen (Beschaffungsakquise) oder welcher Absatzmarkt für die Produkte und Materialien, die eine bestimmte R-Strategie durchlaufen haben, besteht. Zudem ist eine effiziente Logistik zwischen diesen Punkten ausschlaggebend für den Erfolg des Geschäftsmodells. Dies umfasst die reibungslose Übergabe der Produkte und Materialien zu einem definierten Zeitpunkt oder Zeitraum an einer festgelegten Anfallstelle sowie deren Überführung inklusive der Zwischenlagerung, zum Punkt der Weiterbehandlung, also der intendierten R-Strategie.<sup>22</sup>

---

<sup>21</sup> Vgl. Hallmann, U. und Jäger, F. (2010), S. 112.

<sup>22</sup> Vgl. Hallmann, U. und Jäger, F. (2010), S. 112.

### 3.2.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit des Geschäftsmodells „[...] steigt mit der Leistungsfähigkeit und der Flexibilität des hinterlegten Rücknahmesystems“<sup>23</sup>. Die Gestaltung des Geschäftsmodells hat unmittelbar Einfluss auf die entstehenden Kosten und Einnahmen. So sind beispielsweise Kooperationen mit Anfallstellen, notwendige Sammel- und Transportrouten oder Kooperationen mit abnehmenden Institutionen effizient zu gestalten, um die dadurch entstehenden Kosten aber auch ökologischen Auswirkungen möglichst zu minimieren und entsprechend Einnahmen bzw. Einsparungen langfristig zu generieren.<sup>24</sup>

### 3.2.4 Ökologische Effekte

Strategien und Maßnahmen zur Kreislaufwirtschaft bedürfen einer Nachhaltigkeitsbewertung über den gesamten Lebensweg hinweg – bestenfalls mittels einer Ökobilanz. Dies beugt umzusetzenden Strategien und Maßnahmen vor, die einen höheren Energie- und Ressourcenaufwand verursachen als die ursprüngliche Umsetzung.<sup>25</sup> So werden über Rücknahmesysteme, insbesondere bezüglich ihrer logistischen Gestaltung aber auch der sich anschließenden R-Strategien, zusätzliche Energie- und Ressourcenaufwände verursacht. Diese sollten geringer ausfallen als die eingesparten Energie- und Ressourcenaufwände, die durch die Implementierung des Rücknahmesystems resultieren, um positive ökologische Effekte zu erzielen.

Für alle Rücknahmesysteme gilt übergreifend, dass die Kooperation von Akteuren entlang der Wertschöpfungskette über die erfolgreiche Umsetzung entscheidet. Für eine Ausgestaltung müssen daher „frühzeitig strategische Partner [...] involviert und die zu tätigen Investitionen in Standort, Anlagen und Logistik langfristig geplant werden.“<sup>26</sup>

---

<sup>23</sup> Hallmann, U. und Jäger, F. (2010), S. 113.

<sup>24</sup> Vgl. Guide, V.D.R. und Wassenhove, L.N. (2009), S. 12.

<sup>25</sup> Vgl. Köhn, E. (2019).

<sup>26</sup> Lasch, R. (2018), S. 458.

Kooperationen entlang der Wertschöpfungskette sind daher eine wesentliche Voraussetzung, um Rücknahmesysteme erfolgreich zu installieren.

### 3.3 Zusammenfassung

Unternehmen, die keiner rechtlichen Motivation unterliegen, installieren Rücknahmesysteme aus einer ökonomischen und ökologischen Motivation heraus. Die sogenannten freiwilligen Rücknahmesysteme können unternehmensspezifisch oder aber in Unternehmensinitiativen bzw. Unternehmenskollektiven durchgeführt werden. Für die erfolgreiche Gestaltung eines Rücknahmesystems müssen im Wesentlichen die Faktoren der Produkt- und Materialeigenschaften, das hinter dem Rücknahmesystem liegende Geschäftsmodell, die Wirtschaftlichkeit und die ökologischen Effekte entlang des gesamten Lebenswegs analysiert und betrachtet werden.

Im Rahmen der Studie wird der Fokus auf unternehmensspezifische und kollektive, freiwillige Rücknahmesysteme im B2B-Bereich gelegt. Dazu werden nachfolgend die oben genannten Faktoren näher beleuchtet und ein Leitfaden zur initialen, orientierenden Bewertung der Umsetzung eines Rücknahmesystems erstellt.

## 4 KRITERIEN FÜR DIE EINFÜHRUNG FREIWILLIGER RÜCKNAHMESYSTEME

Die Entwicklung und Einführung eines freiwilligen Rücknahmesystems im B2B-Bereich ist ein komplexes Unterfangen. Bei der Planung und Umsetzung sind bspw. technische, marktwirtschaftliche, logistische und ökologische Aspekte sowie rechtliche Anforderungen zu beachten. Um Unternehmen hierbei zu unterstützen, werden im Folgenden Kriterien zu den in Kapitel 3 identifizierten, übergeordneten Einflussfaktoren der Produkt- und Materialeigenschaften (PM), der hinter den Rücknahmesystemen liegenden Geschäftsmodelle (GM), der Wirtschaftlichkeit (W) und den ökologischen Effekten (ÖE) zusammengestellt und beschrieben (vgl. Kapitel 4.1 bis 4.4). Diese werden im Rahmen der vorliegenden Studie entsprechend ihrer Chronologie als Planungsphasen definiert (vgl. Abbildung 1).

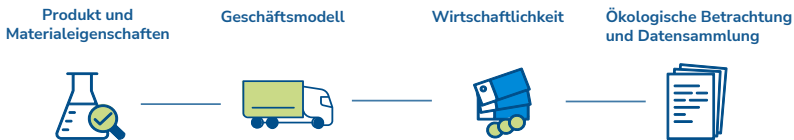


Abbildung 1: Phasen in der Planung eines Rücknahmesystems<sup>27</sup>

Die Aggregation und Beschreibung der darunterfallenden Kriterien erfolgte durch einen iterativen Prozess zwischen Literaturrecherche und Experteninterviews mit bestehenden Rücknahmesystemen im B2B-Bereich (vgl. Anhang). Tabelle 3 gibt einen initialen Überblick über die zusammengetragenen Kriterien je Planungsphase. Diese wurden in einen Excel®-basierten Leitfaden überführt, der die Herangehensweise an die Installation von Rücknahmesystemen in strukturierter, komprimierter und chronologischer Form beschreibt. Der Leitfaden ist dem Bericht als separate Datei beigelegt und unter dem Link [www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/](http://www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/) abrufbar ist. Die Abkürzungen für die einzelnen

<sup>27</sup> Eigene Darstellung.



Kriterien je Planungsphase (PM-xx, GM-xx, W-xx und ÖE-xx) entsprechen dabei der Nummerierung im Leitfaden. Dieser ist als initialer Aufschlag zu verstehen. Es ist zu empfehlen, diesen kontinuierlich weiterzuentwickeln und entsprechend den aktuellen und künftigen Entwicklungen hin zu einer zirkulären Wirtschaft anzupassen.

Tabelle 3: Übersicht über Kriterien je Planungsphase

Eigenschaften Produkt/ Material (PM)	Gestaltung des Geschäftsmodells (GM)	Wirtschaftlichkeit (W)	Ökologische Effekte (ÖE)
<p><b>Produkteigenschaften (4.1.1)</b>                      PM-01: Abfallbezeichnung                      PM-02: Eignung Reparatur                      PM-03: Eignung Refurbishing                      PM-04: Eignung Remanufacturing                      PM-05: Eignung Recycling</p> <p><b>Materialeigenschaften (4.1.2):</b>                      PM-06: Zusammensetzung Abfallstrom                      PM-07: Verunreinigung Abfallstrom</p> <p><b>Stoffeigenschaften (4.1.3)</b>                      PM-08: Gefährliche Stoffe</p>	<p><b>Inhouse und Vergabe (4.2.1)</b>                      GM-01: Inhouse                      GM-02: Vergabe</p> <p><b>Eigenschaften Stoffstrom (4.2.2)</b>                      GM-03: Anfallstellen                      GM-04: Rücknahmemengen                      GM-05: Vorbehandlung                      GM-06: Absatzmarkt                      GM-07: Annahmekriterien</p> <p><b>Ausgestaltung Kooperationen (4.2.3)</b>                      GM-08: Kooperationsbereitschaft                      GM-09: Kooperationsanreize</p> <p><b>Logistik (4.2.4)</b>                      GM-10: Rücknahme an Anfallstellen                      GM-11: Rechtliche Anforderungen                      GM-12: Sammel- und Transportrouten</p>	<p><b>Potenzielle Aufwände (4.3.1)</b>                      W-01: Kosten Reparatur                      W-02: Kosten Refurbishing                      W-03: Kosten Remanufacturing                      W-04: Kosten Recycling                      W-05: Kosten Vorbehandlung                      W-06: Kosten Sammlung /Transport</p> <p><b>Positive ökonomische Effekte (4.3.2)</b>                      W-07: Vermarktung refurbisierter Produkte                      W-08: Vermarktung wiederaufbereiteter Produkte                      W-09: Vermarktung von Stoffströmen für Recycling                      W-10: Einsparungen Material                      W-11: Einsparung von Entsorgungskosten                      W-12: Wettbewerbsvorteile</p>	<p><b>Wirkungskategorien (4.4.1)</b>                      ÖE-01: Mehrere Wirkungskategorien                      ÖE-02: Einzelne Umweltindikatoren</p> <p><b>Lebenszyklusanalyse (4.4.2)</b>                      ÖE-03: Festlegung von Ziel und Untersuchungsrahmen                      ÖE-04: Sachbilanz                      ÖE-05: Wirkungsabschätzung                      ÖE-06: Auswertung</p>

## 4.1 Produkt- und Materialeigenschaften (PM)

Die Art, der Zustand und die Eigenschaften von zurückzunehmenden Produkten und Materialien entscheiden über die folgende Zuweisung zu den R-Strategien. Damit wird direkt die Gestaltung des Geschäftsmodells beeinflusst.

### 4.1.1 Produkteigenschaften

Die Analyse des für die Rücknahme vorgesehenen Produkt- und Materialstroms umfasst zunächst die Einstufung dieser zu der entsprechenden Abfallschlüsselnummer nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV). Folgend kann die Installation eines Rücknahmesystems abgewogen werden, indem potenzielle R-Strategien für die Behandlung des Produkt- und Materialstroms betrachtet werden. Hierbei ist zu prüfen, ob mehrere R-Strategien potenziell in Frage kommen. Gemäß der Abfallhierarchie<sup>28</sup> nach § 6 des KrWG sollte dabei der Vermeidung (R0 bis R3) Vorrang vor der Vorbereitung zur Wiederverwendung (R4 bis R7) und letztere Vorrang vor dem Recycling (R8) gegeben werden. Entsprechend sollten Unternehmen ein Rücknahmesystem bei entsprechender Erfüllung der Produkteigenschaften, insbesondere für die Vorbereitung zur Wiederverwendung (R4 bis R7), auslegen. Bei der ausschließlichen Eignung für ein Recycling rücken Betrachtungen der Material- und Stoffzusammensetzung in den Fokus, die in Abschnitt 4.1.2 und 4.1.3 beschrieben werden.

### **Bezeichnung und Einstufung der Abfälle zu einer der Abfallschlüsselnummern nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV) (PM-01)**

Die Bezeichnung und Einstufung der Abfälle zu einer Abfallschlüsselnummer nach AVV ist entscheidend für die Installation eines Rücknahmesystems. Die Abfallarten im Abfallverzeichnis, deren Abfallschlüssel mit einem Sternchen (\*) versehen sind, sind gefährlich im Sinne des § 48, KrWG. So gelten für als gefährlich eingestufte Abfälle besondere Regelungen für Sammlung, Transport, Lagerung, und Abfallbehandlung, die die

---

<sup>28</sup> Vgl. § 6, Absatz 1, KrWG.

Einführung eines Rücknahmesystems erschweren und dazu führen können, dass ein solches nicht wirtschaftlich ist (vgl. Kapitel 4.2.4). Sofern ein Abfallerzeuger mit der Einstufung als gefährlicher Abfall nicht übereinstimmt und die gefährlichen Eigenschaften widerlegen kann, kann eine Einstufung eines Abfallstroms als gefährlicher Abfall bei den zuständigen Behörden laut § 3 der AVV durch Erbringung entsprechender Nachweise des Abfallbesitzers auch revidiert werden.

### **Eignung für die Reparatur (PM-02)**

Liegen die zurückzunehmenden Produkte in gebrauchsfähiger Qualität mit kleineren Defekten vor, bietet sich die Reparatur als R-Strategie an. Die Reparatureignung hängt hierbei von der technischen und der ökonomischen Machbarkeit ab, die es zu prüfen gilt. Faktoren, die eine Reparatur begünstigen, sind u. a. ein hoher Marktwert des Produkts, eine einfache Zerlegbarkeit, ein geringer Zeitaufwand für die Reparatur oder die gesicherte Verfügbarkeit von Ersatzteilen. Akteure, die eine Reparatur durchführen, können u. a. Hersteller, Reparaturbetriebe, oder weitere Service-dienstleistende sein.

### **Design-for-Circularity**

Die Reparierbarkeit kann durch ein zirkuläres Produktdesign gefördert werden. Die europäische Norm EN 45554:2020<sup>29</sup> legt Schritte für eine „Reparierbarkeitsprüfung“ von energieverbrauchsrelevanten Produkten, beispielsweise von Elektro- und Elektronikgeräten, fest. Hersteller können dadurch die Reparierbarkeit der Produkte überprüfen und verbessern. Für bestimmte Produkte bestehen ebenfalls Anforderungen an die Reparierbarkeit aus der Ökodesign-Verordnung für nachhaltige Produkte (Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR))<sup>30</sup> und der Richtlinie zum „Recht auf Reparatur“<sup>31</sup> auf EU-Ebene.

---

<sup>29</sup> Vgl. DIN EN 45554:2020.

<sup>30</sup> Vgl. Verordnung (EU) 2024/1781.

<sup>31</sup> Vgl. Richtlinie (EU) 2024/1799.

**Eignung für das Refurbishing (PM-03)**

Liegen die zurückzunehmenden Produkte in gebrauchsfähiger Qualität vor, deren Instandsetzung über die Aufwände einer Reparatur hinausgehen, ist die Eignung auf ein Refurbishment zu prüfen. Diese umfasst - abhängig von der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit - eine Reinigung, Softwareüberholung (falls vorhanden) und Reparatur. Können die Produkte aufgewertet werden und liegen in einer Qualität vor, die nahezu der Originalqualität entspricht, ist eine Veräußerung dieser zu einem im Vergleich zu Neuprodukten geringeren möglich.<sup>32</sup> Akteure, die eine Refurbishing durchführen, können u. a. Hersteller, Reparatur-, Demontage- und Aufarbeitungsbetriebe, oder weitere Servicedienstleistende sein.

**Eignung für das Remanufacturing (PM-04)**

Liegen die zurückzunehmenden Produkte in gebrauchsfähiger Qualität vor, geht die Wiederaufarbeitung über die Aufwände eines Refurbishings hinaus, sodass die Eignung auf ein Remanufacturing zunächst zu prüfen ist. Liegt eine Eignung vor, ist die technische und wirtschaftliche Machbarkeit eines standardisierten industriellen Prozesses zu prüfen. Hierbei durchlaufen die Produkte eine Demontage, eine Reinigung, eine Prüfung/ Diagnose, eine Aufarbeitung und eine Remontage. Mit der abschließenden Endprüfung des Produktes können diese mit mindestens der Qualität eines Neuproduktes wieder auf den Markt gebracht werden.<sup>33</sup> Für die Investition in die Installation eines standardisierten industriellen Prozesses ist eine konstante Rücklaufmenge an Produkten für die Wirtschaftlichkeit des Prozesses wesentlich (vgl. GM-04). Akteure, die ein Remanufacturing durchführen, können Hersteller, extern beauftragte Remanufacturing-Betriebe oder unabhängige Remanufacturing-Betriebe sein.

---

<sup>32</sup> Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2024).

<sup>33</sup> Vgl. Lange, U. (2017), S. 9.

### Weiterführende Literatur zum Thema Remanufacturing

Die Kurzanalyse „Ressourceneffizienz durch Remanufacturing – Industrielle Aufarbeitung von Altteilen“ bietet einen Überblick über Prozessschritte, Akteure, und den rechtlichen Rahmen zum Remanufacturing von Produkten. Zudem nennt die Studie technische und strategische Elemente für ein Design for Remanufacturing (DfRem) und bietet Praxisbeispiele.<sup>34</sup> Weiterhin ermöglicht eine Bewertungsmatrix eine initiale Überprüfung einer Produkteignung auf Remanufacturing.<sup>35</sup>

Zum Thema Remanufacturing, hat der DIN e. V. mit der Norm DIN EN 45553:2020-11 ein „Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Wiederaufarbeitbarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte“ erarbeitet. Zu finden ist die Norm sowie weitere Normen im Bereich der R-Strategien auf der Seite des DIN.<sup>36</sup>

### Eignung für das Recycling (PM-05)

Können die zurückzunehmenden Produkte keiner der zuvor genannten Strategien wirtschaftlich und technologisch zugeführt werden, ist eine Eignung zum Recycling zu prüfen. Die Bewertung der Recyclingfähigkeit hängt direkt von der zurückzunehmenden Produktgruppe ab. Hier gilt, je sortenreiner und modularer das Produkt bzw. der Materialstrom vorliegt, desto effizienter kann ein Recycling durchgeführt werden.<sup>37</sup> Je komplexer sich ein Produkt gestaltet, desto höher ist der Aufwand, sortenreine Materialströme durch eine adäquate Demontage oder Trennung zu erzeugen, die nachfolgend einem Recycling zugeführt werden können (vgl. Kapitel 4.1.2). Komplexere Produkte eignen sich daher – unter der Voraussetzung eines vorliegenden Design for Circularity – eher für die R-Strategien R4 bis R7. Materialströme, die aus der Industrie stammen, liegen oftmals

---

<sup>34</sup> Vgl. Lange, U. (2017).

<sup>35</sup> Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2022).

<sup>36</sup> Vgl. DIN e.V. (2025).

<sup>37</sup> Vgl. Löw, C. et al. (2021), S. 9ff.

sortenrein vor und eignen sich für ein Recycling (R8). Hier können Recyclingrouten wie das Kunststoffrecycling, das Metall- und Seltene Erden-Recycling, das Glasrecycling oder das Baustoffrecycling in Betracht gezogen werden.

### **Weiterführende Literatur zur Bewertung der Recyclingfähigkeit**

Zum Thema Recyclingfähigkeit, hat der DIN e. V. mit der Norm DIN EN 45555:2020-04 ein „Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte“ erarbeitet.<sup>38</sup>

## **4.1.2 Materialeigenschaften**

Anknüpfend an die Eignung für das Recycling, werden Eigenschaften von Materialströmen betrachtet, die für ein Recycling vorgesehen sind.

### **Zusammensetzung von Abfallströmen (PM-06)**

Abfallströme können sortenrein oder in Gemischen anfallen. Insbesondere für heterogene Abfallströme ist eine wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Trennung und Sortierung dem Recycling vorzuschalten. Die Sortenreinheit hat Einfluss auf die Qualität der über das Recycling erzeugten Rezyklate. Je höher die Sortenreinheit, desto höher ist die Qualität der Rezyklate. Dies hat einen direkten Einfluss auf den Absatzmarkt und die erzielbaren Preise für das resultierende Rezyklat. Eine Kenntnis über die Zusammensetzung der Abfallströme ist daher erforderlich. Freiwillige Rücknahmesysteme sind folglich insbesondere für sortenrein anfallende Materialströme wirtschaftlich und ökologisch empfehlenswert.

### **Verunreinigungen von Abfallströmen (PM-07)**

Es ist zu prüfen, ob Verunreinigungen durch die Nutzung der Produkte und Materialien bzw. des Abfallstroms vorliegen. Diese haben einen Einfluss auf die Einstufung des Abfalls nach AVV als gefährlicher oder

---

<sup>38</sup> Vgl. DIN EN 45555:2020-04.

ungefährlicher Abfall (vgl. PM-01). Bei Verunreinigungen mit gefährlichen Stoffen<sup>39</sup>, ist davon auszugehen, dass der gesamte Abfallstrom als gefährlich einzustufen ist. Beispiele hierfür sind Fensterrahmen mit anhaftender Dichtungsmasse, die mit polychlorierten Biphenylen (PCB) versetzt ist.

Verunreinigungen – auch nicht gefährliche – können Einfluss auf die Vorbehandlung und Behandlung des Abfallstroms haben. Es können daher Reinigungen der Produkte und Materialien bzw. des Abfallstroms an der Anfallstelle verlangt werden. So wird sichergestellt, dass die Qualität der zu erzeugenden Rezyklate durch Anhaftungen nicht gemindert wird. Informationen zu möglichen vorliegenden Verunreinigungen sollten daher vorliegen bzw. erhoben werden.

### 4.1.3 Stoffeigenschaften

Stoffeigenschaften betrachten, im Gegensatz zu Materialeigenschaften, einzelne Stoffe innerhalb des Abfallstroms. „Stoff“ wird nach Artikel 3, Nr. 1 der Verordnung 1907/2006 (REACH-Verordnung) als „chemisches Element und seine Verbindungen in natürlicher Form oder gewonnen durch ein Herstellungsverfahren, einschließlich der zur Wahrung seiner Stabilität notwendigen Zusatzstoffe und der durch das angewandte Verfahren bedingten Verunreinigungen, aber mit Ausnahme von Lösungsmitteln, die von dem Stoff ohne Beeinträchtigung seiner Stabilität und ohne Änderung seiner Zusammensetzung abgetrennt werden können“<sup>40</sup>, definiert. Insbesondere recyclingrelevante, umweltkritische und gefährliche Stoffe sind hier von Bedeutung.

#### **Recyclingrelevante, umweltkritische und gefährliche Stoffe (ggf. mit gesetzlicher Restriktion bei Wieder-Inverkehrbringung) (PM-08)**

Für Stoffe, die durch Recycling aus Abfall zurückgewonnen werden, gelten besondere Regelungen im Chemikalienrecht. So unterliegen aus Abfällen

---

<sup>39</sup> Von als gefährlich eingestuften Stoffen wird angenommen, dass sie eine oder mehrere Eigenschaften aufweisen, die in Anhang III der Richtlinie 2008/98/EG aufgeführt sind.

<sup>40</sup> Artikel 3, Nr. 1, Verordnung (EG) Nr. 1907/2006.

zurückgewonnene Stoffe und Gemische der REACH-Verordnung. Allerdings können Erzeuger von recycelten Materialien mit gefährlichen Stoffen durch das Recycling-Privileg nach Artikel 2, Absatz 7d REACH-Verordnung unter bestimmten Bedingungen von der Pflicht zur Registrierung, Bewertung und Zulassung befreit werden.

Für die Inanspruchnahme des Recyclingprivilegs müssen Recycler entsprechende Informationen zu zurückgewonnenen Stoffen und Gemischen vorhalten, die belegen, dass diese identisch mit bereits registrierten Stoffen sind. Recyclingunternehmen müssen ebenfalls Informationen nach Artikel 31 (Anforderungen an Sicherheitsdatenblätter) und 32 (Informationspflicht gegenüber den nachgeschalteten Akteuren der Lieferkette) zu den zurückgewonnenen Stoffen vorhalten.

Auch wenn keine rechtliche Verpflichtung bei den Anfallstellen zur Mitteilung von Informationen zur Zusammensetzung der Abfälle an andere Akteure besteht, sollte die Möglichkeit geprüft werden, diese Informationen zu enthaltenen Stoffen bzw. die Sicherheitsdatenblätter zu enthaltenen Stoffen wie bspw. persistente und bioakkumulierende und toxische Stoffe (PBT) etc. an Recyclingunternehmen zu transferieren. Dies gewährleistet einen reibungslosen und transparenten Ablauf und ermöglicht den Recyclingunternehmen, ihren Pflichten nach Artikel 31 und 32 der REACH-Verordnung nachzukommen und ggf. vom Recycling-Privileg Gebrauch zu machen.

## **4.2 Gestaltung des Geschäftsmodells (GM)**

Entsprechend der Art und des Zustands des Produkt- und Materialstroms und der festgelegten Anwendung einer R-Strategie (vgl. Kapitel 4.1.1) ist das hinter dem Rücknahmesystem liegende Geschäftsmodell zu gestalten. Maßgebliche Faktoren, die das Geschäftsmodell bestimmen sind die Entscheidung einer Durchführung der festgelegten R-Strategie inhouse oder über eine Vergabe an externe Unternehmen (vgl. Kapitel 4.2.1), die Analyse und Gestaltung des Stoffstroms (vgl. Kapitel 4.2.2), notwendige Kooperationen (vgl. Kapitel 4.2.3) und die Logistik (vgl. Kapitel 4.2.4).



### 4.2.1 Inhouse und Vergabe

Nach Feststellung der Eignung für eine R-Strategie ist zu bestimmen, wer diese durchführt. So liegt die Entscheidung zwischen der Durchführung im eigenen Unternehmen (Inhouse) oder der Vergabe an externe Unternehmen.

#### **Inhouse (GM-01)**

Es ist zu prüfen, ob die jeweilige R-Strategie im eigenen Unternehmen durchführbar ist. Insbesondere über die Reparatur, das Refurbishing oder das Remanufacturing können Unternehmen den Kundinnen und Kunden eine breitere Palette an Produkten und Dienstleistungen mit einer größeren Preisflexibilität anbieten. Vorteilig ist ebenso, dass das Produktdesign und die Ersatzteilverfügbarkeit bekannt ist, sodass die jeweilige R-Strategie effizient umgesetzt werden kann.<sup>41</sup> Zu beachten sind hierbei die notwendigen Investitionen in die Bereitstellung der technischen Ausrüstung und der Personalkapazitäten für die R-Strategien R4-R8. Insbesondere das Recycling benötigt i. d. R. komplexe Anlagenstrukturen, die mit hohen Investitionen und Mindestannahmengen zum wirtschaftlichen Betrieb der Anlagen verbunden sind. Im Falle eines geplanten Recyclings ist es – je nach Unternehmensgröße und verfügbarer Mengen – daher zu empfehlen, eine Auslagerung der Verwertung an entsprechende Recyclingunternehmen vorzunehmen.

#### **Vergabe (GM-02)**

Ist eine Durchführung der jeweiligen R-Strategie im Unternehmen nicht möglich, können externe Unternehmen entweder vertragsbasiert beauftragt werden oder entsprechende Materialströme und Produkte an diese veräußert werden. Bei Produkten, die einer Reparatur (R4), einem Refurbishing (R5) oder einem Remanufacturing (R6) unterliegen, verbleibt der Besitz der Produkte bei einer vertragsbasierten Beauftragung beim beauftragenden Unternehmen. Auch hier ist es möglich – nach Erhalt der

---

<sup>41</sup> Vgl. Sundin, E. et. al. (2008), S. 538 in Lange, U. (2017), S. 16.

reparierten bzw. (wieder)aufgearbeiteten Produkte – eine höhere Preisflexibilität für eine breitere Produktpalette anzubieten. Wichtig ist es, dem extern beauftragten Unternehmen notwendige Informationen zum Produktdesign, Überprüfungspezifika und Ersatzteilen zur Verfügung zu stellen.<sup>42</sup> Im Falle eines vorgesehenen Recyclings, sind entsprechende Recyclingunternehmen zu identifizieren, mit denen die Recyclingfähigkeit des Materialstroms abzustimmen ist. Hierbei sind u. a. Informationen, wie in Abschnitt 4.1.2 und 4.1.3 dargestellt, vorzuhalten und erforderliche Annahmekriterien (vgl. GM-07) abzustimmen.

#### **4.2.2 Analyse und Gestaltung des Stoffstroms**

Die erfolgreiche Umsetzung eines Rücknahmesystems hängt in erster Linie von den Anfallstellen, den verfügbaren Rücknahmemengen und -Qualitäten, den vorhandenen Absatzmärkten für Produkte und Materialien, die eine der R-Strategien durchlaufen haben, und den Annahmekriterien von externen Unternehmen, die die R-Strategien durchführen, ab.

##### **Identifizierung von Anfallstellen (GM-03)**

In Kapitel 3.1.3 sind übergeordnet mögliche Anfallstellen von zurückzunehmenden Produkten und Materialien aufgeführt. Typische Anfallstellen von zurückzunehmenden Produkten und Materialien liegen bei den direkten Kundinnen und Kunden des Unternehmens oder wiederum bei deren Kundinnen und Kunden. Hier ist eine Betrachtung der nachgelagerten Wertschöpfungskette notwendig, um die Produkt- und Materialwege nachzuverfolgen. Es ist für die Installation eines Rücknahmesystems daher wichtig, in einen Austausch mit den Kundinnen und Kunden zu gehen, und zu erheben, welche Mengen in welchen Qualitäten anfallen und welchen aktuellen Verwertungsweg diese durchlaufen (vgl. Kapitel 4.2.3).

---

<sup>42</sup> Vgl. Sundin, E. et. al. (2008), S. 539 in Lange, U. (2017), S. 16f.

### **Konstante Rücknahmemengen und Qualitäten (GM-04)**

Die kontinuierliche Bereitstellung von Rücknahmemengen über die Zeit in möglichst gleichbleibender Qualität ist ausschlaggebend für eine wirtschaftlich planbare Auslastung des Rücknahmesystems.<sup>43</sup> Hier ist zu überprüfen, in welchen Mengen und Qualitäten die Produkte oder Materialien an welchen Anfallstellen auftreten. So erschwert eine gering verfügbare Menge die Rückgabelogistik (vgl. Kapitel 4.2.4). Deutlich schwankende Qualitäten der zurückzunehmenden Produkte und Materialien erschweren die wirtschaftliche Durchführung der jeweiligen R-Strategien (vgl. Kapitel 4.3). Um die Rücknahmemengen insbesondere für Produkte zur Reparatur, zum Refurbishing oder zum Remanufacturing zu erhöhen, können verschiedene Strategien umgesetzt werden:<sup>44</sup>

- Eigentumsbasierte Rücknahme, durch bspw. Leasing- und Mietmodelle oder über ein Pfand;
- Rücknahme auf Basis eines Servicevertrags;
- Angebot von Auftragsdienstleistungen der Reparatur, des Refurbishing oder des Remanufacturing;
- Rückgabe eines alten Produktes beim Kauf eines neuen Produktes (1:1-Rücknahme);
- Ankauf von alten Produkten.

### **Durchführung einer potenziellen Vorbehandlung (GM-05)**

Vor der Abholung der Produkte und Materialien bzw. der Abfälle ist zu prüfen, ob eine Vorbehandlung dieser erforderlich ist. Mögliche Vorbehandlungsschritte können die Reinigung, Sortierung, Komprimierung oder Zerkleinerung sein, welche u. a. abhängig von den physischen Eigenschaften der Produkte und Materialien (vgl. Kapitel 4.1), den Annahmekriterien der Abnehmer (vgl. Kapitel 4.2.3) und den Transportanforderungen (vgl. Kapitel 4.2.4) sind. Zudem ist zu prüfen, durch welchen Akteur eine

---

<sup>43</sup> Vgl. Guide, V.D.R. und Wassenhove, L.N. (2009), S. 12 in Lange, U. (2017), S. 26.

<sup>44</sup> Vgl. Östlin, J. et al. (2009) in Sundin, E. et. al. (2016), S. 18. In Lange, U. (2017), S. 27.

Vorbehandlung durchführbar ist. Diese kann beispielsweise direkt an der Anfallstelle, im eigenen Unternehmen oder in einer separaten Behandlungsanlage erfolgen.

### **Analyse des Absatzmarktes (GM-06)**

Die Analyse des Absatzmarktes erfolgt in Abhängigkeit der Durchführung der jeweiligen R-Strategie im eigenen Unternehmen oder über ein externes Unternehmen (vgl. Kapitel 4.2.1). Grundsätzlich sind jeweils die Rahmenbedingungen der Marktentwicklungen zu beobachten und etwaige Unsicherheiten oder Potenziale zu identifizieren, um auf mögliche Änderungen flexibel reagieren zu können.

Soll die Durchführung der R-Strategie im eigenen Unternehmen stattfinden, ist der Absatzmarkt für die zurückzunehmenden Produkte und Materialien zu überprüfen. Hier führt eine existierende Marktsättigung oder Marktübersättigung dazu, dass die Nachfrage nach den reparierten oder (wieder-)aufgearbeiteten Produkten sinkt und eine Vermarktung dieser erschwert wird. Zudem ist zu prüfen, ob das Angebot der reparierten oder (wieder-)aufgearbeiteten Produkte zu einem Produktkannibalismus im Unternehmen führt, wobei die Marktanteilsgewinne durch diese zu Lasten von Marktanteilsgewinnen von Neuprodukten desselben Unternehmens gehen. Wichtig ist es zudem, Vermarktungs- und Vertriebskanäle aufzubauen und kontinuierlich weiterzuentwickeln – auch international.<sup>45</sup> Soll ein externes Unternehmen mit der Durchführung der jeweiligen R-Strategie beauftragt werden, gelten die gleichen Anforderungen, wenn der Produktbesitz beim beauftragenden Unternehmen verbleibt.

Sollen die Produkte und Materialien an ein externes Unternehmen übergeben werden, sind in Abhängigkeit der gewählten R-Strategie die potenziell abnehmenden Unternehmen zu identifizieren und deren Annahmekriterien zu beachten (vgl. GM-07).

---

<sup>45</sup> Vgl. Lange, U. (2017), S 25.

**Annahmekriterien von Abnehmenden (GM-07)**

Entscheidet sich ein Unternehmen für eine externe Vergabe (vgl. GM-02) bei der Durchführung der entsprechenden R-Strategien, so sollte eine genaue Absprache und Betrachtung der Annahmekriterien der Abnehmenden beziehungsweise der nachgeschalteten Akteure durchgeführt werden. Wurden z. B. bei der Entscheidung für ein Recycling (R8) entsprechende Recyclingunternehmen recherchiert, so sind beispielsweise Materialzusammensetzung, Sortenreinheit, Verschmutzungsgrad, Mindestabnahmemengen, etc. mit diesen abzusprechen und die Logistik der Rücknahme (vgl. Kapitel 4.2.4) entsprechend darauf auszurichten.

**Praxis-Beispiel: Recherche von Recyclingunternehmen**

In der Planungsphase eines potenziellen Rücknahmesystems für modulare Kunststoff-Förderbänder hat das Unternehmen Habasit eine Liste möglicher mechanischer und chemischer Recyclingunternehmen und deren Prozessschritte, Standorte, sowie Annahmekriterien, inklusive Mindestannahmemengen, erstellt. Basierend auf Gesprächen mit den Recyclingunternehmen wurde anschließend anhand eines Scoringsystems bewertet, wie gut die Recyclingunternehmen zu den Zielen bzw. für die Zwecke des potenziellen Rücknahmesystems passen. Die Recyclingunternehmen mit den höchsten Scores wurden weiterverfolgt, um die Details einer Kooperation zu erarbeiten. Aus einer Liste von ca. 100 Unternehmen konnten somit drei Recyclingunternehmen ausgewählt werden, die sich für eine Kooperation als am geeignetsten erwiesen<sup>46</sup>.

**4.2.3 Ausgestaltung von Kooperationen**

Für ein funktionierendes Rücknahmesystem ist der Austausch und die Kooperation in der Lieferkette, mit wichtigen Akteuren, Erfahrungsträgern und mit den potenziellen Abnehmenden essentiell.<sup>47</sup> Besonderes

---

<sup>46</sup> Unterlagen der Habasit AG, geteilt am 08.05.2024.

<sup>47</sup> Lasch, R. (2018), S. 458.

Augenmerk sollte hierzu auf die Kooperationsbereitschaft der Kundinnen und Kunden bzw. Anfallstellen der zurückzunehmenden Produkte und Materialien gesetzt werden und mögliche Anreize für die Rückgabebereitschaft dieser evaluiert werden. Zudem sollten die Annahmekriterien potenzieller Abnehmender (vgl. GM-07), insbesondere bei der Weitergabe in ein Recycling, analysiert werden.

### **Potenzielle Aufwände bei der Sammlung bei Anfallstellen (GM-08)**

Die Kooperationsbereitschaft der Anfallstellen der Produkte und Materialien ist ein entscheidender Punkt in der Entwicklung eines Rücknahmesystems. Um diese zu erhöhen, ist es wichtig, mögliche finanzielle und organisatorische Aufwände, die bei den Anfallstellen auftreten, zu beachten. Diese können im Vergleich zur aktuell durchgeführten Praxis gegebenenfalls höher ausfallen und sollten bei den Anfallstellen analysiert und durchgesprochen werden. Mögliche Belastungen können u. a. sein:

- Getrennte Erfassung der Produkte und Materialien;
- vorzuhaltende Lagerkapazitäten;
- notwendige Vorbehandlungsschritte, wie bspw. die Reinigung;
- Stellung von erforderlichen Transportverpackungen;
- zusätzliche Logistik- und Zeitaufwände für die Verladung der Produkte und Materialien zum Transport;
- und mit den genannten organisatorischen Aufwänden verbundene Kosten.

### **Kooperationsanreize für Anfallstellen (GM-09)**

Um die genannten potenziellen zusätzlichen Aufwände bei den Anfallstellen zu begrenzen, können Anreize für eine Steigerung der Kooperationsbereitschaft bei den Anfallstellen gesetzt werden. Dies können u. a. sein:

- Einfache Durchführung und guter Service: Rücknahmesysteme dürfen bei den Anfallstellen keinen erhöhten Mehraufwand generieren, sondern sollten möglichst einfach in alltägliche Prozesse integrierbar und

selbsterklärend sein.<sup>48</sup> Zudem sollte bei den Anfallstellen ein verlässlicher Service angeboten werden, der im Fall von auftretenden technischen Hürden oder Fragen zu Verfügung steht.

- **Wirtschaftlichkeit:** Gemäß Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) müssen Unternehmen Abfälle getrennt sammeln, solange dies wirtschaftlich zumutbar ist. Hierbei gilt eine wirtschaftliche Unzumutbarkeit erst, wenn bei der Betrachtung aller Kosten (Behandlung, Transport etc.) die Kosten der Behandlung die einer energetischen Verwertung um 100 Prozent übersteigen.<sup>49</sup> Bei der Kooperation bzw. der Rückgabe der Produkte und Materialien ist zu prüfen, ob die Kosten bei der Anfallstelle gegebenenfalls durch die Teilnahme am Rücknahmesystem gesenkt werden können.
- **Nachhaltigkeitsmarketing für Anfallstellen:** Es ist zu prüfen, ob die Teilnahme am Rücknahmesystem auf das Nachhaltigkeitsmarketing des Unternehmens bzw. der Anfallstelle einzahlt. Dies kann bspw. die Kommunikation von potenziellen CO<sub>2</sub>-Einsparungen, Ressourceneinsparungen etc. gegenüber Kundinnen und Kunden umfassen. Dies setzt eine Kooperation bezüglich der Datenbereitstellung für die Erstellung einer Ökobilanzierung oder eines Carbon Footprints (PCF), etc. voraus (vgl. Kapitel 4.4).

## 4.2.4 Logistik

Die Distributionslogistik kann in einer Kreislaufwirtschaft effizienter gestaltet werden. Insbesondere durch zirkuläre Geschäftsmodelle wie Product-as-a-Service aber auch durch die Entwicklungen des Digitalen Produktpasses eröffnen sich in Zukunft Potenziale die dahinterliegende Logistik weiterzuentwickeln und entsprechend Sammelfahrten zu konzentrieren und Leerfahrten zu verringern (vgl. Kapitel 3.2.2).<sup>50</sup> Die Logistik für die Rücknahmesysteme umfasst dabei alle Schritte der Sammlung und des

---

<sup>48</sup> Vgl. Hallmann, U. und Jäger, F. (2010), S. 112.

<sup>49</sup> Vgl. BDE (2019), S. 15.

<sup>50</sup> Vgl. Rall, B. (2019), S. 157.

Transport von der Anfallstelle bis zum Abnahmepunkt. Zu beachtende Planungskriterien für die Ausgestaltung der Logistik sind die Rücknahmelogistik an den Anfallstellen, die rechtlichen Anforderungen an die Sammlung und den Transport als auch die effiziente Planung von Sammel- und Transportrouten.

### **Rücknahmelogistik an der Anfallstelle (GM-10)**

Mit den identifizierten Anfallstellen, aber auch mit den potenziellen Abnehmern (vgl. Kapitel 4.2.2), ist die Art und Weise der Lagerung und Bereitstellung des abzuholenden Produkt- und Materialstroms abzuklären. An den Anfallstellen sind u. a. geeignete Orte für die Sammlung (innerhalb der Produktion, auf dem Werksgelände, etc.), vorhandene Lagerkapazitäten und geeignete Sammelbehälter (Gitterboxen, Containerlösungen, etc.) – auch in Abhängigkeit der Anforderungen des potenziellen Abnehmers – zu prüfen und abzustimmen sowie Verantwortliche an den Abfallfallstellen für die Durchführung zu benennen. Gemäß der Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) sind Unternehmen verpflichtet, eine getrennte Erfassung ihrer Abfälle durchzuführen, wenn es wirtschaftlich und technisch zumutbar ist (vgl. GM-09). Hier ist zu prüfen, ob die bereits vorhandene Getrennterfassung für die Sammlung genutzt werden kann.

### **Rechtliche Anforderungen an Sammlung und Transport (GM-11)**

Für die Sammlung und den Transport von Abfällen gelten innerhalb Deutschlands<sup>51</sup> umfassende rechtliche Vorgaben, u. a.:

- Gemäß Anzeige- und Erlaubnisverordnung (AbfAEV) § 7 ist eine Anzeige einer abfallwirtschaftlichen Tätigkeit in Abhängigkeit des Abfallschlüssels und der Tätigkeit bei den zuständigen Behörden zu erstatten.
- Relevante Aspekte der Anzeigeverfahren für Sammlung gemäß § 18 KrWG sind zu beachten.

---

<sup>51</sup> Für einen grenzüberschreitenden Transport gelten weitere Anforderungen, die u. a. im Abfallverbringungsgesetz (AbfVerbrG), dem Basler Übereinkommen (Basel Convention) und der Europäische Abfallverbringungsverordnung (EG-Verordnung Nr. 1013/2006) festgeschrieben sind.



- Es gilt die Beförderungserlaubnis und Anzeigepflicht nach § 53 für nicht gefährliche Abfälle, sowie nach § 54 für gefährliche Abfälle.
- Gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWgG) § 55 Abs. 1 Satz 1 besteht eine Kennzeichnungspflicht für Abfalltransporte (A-Schilder).
- Die Abfalltransportverordnung (AbfTransportV) enthält Regelungen an den innerdeutschen Transport von Abfällen sowie die entsprechenden Nachweis- und Meldepflichten.
- Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt (GGV-SEB): Die Verordnung ist die nationale Umsetzung u. a. der europäischen Verordnung über den Transport gefährlicher Güter (ADR) und enthält Vorschriften zu Verpackung, Kennzeichnung, Sicherheitsmaßnahmen und Qualifikation der Transportführenden von Abfällen.

Die gesetzlichen Anforderungen an den Abfalltransport sind je nach zu transportierendem Produkt- bzw. Materialstrom bzw. dem jeweiligen Transportziel zu analysieren. Aufgrund der Komplexität ist eine Vergabe an Akteure mit bereits vorhandenen Lizenzen gemäß geltendem Recht zu prüfen. Dies kann gegebenenfalls durch die potenziellen Abnehmenden erfolgen.

### **Planung von Sammel- und Transportrouten (GM-12)**

Die Planung von Sammel- und Transportrouten ist abhängig von der geographischen Verteilung der Anfallstellen sowie der Menge der anfallenden Produkt- und Materialströme. Wie in Abbildung 2 dargestellt, können auf Basis der geographischen Verteilung der Rücknahmestellen und der Lage von Kooperationspartnern für die weiteren Behandlungsschritte sogenannte Cluster gebildet werden, die in einer Sammeltour gemeinsam angefahren werden können, um das Transportfahrzeug auszulasten und somit die Sammlung effizienter zu gestalten.

Anhand von Informationen der Rücknahmestellen zur Menge der anfallenden Abfallströme und vorhandener Lagerkapazität können hierfür geeignete Abholfrequenzen gefunden werden.

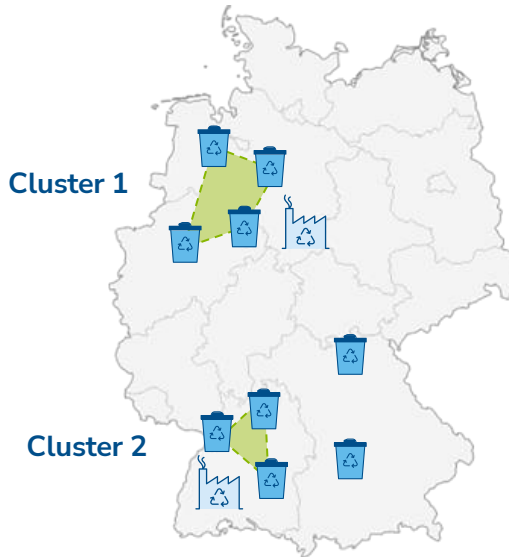


Abbildung 2: Cluster-Bildung für die Optimierung von Transport-Routen<sup>52</sup>

### 4.3 Wirtschaftlichkeit (W)

Die effiziente Gestaltung des Geschäftsmodells bestimmt die Wirtschaftlichkeit des intendierten Rücknahmesystems.<sup>53</sup> Während u. a. Organisation, Sammlung, Transport und Behandlung der Produkt- und Materialströme Kosten generieren, können Einnahmen durch den Verkauf reparierter oder (wieder-)aufbereiteter Produkte oder Rezyklate und Kosteneinsparungen gegenüber der gegenwärtigen Entsorgungspraxis erzielt werden. Zudem können eine höhere Kundenbindung, Wettbewerbsvorteile und Unabhängigkeiten von internationalen Rohstoffmärkten generiert werden.

<sup>52</sup> Deutschlandkarte: Wikimedia Commons (2006): File:Karte Bundesrepublik Deutschland.svg (online). CC BY-SA 2.0 DE, [abgerufen am 03. 02. 2025], verfügbar unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karte\\_Bundesrepublik\\_Deutschland.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karte_Bundesrepublik_Deutschland.svg).

<sup>53</sup> Vgl. Hallmann, U. und Jäger, F. (2010), S. 113.

### 4.3.1 Potenzielle Aufwände

Potenzielle Aufwände entstehen im Rücknahmesystem u. a. durch Sammlung, Transport und Behandlung, diese sind entweder extern zu vergeben oder können im eigenen Unternehmen durchgeführt werden. U. a. folgende Kosten sind entsprechend der Gestaltung des Geschäftsmodells zu betrachten:<sup>54</sup>

- Kosten für die Reparatur (W-01, vgl. PM-02)
- Kosten für das Refurbishing (W-02, vgl. PM-03)
- Kosten für das Remanufacturing (W-03, vgl. PM-04)
- Kosten für das Recycling (W-04, vgl. PM-05)
- Kosten für die Vorbehandlung (W-05, vgl. GM-05)
- Kosten für Sammlung und Transport (W-06, vgl. GM-10 bis GM-12)

Bei freiwilligen Systemen besteht keine gesetzliche Verpflichtung der Hersteller, die finanzielle oder organisatorische Last der Rücknahme und Behandlung zu übernehmen. Diese liegt grundsätzlich beim Abfallerzeugenden oder Endnutzenden. Um einen Anreiz zur Teilnahme am Rücknahmesystem für Kundinnen und Kunden zu schaffen, können diese vom Hersteller freiwillig übernommen werden. Wie die Fallstudien zu bestehenden freiwilligen Rücknahmesystemen im Anhang dieser Studie verdeutlichen, gibt es bei freiwilligen Systemen verschiedene Möglichkeiten, die Kosten für die Sammlung und Behandlung zwischen Endnutzenden/Kundinnen und Kunden und Herstellern aufzuteilen. Diese reichen von der Kostenteilung über die vollständige Kostenübernahme bis hin zur vollständigen Kostenübernahme mit Ausgabe von Gutschriften oder anderen Anreizen.

---

<sup>54</sup> Aufgrund der Komplexität von Rücknahmesystemen und den dahinterliegenden Geschäftsmodellen sind die Aufwände übergeordnet dargestellt und als nicht abschließend zu verstehen.

### 4.3.2 Positive ökonomische Effekte

Die Installation eines Rücknahmesystems kann positive ökonomische Effekte erzeugen. Hierzu zählen sowohl quantitative Einnahmen als auch qualitative ökonomische Effekte, u. a.<sup>55</sup>:

- Vermarktung refurbisheder Produkte (W-07, vgl. PM-03)
- Vermarktung wiederaufbereiteter Produkte (Remanufacturing) (W-08, vgl. PM-04)
- Vermarktung von hochwertigen bzw. sortenreinen Stoffströmen für das Recycling (W-09, vgl. PM-05)
- Einsparungen von Materialkosten mit einhergehender Unabhängigkeit von internationalen Rohstoffmärkten durch z. B. W-07, W-08 und W-09 (W-10)
- Einsparung von Entsorgungskosten bei Anfallstellen sowie einhergehender Bindung von Kundinnen und Kunden (W-11, vgl. GM-09)
- Wettbewerbsvorteile durch Marketing eines zirkulär agierenden Unternehmens, Verfolgen und Erreichen von Nachhaltigkeitszielen (vgl. Kapitel 4.4), Bindung von Kundinnen und Kunden sowie Erschließung neuer Kundschaftsegmente (W-12)

## 4.4 Ökologische Effekte (ÖE)

Die ökologischen Effekte, die durch die Umsetzung eines Rücknahmesystems entstehen, können über eine sogenannte Lebenszyklusanalyse abgeschätzt werden. Über diese Methodik können entlang des gesamten Lebenswegs – von der Rohstoffentnahme bis zum End-of-Life – einzelne Umweltwirkungen in sogenannten Wirkungskategorien quantifiziert werden, die Aufschluss über die tatsächliche Umweltwirkung des Rücknahmesystems liefern. Anhand des Praxisbeispiels industriell verwendeter

---

<sup>55</sup> Aufgrund der Komplexität von Rücknahmesystemen und dem dahinterliegenden Geschäftsmodellen sind die positiven ökonomischen Effekte übergeordnet dargestellt und als nicht abschließend zu verstehen.

Förderbänder wird die Durchführung einer Lebenszyklusanalyse für Rücknahmesysteme exemplarisch in Kapitel 5 und 6 dargestellt. Die dahinterliegende Methodik wird nachfolgend kurz erläutert.

### 4.4.1 Auswahl von Wirkungskategorien

Vor der Durchführung einer Lebenszyklusanalyse bzw. einer Ökobilanz ist festzulegen, welche Wirkungskategorien zu untersuchen sind.

#### **Betrachtung mehrerer Wirkungskategorien (ÖE-01)**

Bei einer vollständigen Ökobilanz werden mehrere Wirkungskategorien gleichwertig nebeneinander ermittelt, deren Ergebnisse im Gesamtkontext zu interpretieren sind. Dies sind u. a.:

- Klimawandel (Global Warming Potential – GWP);
- Ozonabbau (Ozone Depletion Potential – ODP);
- Versauerungspotenzial (Acidification Potential – AP);
- Überdüngungspotenzial (Eutrophication Potential – EP);
- Ozonbildungspotenzial (Photochemical Ozone Creation Potential – POCP).

#### **Betrachtung einzelner Umweltindikatoren (ÖE-02)**

Es gibt ebenfalls die Möglichkeit nur eine Wirkungskategorie zu untersuchen. Hierfür werden häufig folgende Umweltindikatoren genutzt:

- Product Carbon Footprint (PCF, z. B. nach ISO 14067);
- Wasserfußabdruck (Water Footprint, WF, z. B. nach ISO 14046);
- Kumulierter Energieaufwand (KEA, z. B. nach VDI 4800 Blatt 1).

Die genannten Indikatoren gehören zu den Controlling-Kennzahlen in Unternehmen und werden als sogenannte Key Performance Indicators (KPI) im Nachhaltigkeitsbereich von Unternehmen genutzt.<sup>56</sup>

---

<sup>56</sup> Vgl. *ecodesignkit* (2024).

**Praxis-Beispiel: Internetseite „ecodesignkit“ des Umweltbundesamtes**

Zum Thema Ökodesign von Produkten und ökologische Betrachtung von Produktsystemen, Produkten, und Materialien bietet die Website „ecodesignkit“ eine umfassende Übersicht. Hier finden sich neben erklärenden Texten zu relevanten Methodiken auch Detailbeispiele für Ökobilanzierungen.

Website: [www.ecodesignkit.de](http://www.ecodesignkit.de)

**4.4.2 Methodik der Lebenszyklusanalyse**

Eine Lebenszyklusanalyse (Umweltbilanz, Ökobilanz, Life Cycle Assessment (LCA)) ist eine umfassende Bewertungsmethode zur Ermittlung von potenziellen Umweltwirkungen von Produkten und Materialien. Die Lebenszyklusanalyse bzw. Ökobilanz ist entsprechend der Norm ISO 14040 bzw. 14044 standardisiert und besteht aus vier Phasen: der Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens (ÖE-02), der Sachbilanz (ÖE-03), einer Wirkungsabschätzung (ÖE-04) und der Auswertung (ÖE-05).<sup>57</sup>

**Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens (ÖE-03)**

Das Ziel einer Ökobilanzierung definiert die beabsichtigte Anwendung, den Grund der Durchführung, an wen sich die Ökobilanzierung richtet und in welchem öffentlichen Rahmen die Ergebnisse einer Vergleichbarkeit unterliegen können. Bei der Festlegung des Untersuchungsrahmens wird u. a. definiert, welches Produktsystem in welchen Systemgrenzen über welche Bezugsseinheit betrachtet wird.<sup>58</sup>

---

<sup>57</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040:2009. S. 15.

<sup>58</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040:2009. S. 22f.

**Erstellung der Sachbilanz (ÖE-04)**

Die Sachbilanz dient der Zusammenstellung und Quantifizierung aller Material- und Stoffströme als Inputs und Outputs eines gegebenen Produktes im Verlauf seines Lebensweges innerhalb des festgelegten Untersuchungsrahmens. Dabei werden Ströme von Roh- und Betriebsstoffen, Energie, Produkte, Abfälle, Emissionen, Einleitungen in Wasser sowie die Bodenverunreinigung ermittelt und quantifiziert.<sup>59</sup>

**Wirkungsabschätzung (ÖE-05)**

Für die Wirkungsabschätzung werden für die ausgewählten Wirkungskategorien (vgl. Kapitel 4.4.1) die jeweiligen Daten aus der Sachbilanz mit Wirkungsindikatorwerten verbunden. Diese können aus sektorübergreifenden Datenbanken (z. B. ecoinvent, GaBi, ProBas, oder die European Platform on Life Cycle Assessment (EPLCA)) oder sektorspezifischen Datenbanken (z. B. für Bauprodukte oder Kunststoffe), welche in gängigen Softwares integriert sind, entnommen werden.

**Auswertung (ÖE-06)**

In der Auswertung werden die Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung zusammengeführt und im Gesamtkontext interpretiert. Sie gelten dabei als relative Ergebnisse und geben Aufschluss über potenzielle Umweltwirkungen, über die Schlussfolgerungen und Empfehlungen abgeleitet werden können.<sup>60</sup>

---

<sup>59</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040:2009. S. 25ff.

<sup>60</sup> Vgl. DIN EN ISO 14040:2009. S. 31f.

## 5 ÖKOLOGISCHE UND ÖKONOMISCHE BEWERTUNG: UNTERSUCHUNGSRAHMEN, SACHBILANZ

Anknüpfend an die in Kapitel 4.4 beschriebene Lebenszyklusanalyse soll anhand des Praxisbeispiels produzierter Förderbänder der Firma Habasit AG eine Ökobilanz durchgeführt werden. Ziel ist es, den Lebenszyklus von drei theoretischen Szenarien – Förderbänder mit einem individuellen Rücknahmesystem, einem kollektiven Rücknahmesystem und ohne ein Rücknahmesystem – ökologisch und ökonomisch miteinander zu vergleichen. Zunächst wird das betrachtete Produktsystem beschrieben und anhand einer funktionellen Einheit quantifiziert. Anschließend werden die Systemgrenzen definiert, innerhalb derer die Analysen durchgeführt werden. Die einzelnen Analyseparameter werden vorgestellt und die Inventarisierung der Daten beschrieben. Die Ergebnisse werden in Kapitel 6 präsentiert. Die Durchführung der ökologischen und ökonomischen Bewertung stellen dabei einen eigenständigen Teil dieser Studie dar und sind auch unabhängig von Kapitel 3 und 4 lesbar.

Bei den folgend beschriebenen individuellen und kollektiven Rücknahmesystemen handelt es sich um nicht in der Praxis umgesetzte, theoretische Modellierungen (vgl. Kapitel 5.3). Für die betrachteten Förderbänder werden Primärdaten der Firma Habasit AG herangezogen, um auf die Förderbänder bezogene Material- und Energieströme zu quantifizieren (vgl. Kapitel 5.1). Diese werden mit repräsentativ für Deutschland geltenden Hintergrunddatensätzen aus der LCA-Datenbank ecoinvent<sup>61</sup>, bspw. einem deutschen Strommix, kombiniert.

---

<sup>61</sup> Vgl. ecoinvent 3.10 – Allocation, cut-off by classification (cutoff) (2010): International Life Cycle Inventory Database, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.



## 5.1 Betrachtetes Produktsystem

Bei dem betrachteten Produktsystem werden modulare Kunststoffbänder (Band-Typ M2520) der Firma Habasit AG herangezogen. Diese werden hauptsächlich in der Lebensmittelindustrie, wie z. B. Bäckereien und Fleischproduktion sowie in Distributionszentren eingesetzt. Abbildung 3 bildet den Aufbau eines modularen Kunststoffbands ab.

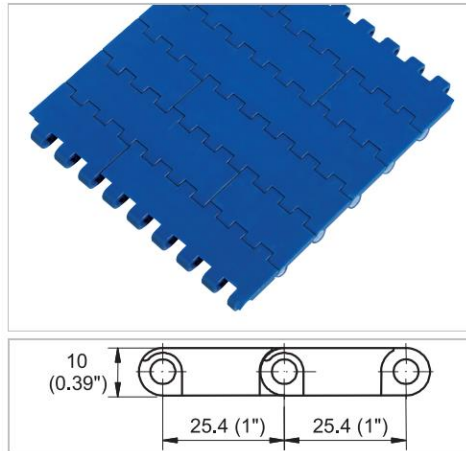


Abbildung 3: Darstellung Förderband-Modul<sup>62</sup>

Betrachtet wird ausschließlich das austauschbare Förderband, auf dem die Ware transportiert wird, nicht das Untergestell oder elektronische Teile. Es handelt sich um ein modulares Förderband, bei dem die einzelnen Module mit Gelenkstäben zusammengehalten werden. Sowohl die Module als auch die Stäbe bestehen aus Polypropylen (PP) und Polyoxymethylen (POM). Bezogen auf die Masse besteht das Förderband zu ca. 85 % aus PP, ca. 14 % aus POM und ca. 1 % aus Additiven.

Je nach Einsatzgebiet und Intensität der Nutzung kann ein Förderband nach Herstellerangaben für einige Monate bis zu ein paar Jahren eingesetzt werden.<sup>63</sup> Demnach müssen Förderbänder je nach Einsatzgebiet in

<sup>62</sup> © Habasit AG.

<sup>63</sup> Gespräch mit der Habasit AG am 09.04.2024.

regelmäßigen Zeitabständen ausgetauscht werden, wodurch ein zeitlich konstanter Abfallstrom anfällt, der über ein potenzielles Rücknahmesystem einer dezidierten R-Strategie zugeführt werden könnte. Derzeit werden gebrauchte Förderbänder in der Regel entweder verbrannt, als Ersatzbrennstoff in Zementfabriken verwendet oder deponiert. Die modularen Förderbänder eignen sich jedoch aufgrund ihrer Homogenität für ein mechanisches Recycling.<sup>64</sup>

## 5.2 Funktion und funktionelle Einheit des Produktsystems

Die Funktion eines Förderbandes ist der Transport von Gütern über eine bestimmte Strecke. Die funktionelle Einheit für die ökologische und ökonomische Bewertung ist auf 1 m<sup>2</sup> Förderband festgelegt und wird durch folgende Randbedingungen beschrieben<sup>65</sup>:

- Produktbeschreibung: modulares Förderband (vgl. Kapitel 5.1)
- Länge: 1 m
- Breite: 1 m
- Dicke: 10 mm
- Material: Polypropylen, Polyoxymethylen

## 5.3 Festlegung der Systemgrenzen

Die Systemgrenzen sind nach ISO 14044<sup>66</sup> ein Satz an Kriterien, die konkretisieren, welche Einheitsprozesse Teil des betrachteten Produktsystems sind. Es wird im ökobilanziellen Sinn ein Cradle-to-Grave – Produktsystem (Von der Wiege bis zur Bahre) betrachtet, bei dem die

---

<sup>64</sup> Gespräch mit der Habasit AG am 09.04.2024.

<sup>65</sup> Eine zeitliche Komponente ist nicht Teil der funktionellen Einheit, da angenommen wird, dass die Nutzungsphase in allen Szenarien die gleichen Auswirkungen hat, sodass eine zeitliche Komponente keinen Einfluss auf die Ergebnisse hat.

<sup>66</sup> Vgl. DIN EN ISO 14044:2021-02, S 5.

Auswirkungen aller Phasen des Produktlebenszyklus von der Rohstoffentnahme über die Herstellung und Nutzung des Produkts bis hin zum Lebensende bewertet werden. In dieser Studie werden drei Szenarien untersucht, für die die Systemgrenzen wie folgt beschrieben werden:

- (1) **Konventioneller Lebensweg – „Ohne Rücknahme“:** Das Produkt durchläuft einen konventionellen Lebensweg von der Entnahme aller notwendigen Rohstoffe über die Herstellung und Nutzung bis hin zum Lebensende. Am Lebensende werden folgende Szenarien bilanziert:
  - (i) Markttypischer Durchschnitt von Lebensende-Optionen von Kunststoff in Deutschland gemäß LCA-Datenbank. Der Durchschnitt umfasst die Verbrennung und zu geringen Anteilen die Deponierung;
  - (ii) Nutzung als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie;
  - (iii) Verbrennung.
- (2) **Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers – „Rücknahme individuell“:** Das Produkt wird nach der Nutzung vom Hersteller wieder zurückgenommen. Der POM-Anteil wird einem markttypischen Lebensende (vgl. Punkt (1) (i)) zugeführt. Der PP-Anteil geht in ein Recycling. Das Material durchläuft in der Anlage eines kooperierenden Unternehmens einen mechanischen Recyclingprozess. Der Hersteller bezieht Sekundärmaterial vom kooperierenden Unternehmen, welches einem weiteren Förderband-Lebenszyklus zugeführt wird. Nach dem zweiten Lebenszyklus wird das Material dem markttypischen Lebensende (vgl. Punkt (1) (i)) zugeführt.
- (3) **Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller – „Rücknahme kollektiv“:** Das Produkt wird nach der Nutzung wieder zurückgenommen. Der POM-Anteil wird einem markttypischen Lebensende (vgl. Punkt (1) (i)); der PP-Anteil wird einem Recycling zugeführt. Für die Rücknahme und das Recycling bilden mehrere Hersteller ein Netzwerk, so dass ein dichteres Transportnetz entsteht. Die Hersteller beziehen Sekundärmaterial von verschiedenen kooperierenden Unternehmen,

welches einem weiteren Förderband-Lebenszyklus zugeführt wird. Nach dem zweiten Lebenszyklus wird das Förderband einem markttypischen Lebensende (vgl. Punkt (1) (i)) zugeführt.

Geographisch bezieht sich die Studie auf Deutschland. Das heißt, dass die theoretisch modellierten Rücknahmesystem-Szenarien nur für den deutschen Markt gelten und sich nicht direkt auf andere Länder übertragen lassen. Die Hintergrunddatensätze aus der LCA-Datenbank, wie zum Beispiel der Strommix, beziehen sich ebenfalls auf Deutschland.

In Abbildung 4 bis Abbildung 6 werden die Systemgrenzen der drei Szenarien dargestellt. Um eine Vergleichbarkeit zwischen den Szenarien herzustellen, werden jeweils zwei Lebenszyklen betrachtet. In den Ergebnissen werden die Auswirkungen jeweils getrennt nach erstem und zweiten Lebenszyklus sowie in Bezug auf das Gesamtsystem dargestellt.

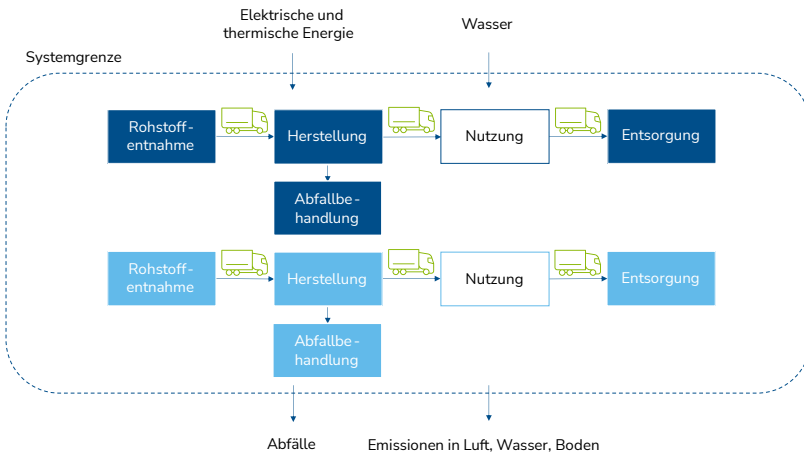


Abbildung 4: Systemgrenzen-Szenario „Ohne Rücknahme“<sup>67</sup>

<sup>67</sup> Eigene Darstellung (gilt auch für die Abbildungen 5 und 6).

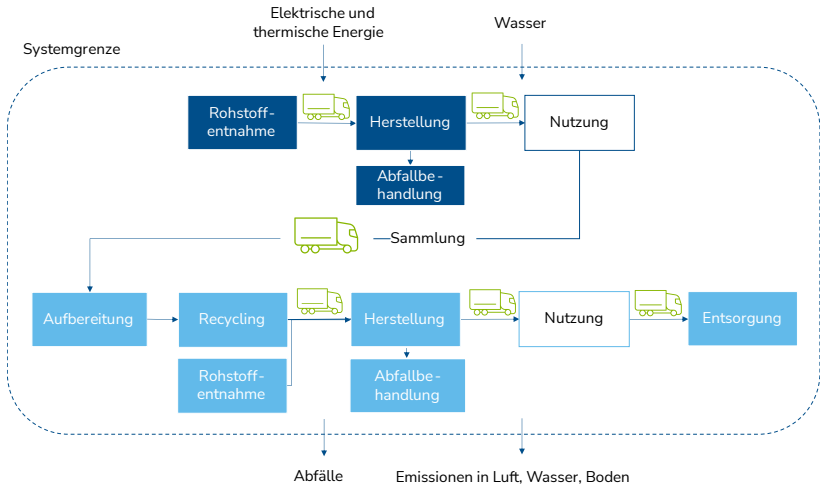


Abbildung 5: Systemgrenzen-Szenario „Rücknahme individuell“

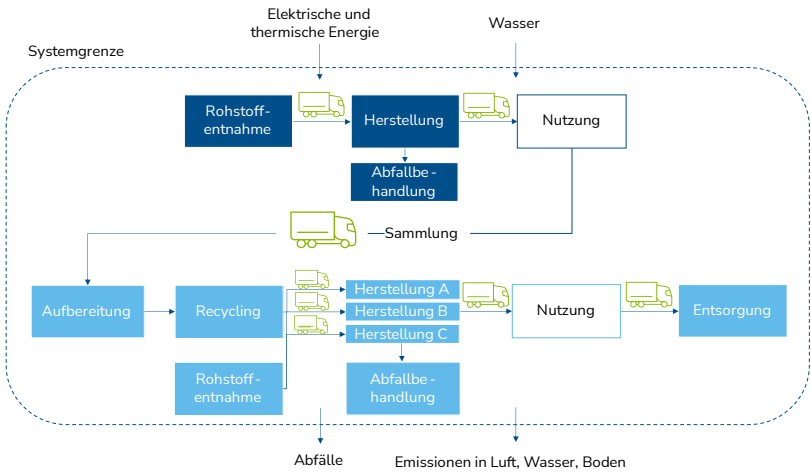


Abbildung 6: Systemgrenzen-Szenario „Rücknahme kollektiv“

Da in allen drei Szenarien die gleichen Anwendungsbereiche in der Nutzung betrachtet werden und dementsprechend die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen gleich sind, werden die Auswirkungen aus der Nutzungsphase nicht betrachtet.<sup>68</sup>

## 5.4 Indikatoren der ökologischen Bewertung

Im Rahmen der Studie wurde innerhalb der genannten Systemgrenzen eine vergleichende ökologische Bewertung gemäß den Richtlinien VDI 4800 Blatt 1 und 2 und VDI 4600<sup>69</sup> zu den verschiedenen Szenarien durchgeführt. Die Bewertung konzentriert sich auf den Gesamtlebenszyklus der betrachteten Szenarien.

Die Herstellungsprozesse des Referenzszenarios und der alternativen Szenarien sind mit unterschiedlichen Mengen an natürlichen Ressourcen wie Rohstoffen und Wasser verbunden. Insbesondere der Energieverbrauch, sowohl thermisch als auch elektrisch, und der Materialeinsatz unterscheiden sich über den gesamten Lebenszyklus. Die Szenarien werden anhand von Umweltindikatoren bewertet. Die Indikatoren beziehen sich insbesondere auf den Verbrauch von Energie und Rohstoffen entlang des Lebenszyklus. Es wird die Kritikalität der Versorgung mit den benötigten Rohstoffen bewertet, die Menge an Treibhausgasemissionen quantifiziert sowie der Flächen- und Wasserverbrauch abgeschätzt (vgl. Abbildung 7). Die einzelnen Indikatoren können dabei unabhängig voneinander analysiert werden. Eine gleichzeitige Betrachtung aller Indikatoren ist sinnvoll, um ein ganzheitliches Bild zu erhalten und z. B. Unterschiede von verschiedenen Materialflüssen auf unterschiedliche Indikatoren zu sehen.

---

<sup>68</sup> Diese Methode steht im Einklang mit der ISO-Norm 14044, die festlegt, dass Inputs und Outputs ausgeschlossen werden können, wenn sie für alle zu vergleichenden alternativen Systeme identisch sind.

<sup>69</sup> Vgl. VDI 4800 Blatt 1 und Blatt 2 und VDI 4600.

<p><b>1. Treibhausgasemissionen</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berechnung in CO<sub>2</sub>-Äquivalente</li> <li>• Gemäß DIN EN ISO 14040/14044</li> </ul>
<p><b>2. Kumulierter Energieaufwand (KEA)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemäß VDI 4600</li> </ul>
<p><b>3. Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemäß VDI 4800 Blatt 2</li> </ul>
<p><b>4. Wasserverbrauch</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemäß VDI 4800 Blatt 2</li> </ul>
<p><b>5. Versorgungskritikalität</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse der erhobenen Rohstoffe und Materialien</li> <li>• Gemäß VDI 4800 Blatt 2</li> </ul>
<p><b>6. Flächenverbrauch</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gemäß VDI 4800 Blatt 2</li> </ul>

Abbildung 7: Indikatoren im Rahmen der ökologischen Bewertung (VDI 4800 Blatt 1 und 2 und VDI 4600)<sup>70</sup>

Die Erstellung der ökologischen Bewertung stützt sich auf Inventurdaten aus den kommerziellen LCA-Datenbanken ecoinvent und PROBAS. Für die Bewertung wurden Resultate mithilfe der Ökobilanz-Software Umberto ermittelt.

### 5.4.1 Treibhausgasemissionen

Während des gesamten Lebenszyklus aller Szenarien werden die resultierenden Treibhausgasemissionen ermittelt, um die ökologischen Folgen zu quantifizieren. Hierbei wird ein direkter Bezug zwischen dem Energieverbrauch, insbesondere dem Bedarf an elektrischer Energie, und dem damit verbundenen Treibhauspotenzial hergestellt. In dieser Analyse sind die indirekten Emissionen, die durch den verwendeten Strommix und die zugrunde liegenden Annahmen in der Emissionsdatenbank entstehen (also den Sekundärdaten), von signifikanter Bedeutung.

<sup>70</sup> Eigene Darstellung auf Basis von VDI 4800 Blatt 1 und Blatt 2 und VDI 4600.

Um die ökologischen Folgen zu quantifizieren, werden die Folgen der Treibhausgasemissionen über den gesamten Lebenszyklus aller Szenarien ermittelt. Es wird ein direkter Zusammenhang zwischen den Inputs (z. B. elektrische Energie für die Herstellung eines Förderbands) und den Outputs des LCA-Modells (z. B. Emissionen in die Luft während des Recyclingprozesses des Förderbands, Emissionen im Zusammenhang mit eventuell verwendeten fossilen Brennstoffen) und dem damit verbundenen Treibhauspotenzial (bezogen auf den Herstellungsprozess) hergestellt. In dieser Analyse werden alle Emissionen (direkt und indirekt), die durch Inputs und Outputs in den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus eines Förderbands verursacht werden, sowie die zugrunde liegenden Annahmen in der Emissionsdatenbank (einschließlich der Sekundärdaten) berücksichtigt.

Treibhausgasemissionen, die bei der Produktion und Verwendung von Materialien für ein Förderband, bei der Endabfallbehandlung, beim Transport, bei der Energieerzeugung/ -bereitstellung und bei der Verarbeitung entstehen, werden als CO<sub>2</sub>-äquivalente Emissionen zusammengefasst und mit dem gemeinsamen Indikator für das Treibhauspotenzial ausgedrückt. Etablierte Wirkungsabschätzungsmethoden für Umweltbewertungen enthalten wissenschaftlich fundierte Annahmen über Äquivalenzfaktoren und spezifische Aufenthaltszeiten.

#### **5.4.2 Kumulierter Energieaufwand (KEA)**

Um den kumulierten Energiebedarf zu analysieren, wird das Verfahren nach der VDI-Richtlinie 4600 für den „Kumulierten Energiebedarf (KEA)“ herangezogen.

Der KEA repräsentiert allgemein die gesamte Menge an Primärenergie, die während des gesamten Lebenszyklus – von der Herstellung über die Nutzung bis zur Entsorgung – für die drei Szenarien erforderlich ist. Diese Umweltkennzahl umfasst die Phasen der Herstellung, der Nutzung, sowie der finalen Behandlung des Produkts oder Systems. Im Falle der Szenarien mit Rücknahme-System werden zudem alle Prozesse berücksichtigt, die mit



dem Transport und der Wiederverwertung von Material innerhalb des Förderband produzierenden Unternehmens verbunden sind.

Die Berechnung des KEA berücksichtigt neben dem direkt messbaren Energieeinsatz im Verlauf der Prozesskette auch den nichtenergetischen Verbrauch, welcher die materielle Verwendung von Energiequellen umfasst, sowie den in Materialien eingeschlossenen Energiegehalt. Der KEA wird gemäß der Richtlinie VDI 4600 typischerweise in die Kategorien KEA Primärenergieträger und KEA regenerativ untergliedert. Der KEA wird in Megajoule (MJ) angegeben.

### **5.4.3 Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA)**

Hier wird der Materialeinsatz analysiert. Dabei wird der gesamte Zyklus von der Produktion über die Nutzungsphase bis hin zur Entsorgung der relevanten Komponenten abgedeckt. In dieser Analyse werden sowohl erneuerbare (biotische) als auch nicht erneuerbare (abiotische) Ressourcen, zu denen mineralische, metallische und fossile Rohstoffe gehören, genauer untersucht. Eine gesonderte Betrachtung erfolgt speziell im Hinblick auf die Ressourcengruppe Wasser (vgl. Kapitel 5.4.4).

Zur Quantifizierung des Materialverbrauchs wird der Kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) verwendet. Dieser Indikator ermöglicht es, die Menge der eingesetzten Rohstoffe pro Funktionseinheit in Zusammenhang mit jedem Szenario transparent zu machen. Der KRA ermöglicht zwar keine weitergehende Einschätzung der Folgen des Rohstoffverbrauchs, etwa der Auswirkungen, die sich aus einer möglichen Rohstoffverknappung ergeben könnten, liefert aber vielmehr einen Dimensionswert, der die Intensität des Rohstoffeinsatzes anzeigt.

Für die Ermittlung des KRAs findet die Methodologie der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2 Anwendung. Die Befunde dieser Analyse werden schließlich in den vier Kategorien des KRAs gegliedert: „Energieressourcen“, „Metallressourcen“, „Mineralressourcen, Steine und Boden“ sowie „biotische Ressourcen“.

Basierend auf den in der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2 genannten Informationen werden Elementarflüsse des LCA-Modells mit Charakterisierungsfaktoren verknüpft, die von Mostert & Bringezu (2019)<sup>71</sup> weiter spezifiziert worden sind.

#### **5.4.4 Wasserverbrauch**

Der Wasserverbrauchsindikator wird mithilfe der LCA-Methodik „Blue Water Consumption“ berechnet. Auf diese Weise ist es möglich, den Wasserverbrauch in den Szenarien mithilfe einer LCA-Datenbank auszuwerten. Dies steht im Einklang mit VDI-Richtlinie 4600.

#### **5.4.5 Versorgungskritikalität**

Im Hinblick auf eine tiefgreifende Analyse und Evaluierung wird die Versorgungskritikalität jener Rohstoffe und Materialien berücksichtigt, die innerhalb der untersuchten Szenarien eingesetzt werden. Kritikalität resultiert aus der Seltenheit eines Materials sowie der Anfälligkeit und Abhängigkeit von einem Unternehmen oder einem Land von diesem Material.

Die Einstufung und Beurteilung von Rohstoffen als kritisch basiert demzufolge auf den Faktoren der Verfügbarkeit beziehungsweise des Versorgungsrisikos und der Verwundbarkeit. Das Versorgungsrisiko drückt die Gewährleistung und Zugänglichkeit von Rohstoffen oder Materialien aus, wobei sowohl physische Aspekte, wie etwa die geologischen Vorkommen, als auch sozioökonomische Einflussgrößen, zu denen die geographische Konzentration von Vorkommen auf wenige Länder zählt, in Betracht gezogen werden. Die Vulnerabilität beschreibt die Sensitivität eines Unternehmens oder eines Landes bezüglich eines Engpasses bei der Versorgung mit dem entsprechenden Rohstoff oder Material.

Bei der Analyse des Referenzszenarios und der alternativen Szenarien werden kritische Materialien aus der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2

---

<sup>71</sup> Vgl. Mostert, C. und Bringezu, S. (2019).

berücksichtigt, das fünf Indikatoren in der Kategorie „Geologische, technische und strukturelle Indikatoren“, fünf Indikatoren in der Kategorie „Geopolitische und regulatorische Kriterien“ und drei Indikatoren in der Kategorie „Ökonomische Kriterien“ ausweist. Zur Definition der Kritikalität eines Elements wird eine qualitative Skala von null bis eins verwendet. Hohe Werte weisen auf eine hohe Versorgungskritikalität im Zusammenhang mit dem Rohstoff hin, während ein niedriger Wert Rücklässe auf ein geringes Risiko zulassen. Die wichtigsten Elemente, aus denen das Förderband in den Szenarien besteht, werden aus der Analyse der aus dem LCA-Modell abgeleiteten Elementarflüsse mithilfe der LCA-Software abgeleitet.

#### **5.4.6 Flächenverbrauch**

Für alle Szenarien wird eine Bewertung des Flächenbedarfs für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Förderbandes sowie des Rücknahmesystems durchgeführt. Die Flächen werden entsprechend ihrer Funktion in Wald-, Agrar-, Siedlungs-, Verkehrs- und Wasserflächen eingeteilt. Mithilfe einer LCA-Software und einer geeigneten Datenbank werden diese Flächen berechnet. Der Flächenverbrauch wird in  $\text{m}^2$  pro Jahr angegeben.

#### **5.4.7 Sensitivitätsanalyse**

Im Anschluss an die ökologische Bewertung wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Einflüsse unterschiedlicher Eingangsparameter auf die betrachteten ökologischen Indikatoren zu untersuchen. Die Sensitivitätsanalyse erlaubt eine Beurteilung der Variabilität und Stabilität des ökologischen Vergleichs sowie der zugrunde liegenden Annahmen. Sie bildet zudem eine Grundlage, um potenzielle ökologische Hotspots zu identifizieren, die gezielt zur Reduzierung von Umweltbelastungen optimiert werden können. Dabei wird insbesondere jenen Parametern besondere Beachtung geschenkt, von denen erwartet wird, dass sie einen signifikanten Einfluss auf das Endergebnis haben.

## 5.5 Grundlagen der ökonomischen Analyse

Die folgende ökonomische Analyse soll die Frage beantworten, ob sich die beschriebenen Szenarien mit Rücknahmesystemen ebenfalls unter ökonomischen Aspekten rechnen. Auch hierbei sind Kosten über den gesamten Lebenszyklus relevant. Folgende Kostenpositionen werden innerhalb der einzelnen Lebenszyklusphasen der betrachteten Produkte bilanziert:

- Kosten der Herstellungsphase für beide Lebenszyklen;
- Kosten der Distribution (Transport vom Hersteller zu Kundinnen und Kunden);
- Kosten der Rücknahme (nur in den Szenarien mit Rücknahme relevant, Kosten werden Lebenszyklus 2 zugerechnet);
- Kosten für Aufbereitung und Recycling (nur in den Szenarien mit Rücknahme relevant, werden Lebenszyklus 2 zugerechnet);
- Kosten für Entsorgung (Lebensende).

Genauere Angaben zur Erhebung der relevanten Daten und der Berechnungsgrundlage werden in Kapitel 5.6.3 gegeben.

## 5.6 Inventarisierung der Daten

Die Daten zur Modellierung des Produktsystems basieren auf Primär- und Sekundärdaten. Die verwendeten Primärdaten stammen aus der Produktion des Förderbandherstellers Habasit und einem kooperierenden Recyclingunternehmen. Zudem konnten aus den durchgeführten Interviews (vgl. Anhang ) einzelne Datenpunkte gewonnen werden.

Sekundärdaten stammen aus verschiedener wissenschaftlicher Literatur, frei zugänglichen Branchen- und Herstellerinformationen sowie Informationen aus der LCA-Datenbank. Nachfolgend werden die Datenpunkte und deren Quellen unterteilt nach Primär- und Sekundärdaten für jede Lebenszyklusphase dargestellt. Es wird dabei jeweils angegeben, ob die Angaben für den ersten oder zweiten Lebenszyklus (1. oder 2. LZ) relevant sind.

### 5.6.1 Primärdaten

Für die Sammlung der Primärdaten wurde der Habasit AG eine Datensammlungsvorlage zur Verfügung gestellt. Die Primärdaten, die von Habasit gesammelt wurden, beziehen sich ausschließlich auf die Lebenszyklusphase der Herstellung (Gate-to-Gate<sup>72</sup>). Zudem konnten einzelne Datenpunkte für die Betrachtung der Rücknahmelogistik und des Recyclings aus den genannten Primärdatenquellen bezogen werden. Abgefragt wurden Daten zum Materialeinsatz, Energieverbrauch, Verbrauch von Hilfsmitteln und Wasser sowie zu anfallenden Abfällen. Aus Vertraulichkeitsgründen werden die Daten im Folgenden qualitativ beschrieben und in den folgenden Tabellen mit einem Sternchen versehen.

**Herstellung (1. LZ, 2. LZ):** Für die Herstellung (vg. Kapitel 5.1) werden verschiedene Granulate auf Basis von Polypropylen (PP) und Polyoxymethylen (POM) verwendet. Das Produkt besteht, bezogen auf die Masse, zu ca. 85 % aus PP, ca. 14 % aus POM und ca. 1 % aus Additiven. Außerdem werden Wasser sowie elektrische und thermische Energie aus Erdgas verwendet. In Bezug auf die Nutzung von Sekundärmaterial im zweiten Lebenszyklus ist technisch ein Anteil von bis zu 97 % Sekundärmaterial möglich.

**Recycling (2. LZ):** Im Zuge einer Studie zum Vergleich von verschiedenen Lebensende-Szenarien aus dem Jahr 2023, hat die Habasit AG mit einem Recyclinganbieter kooperiert, um Daten für das mechanische Recycling zu erhalten. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde der Recyclinganbieter um eine Erneuerung der Daten gebeten. Da dem Recyclinganbieter keine aktuellen Daten vorliegen, wurden in dieser Studie die bereits vorhandenen Daten aus dem Jahr 2023 verwendet. Hierbei handelt es sich um Energieverbräuche während des Recyclings.

---

<sup>72</sup> Bei diesem Ansatz werden die Umweltauswirkungen und der Ressourcenverbrauch vom Eingang der Rohstoffe in die Anlage (dem „Eingangstor“ - Gate) bis zum Verlassen der Anlage durch das Endprodukt (dem „Ausgangstor“ - Gate) untersucht.

**Rücknahme (2. LZ):** Im Interview mit der Firma Zentek GmbH & Co. KG wurden Einschätzungen zu den transportierten Mengen und zurückgelegten Strecken während der Rückführung der Abfälle von der Anfallstelle bis zum Recycler gegeben. Für die Modellierung des Rücknahmesystems wird die Annahme verwendet, dass in einem gut etablierten Logistiksystem die zurückgelegte Strecke zwischen Anfallstelle und erster Behandlungsanlage immer kleiner als 50 km sein sollte.

### 5.6.2 Sekundärdaten

Für die Modellierung der Lebenszyklusphasen der Rohstoffentnahme, der Rücknahmelogistik, dem Lebensende und dem Recycling werden Daten aus sekundären Quellen verwendet. Die für die verschiedenen Phasen genutzten Material- und Energieströme sowie die für die Annahmen in der Modellierung getätigten Annahmen werden im Folgenden erläutert.

**Rohstoffentnahme (1. LZ, 2. LZ):** Aufwendungen aus der Entnahme von Rohstoffen und der Produktion von intermediären Produkten wurden mit den entsprechenden Datensätzen aus der LCA-Datenbank modelliert.

**Herstellung (1. LZ, 2. LZ):** Inventardaten für die Produktherstellung werden vollständig aus Primärquellen bezogen. Bezüglich des Verpackungsmaterials zur Zwischenlagerung der einzelnen Module wird von einem Karton mit einem spezifischen Gewicht von  $250 \text{ g/m}^2$  als Annahme gerechnet. Für den Transport wird angenommen, dass  $1 \text{ m}^2$  Förderband mit circa 40 weiteren Quadratmetern in einem Transportkarton mit einem spezifischen Gewicht von  $500 \text{ g/m}^2$  verpackt werden. Die Verpackung je funktioneller Einheit beläuft sich somit auf  $0,58 \text{ kg}$  Karton. Für die Modellierung des Lebensendes von Abfällen aus der Produktion wird auf Angaben aus der LCA-Datenbank zurückgegriffen.

**Distribution (1. LZ, 2. LZ):** Für den Transport von der Herstellung bis zu den Kundinnen und Kunden wird eine Distribution via LKW angenommen

und mit einer Distanz von 173 km<sup>73</sup> gerechnet. Der Wert bezieht sich auf eine Studie, die für ein System in Deutschland erstellt wurde. Aufwendungen für die Entsorgung des Verpackungsmaterials werden in dieser Phase modelliert.

**Nutzung (1. LZ, 2. LZ):** Die Nutzungsphase wird, wie in Kapitel 5.3 beschrieben, nicht betrachtet, sodass keine Inventardaten benötigt werden.

**Entsorgung (1. LZ, 2. LZ):** Für die Entsorgung im konventionellen Szenario wird mit Annahmen aus Datensätzen der LCA-Datenbank modelliert. Im Fall der markttypischen Entsorgung wird ein Durchschnittsdatensatz für eine markttypische Entsorgung in Deutschland gewählt. Im Fall der Verbrennung wird ein Durchschnittsdatensatz für die Verbrennung von Kunststoff modelliert. Es werden keine Gutschriften aufgrund gewonnener Energie gegeben. Im Fall der Nutzung als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie werden dem Produkt nur die Aufwendungen zugerechnet, die bis zum Ende der Abfalleigenschaft angefallen sind. Dies ist hier nach einem Sortierprozess der Fall.<sup>74</sup> In den Szenarien mit Rücknahmesystem wird am Lebensende vom zweiten Lebenszyklus ausschließlich mit einem markttypischen Lebensende gerechnet. Am Lebensende vom ersten Lebenszyklus wird davon ausgegangen, dass der POM-Anteil des Förderbandes der Entsorgung (mit markttypischem Lebensende) zugeführt wird, während der PP-Anteil vollständig der Rücknahme zugeführt wird. Dies ist durch den modularen Aufbau des Förderbands und die Trennbarkeit von Stäben und Modulen technisch leicht umsetzbar.

**Rücknahme (2. LZ):** Für das Inventar der Rücknahmelogistik wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Es wurde zunächst auf einem sehr spezifischen Niveau nach Rücknahmesystemen von Förderbändern gesucht. Da

---

<sup>73</sup> Vgl. Cartonplast (2012), S. 7.

<sup>74</sup> Der hier dargestellte Ansatz folgt den sogenannten Abschneidekriterien, welche üblicherweise im Kontext des EPD-Systems auf die Zuordnung von Abfällen am Ende ihrer Lebensdauer Anwendung finden (vgl. ISO 15804). Damit werden potenzielle Umweltauswirkungen erst dann in die Betrachtung einbezogen, wenn diese ihr Lebensende erreicht haben.

auf dem spezifischen Niveau keine relevante Literatur gefunden werden konnte, wurde die Untersuchung auf Rücknahmesysteme allgemein ausgeweitet. Über diesen Ansatz konnte jedoch ebenfalls keine passende Literatur gefunden werden, welche für die Modellierung des Logistiksystems (z. B. Standorte, Distanzen und Frequenzen) genutzt werden konnte. Alternativ wurde nach Brancheninformationen von Polypropylene- und allgemein Kunststoffrecyclern gesucht. Mithilfe eines Branchenverzeichnisses<sup>75</sup> wurde eine Übersicht der geographischen Verteilung von PP-Recyclinganlagen in Deutschland erstellt. Das Branchenverzeichnis stellt nur zu einzelnen Standorten eine Information zur Kapazität der Anlagen bereit. Es wird daher angenommen, dass die Kooperationen so abgestimmt sind, dass zu jedem Zeitpunkt die anfallende Menge Abfall an den Recyclinganlagen angenommen werden kann.

Für die Berechnung der durchschnittlich zurückgelegten Distanzen zwischen Anfallstelle und Recycler wird angenommen, dass im zweiten Szenario (Rücknahme durch einen Hersteller) eine Kooperation mit fünf Recyclinganlagen in verschiedenen Regionen Deutschlands besteht (jeweils eine Anlage im Norden, Osten, Süden, Westen und Mitte). Als Standorte für die Anfallstellen wurden die fünf größten Städte Deutschlands (Frankfurt, Berlin, Hamburg, Köln, München) angenommen und so die durchschnittliche Distanz zu den Recyclinganlagen bestimmt. Es ergibt sich eine Transportdistanz von 428 km in eine Richtung. Leerfahrten werden nicht betrachtet. Für das dritte Szenario (Rücknahme durch mehrere Hersteller) wird angenommen, dass alle dargestellten Recyclinganlagen angefahren werden können. Da es in einem solchen Netzwerk eine Vielzahl von Anfallstellen gibt, wird die genannte Liste von Städten um 15 weitere der größten Städte erweitert.<sup>76</sup> Es wird davon ausgegangen, dass in einem etablierten Netzwerk jeweils eine der nächsten Anlagen angefahren werden kann. Daher wird jeweils eine durchschnittliche Distanz der jeweils nächsten fünf Recyclinganlagen ermittelt. Über Deutschland verteilt ergibt

---

<sup>75</sup> ENF Recycling Branchenverzeichnis (2024).

<sup>76</sup> Vgl. statista (2024a).



sich eine Distanz von 50 km, was sich exakt mit dem oben genannten Wert aus den Primärdaten deckt. Es wird angenommen, dass die Distanz von 428 km bzw. 50 km je einmal zwischen der Anfallstelle und dem Recycler als auch zwischen dem Recycler und der zweiten Herstellungsphase zurückgelegt wird. Für die Auslastung der Fahrzeuge werden Durchschnittsdaten aus der LCA-Datenbank verwendet. Es wird mit konventionellen Antriebsarten wie Diesel und Benzin gerechnet.

**Recycling (2. LZ):** Für die Modellierung des Aufbereitungs- und Recyclingprozesses werden neben den oben genannten Primärdaten ergänzend Quellen aus der Literatur herangezogen. Hierbei wurde ebenfalls zunächst sehr spezifisch zum Recycling von Förderbändern, über das Recycling von Polypropylen bis hin zu einer allgemeinen Suche zum Recycling von Kunststoffen recherchiert.

Das Recycling setzt sich aus zwei Schritten zusammen (Sortierung und Recyclingprozess), in deren Folge ein neues Granulat erstellt wird.

Die In- und Outputströme setzen sich als Durchschnitt aus verschiedenen sekundären Quellen und der bereits genannten Primärquelle zusammen.<sup>77,78,79,80</sup> Die berechneten Durchschnittsdaten für den Sortierprozess sind in Tabelle 4 und für den Recyclingprozess in Tabelle 5 dargestellt.

---

<sup>77</sup> Vgl. Franklin Associates (2018), S. 22.

<sup>78</sup> Vgl. Ecoinvent 3.10: Treatment of waste polyethylene terephthalate, for recycling, unsorted, sorting.

<sup>79</sup> Vgl. Shan, C., Oandya Swargo, A.H. und Onoda, H. (2023), S. 7.

<sup>80</sup> Vgl. Schulte, A., Kampmann, B. und Galafton, C. (2023), S. 1.

Tabelle 4: Inventardaten für den Sortierprozess

Material	Einheit	Menge
<b>Input</b>		
PP-Abfall	kg	1,10E+00
Elektrizität	kWh	1,59E-02
Propan	MJ	2,54E-04
Diesel	MJ	7,14E-03
Industrielle Wärme	MJ	3,36E-08
Erdgas	m <sup>3</sup>	1,68E-06
<b>Output</b>		
Sortierter PP-Abfall	kg	1,00E+00
Sortierreste	kg	9,77E-02

Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte PP-Material nach dem ersten Lebenszyklus der Rücknahme und somit dem Recycling zugeführt wird. Je nach Anteil des verwendeten Sekundärmaterials im zweiten Lebenszyklus übersteigt die Menge des produzierten Rezyklats die Menge des benötigten Sekundärmaterials im zweiten Herstellungsprozess.

Die Umweltauswirkungen des zusätzlich produzierten Rezyklats werden nicht dem betrachteten Produktsystem angerechnet. Im Fall, dass der benötigte Sekundäranteil im zweiten Lebenszyklus die Massen des aus dem ersten Lebenszyklus recycelten Materials, inklusive aller Verluste, übersteigt, wird davon ausgegangen, dass das zusätzlich benötigte Sekundärmaterial aus dem gleichen Prozess stammt und somit die gleichen Umweltauswirkungen und Kosten aufweist.

Tabelle 5: Inventardaten für den Recyclingprozess

Material	Einheit	Menge
<b>Input</b>		
Sortierter PP-Abfall	kg	1,09E+00
Natriumhydroxid, 50 %ig	kg	1,73E-04
Waschmittel	kg	1,70E-03
Entschäumer	kg	3,75E-04
Wasser	l	4,40E-01
Elektrizität	kWh	4,18E-01
Erdgas	m <sup>3</sup>	8,33E-03
Leichtöl	l	1,81E-04
<b>Output</b>		
Rezyklat (Pellets)	kg	1,00E+00
Gefährliche Abfälle	kg	8,50E-02
Feste Abfälle	kg	4,67E-02
Abwasser	l	4,40E-01

### 5.6.3 Quantifizierung der ausgewählten Kostenpositionen

Wie bei der ökonomischen Analyse üblich, werden die Kosten mit den Konditionen der involvierten Industrieunternehmen mit Durchschnittswerten bilanziert, die den zu diesem bzw. einem ähnlichen Zweck eingesetzten Produkten in der Realität entsprechen. Preise wurden, soweit sie sich bei der Herstellungsphase auf die spezifischen Inputs für die Produktion der Förderbänder beziehen, von Habasit bereitgestellt. Des Weiteren

beziehen sie sich auf Ergebnisse von Marktpreisrecherchen, so etwa bei Energieträgern und Chemikalien (Stand Oktober 2024). Zudem wurden entweder Daten aus der LCA-Datenbank oder öffentlich zugängliche Daten wie z. B. durchschnittliche Werte von Marktpreisen aus Internetportalen verwendet, ergänzt durch eigene Abschätzungen und Anfragen bei Unternehmen.

### **Preise für die Herstellungsphase**

Die Preise beziehen sich auf die einzelnen Komponenten für die Herstellung von einem Quadratmeter Förderband für beide Lebenszyklen in allen betrachteten Szenarien (vgl. Tabelle 6), soweit sie nicht dem zweiten Lebenszyklus der Kategorie Aufbereitung und Recycling zugeordnet sind. Aus Vertraulichkeitsgründen werden folgend nur die Kostenpositionen gelistet, die betrachtet wurden.

Die Daten stammen von Habasit mit Ausnahme des Preises für thermische Energie aus Erdgas. Dieser wurde aus dem tagesaktuellen Online-Preis der Fa. E.ON für Industriegas für Unternehmen (Vertragslaufzeit 3 Jahre)<sup>81</sup> von 4,92 €-Cent pro kWh berechnet.

---

<sup>81</sup> Vgl. E.ON (2023).

**Tabelle 6: Preise der Inputs für die Herstellungsphase**

Input	Einheit
PP-Komponente 1 (Homopolymer)	kg
PP-Komponente 2 (Homopolymer für Spritzgießen)	kg
Masterbatch (Farbgranulat), PP-basiert	kg
POM-Formmasse	kg
Treibmittel (Schaumbildner) für PP	kg
Verpackungskarton groß	Stück
Verpackungskarton klein	Stück
Trennwand für Verpackung	Stück
Verpackungshülle	Stück
Elektrizität	kWh
Thermische Energie (aus Erdgas)	MJ
Entsorgung von Kunststoffabfällen	kg

### Preise für die Distribution zur Kundschaft

Die Distributionskosten umfassen die Kosten des Transports vom Hersteller zu den Kundinnen und Kunden. Hier wird von einem Transport via LKW ausgegangen. Für alle Transportkosten zwischen dem Ort der Herstellung und dem der Nutzung werden daher Preise aus der LCA-Datenbank für die Kategorie eines Transports per LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht zwischen 16 und 32 Tonnen<sup>82</sup> angenommen.

<sup>82</sup> Bezeichnung der Kategorie in LCA-Datenbank: Market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO6, (EURO-Werte aus 2005 auf EURO 2024 hochgerechnet anhand eines Inflations-Preisindex gemäß finanz-tools.de (2024)).

Zur Distribution wird ebenfalls der Vorgang der Entsorgung des Transportmaterials (Pappkartons) nach Anlieferung bei den Kundinnen und Kunden gezählt. Aus einer Online-Recherche ergab sich, dass mehrere Entsorgungsunternehmen Kartonagen kostenlos entgegennehmen, oder Kartonagen in gepresster Ballenform auf Euro-Paletten sogar vergütet werden. Daher wird für diesen Vorgang der Entsorgung von Kosten von 0 €/kg für Verpackungspappen ausgegangen.

#### **Preise für die Phase der Rücknahme**

In den beiden Rücknahmeszenarien (individuell und kollektiv) erfolgt zu Beginn des zweiten Lebenszyklus die Rücknahme der Förderbänder zum Recycling. Für diese Rücknahme wird ebenso wie für die Distribution zu den Kundinnen und Kunden von einem Transport per LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht zwischen 16 und 32 Tonnen ausgegangen.

#### **Preise für Aufbereitung und Recycling**

Nach der Rücknahme erfolgt in den beiden Rücknahmeszenarien die Phase „Aufbereitung und Recycling“, die ebenfalls dem zweiten Lebenszyklus zugerechnet wird. In dieser Phase werden die folgenden Kostenkomponenten erfasst und bewertet (vgl. Tabelle 7).

Tabelle 7: Preise der Inputs für die Phase von Aufbereitung und Recycling

Input	Einheit	Preis je Einheit	Quelle
Entschäumungsmittel	kg	*	ecoinvent
Dieselöl	MJ	0,049 €/MJ	(statista, 2024b)
Elektrizität	kWh	*	Habasis AG
Entsorgung gefährlicher Abfälle	kg	1,525 €/kg	Angefragtes Angebot eines Entsorgers
Leichtöl	kg	2,91 €/kg	(CHEMLV, kein Datum)
Erdgas	m <sup>3</sup>	0,00492 €/m <sup>3</sup>	(E.ON Energie Deutschland GmbH, 2023)
Entsorgung Kunststoff	kg	*	Habasis AG
Propangas	MJ	0,346 €/MJ	(Kesselheld, 2024)
Natriumhydroxid, 50 %	kg	*	ecoinvent
Thermische Energie (aus Erdgas)	MJ	0,0137 €/MJ	(E.ON Energie Deutschland GmbH, 2023)
Waschmittel	kg	*	ecoinvent
Entsorgung von Abwasser	l	0,00312 €/l	(IW Consult, 2023)

\* Aus Vertraulichkeits- und Lizenzierungsgründen werden die Preise nicht veröffentlicht.

Bei den Angaben aus ecoinvent wurden die EURO-Werte aus dem Jahr 2005 auf das Jahr 2024 anhand eines Inflations-Preisindex<sup>83</sup> hochgerechnet. Die anderen Daten wurden, sofern keine Angaben der Fa. Habasis

<sup>83</sup> Vgl. finanz-tools (2024).

vorlagen, aus passenden Quellen entnommen, die durch Internetrecherche vorgefunden wurden (vgl. Spalte „Quelle“ in Tabelle 7).

### **Preise für Entsorgung (Lebensende)**

Die Kosten der Entsorgung, die in der End-of-Life-Phase anfallen, umfassen zum einen den Transport per LKW zum Entsorgungsunternehmen, zum anderen die Kosten für das Recycling des PP-Abfalls und die Entsorgung des weiteren Kunststoffabfalls. Für den LKW-Transport wird ebenso wie in den Phasen der Distribution und Rücknahme von einem Transport per LKW mit einem zulässigen Gesamtgewicht zwischen 16 und 32 Tonnen ausgegangen. Die Entsorgung von Kunststoffabfällen erfolgt markttypisch entsprechend der Phasen der Herstellung sowie im Rahmen von Aufbereitung und Recycling.



## 6 ERGEBNISSE DER ÖKOLOGISCHEN UND ÖKONOMISCHEN BEWERTUNG

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der ökologischen Bewertung und der ökonomischen Analyse dargestellt. Hierbei wird zwischen den folgenden Szenarien unterschieden:

- *Ohne Rücknahme EoL Markt (vgl. Kapitel 5.3, Punkt (1)(i))*: In beiden Lebenszyklusphasen wird zu 100 % Primärmaterial verwendet. Nach der Nutzung wird das Förderband der markttypischen Entsorgung zugeführt.
- *Ohne Rücknahme EoL Zement (vgl. Kapitel 5.3, Punkt (1)(ii))*: In beiden Lebenszyklusphasen wird zu 100 % Primärmaterial verwendet. Nach der Nutzung wird das Förderband an ein Zementwerk gegeben, welches die Rohstoffe als Ersatzbrennstoff für das Kalkbrennen im Drehrohr einsetzt.
- *Ohne Rücknahme EoL Verbrennung (vgl. Kapitel 5.3, Punkt (1)(iii))*: In beiden Lebenszyklusphasen wird zu 100 % Primärmaterial verwendet. Nach der Nutzung wird das Förderband einer Verbrennung zugeführt.
- *Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers (vgl. Kapitel 5.3, Punkt (2))*: In der ersten Lebenszyklusphase wird das Förderband zu 100 % aus Primärmaterial hergestellt. Nach der Nutzung werden zu 100 % des PP einem Rücknahmesystem zugeführt, welches durch einen Hersteller koordiniert wird. Der weitere Materialbestandteil POM wird einem markttypischen Lebensende zugeführt. Im zweiten Lebenszyklus wird das Förderband zu 97 % aus recyceltem PP hergestellt, was dem technisch möglichen Maximum entspricht. POM besteht zu 100 % aus Primärmaterial. Nach der Nutzung des zweiten Lebenszyklus wird das Förderband vollständig einer markttypischen Entsorgung zugeführt.

- *Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller (Vgl. Kapitel 5.3, Punkt(3):* Analog zu *Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers* mit dem Unterschied, dass die Rücknahme durch eine Kooperation vieler Hersteller koordiniert wird.

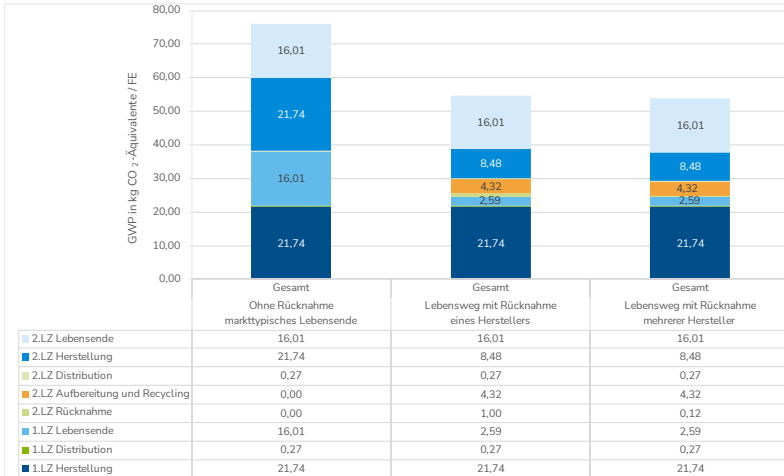
In der Ergebnisdarstellung werden die Auswirkungen aus der Rohstoffentnahme zusammen mit den Auswirkungen aus der Herstellung angegeben.

## 6.1 Ökologische Bewertung

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse unter den einzelnen Umweltindikatoren Treibhausgasemissionen, kumulierter Energieaufwand, kumulierter Rohstoffaufwand, Wasserverbrauch, Versorgungskritikalität und Flächenverbrauch beschrieben.

### 6.1.1 Ergebnisse der Treibhausgasemissionen (GWP)

Die Gesamttreibhausgasemissionen für den konventionellen Lebensweg ohne Rücknahme, den Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers und den Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller mit jeweils markttypischem Lebensende (vgl. Kapitel 5.3), sind in Abbildung 8 abgebildet.



**Abbildung 8: Treibhausgaspotenzial (GWP) der Szenarien ohne und mit Rücknahme in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je funktioneller Einheit<sup>84</sup>**

Die Treibhausgasemissionen für die drei konventionellen Lebenswege „ohne Rücknahme mit markttypischem Lebensende“, „Zement-Lebensende“ und das „Verbrennungs-Lebensende“ sind in Tabelle 8 dargestellt.

**Tabelle 8: Treibhausgasemissionen für die Szenarien des Lebenswegs ohne Rücknahme in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten je funktioneller Einheit**

Wirkungsindikator GWP [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente], (%-Änderung im Vergleich zum markttypischen Lebensende)			
Lebenszyklusphase	Ohne Rücknahme, markttypisches Lebensende	Ohne Rücknahme, Zement-Lebensende	Ohne Rücknahme, Verbrennungs-Lebensende
Herstellung (pro LZ)	21,74	21,74 (+/- 0 %)	21,74 (+/- 0 %)
Distribution (pro LZ)	0,27	0,27 (+/- 0 %)	0,27 (+/- 0 %)
Lebensende (pro LZ)	16,01	0,06 (- 99,6 %)	16,04 (+ 0,18 %)
Gesamt pro LZ	38,02	22,07 (- 42,0 %)	38,05 (+ 0,07 %)
Summe 1. und 2. LZ	76,04	44,15 (- 41,9 %)	76,09 (+ 0,07 %)

<sup>84</sup> Eigene Darstellung (gilt auch für die Abbildungen 9 – 19).

Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden Rücknahme-Szenarien (vgl. Abbildung 8) im Vergleich zum konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende und Lebensende „Verbrennung“ (vgl. Tabelle 8) deutlich geringere Treibhausgasemissionen verursachen. Insgesamt stößt der konventionelle Lebensweg mit Zement-Lebensende die geringsten Treibhausgasemissionen mit 44,2 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aus. Darauf folgt der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller mit 53,8 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, gefolgt vom Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers mit 54,7 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Der konventionelle Lebensweg ohne Rücknahme mit markttypischem Lebensende hat einen Gesamttreibhausgasausstoß von 76,0 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, und der konventionelle Lebensweg ohne Rücknahme mit Verbrennungs-Lebensende einen Treibhausgasausstoß von 76,09 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Entscheidend für die Reduktion der Treibhausgasemissionen beim Zement-Lebensende (44,2 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente) ist der Einsatz des Förderbandes als Ersatzbrennstoff in der Zementindustrie. Dies führt dazu, dass das Ende der Abfalleigenschaft bereits nach dem Sortierprozess erreicht ist. Die Emissionen aus der Verbrennung werden somit ökobilanziell nicht dem Förderband zugeschrieben, sondern dem Zementwerk (Begründung vgl. Kapitel 6.6.2). Im Vergleich zu den Szenarien mit Rücknahmesystem verursacht im betrachteten Fall der konventionelle Lebensweg mit Zement-Lebensende ca. 9,6 bzw. 10,7 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente weniger Emissionen. Im Vergleich der drei Szenarien des konventionellen Lebenswegs sind die Treibhausgasemissionen für das Zement-Lebensende mit 0,06 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (entspricht 0,1 % der Gesamttreibhausgasemissionen für einen Lebenszyklus), gefolgt vom markttypischen Lebensende mit 16,01 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (entspricht 21,1 % der Gesamttreibhausgasemissionen für einen Lebenszyklus) und zuletzt dem Verbrennungs-Lebensende mit 16,04 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (entspricht 21,1 % der Gesamttreibhausgasemissionen für einen Lebenszyklus) am geringsten.

Der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller führt im Vergleich zum konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende zu einer

Vermeidung von Treibhausgasemissionen um 29,3 % bzw. 22,24 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen, während der Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers zu einer Minderung von 28,1 % bzw. 21,4 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten führt. Bei den Lebenswegszszenarien mit Rücknahme eines Herstellers und mehrerer Hersteller ist der zweite Lebenszyklus entscheidend für die Emissionsminderung. So wird dem markttypischen Lebensende beider Lebenszyklen nur POM zugeführt, während das PP des Kunststoffförderbands aus dem ersten Lebenszyklus recycelt und dieses als Sekundärmaterial für den zweiten Lebenszyklus verwendet wird. Die Einsparungen an Primärmaterial durch den Einsatz der Sekundärrohstoffe aus dem ersten Lebenszyklus sowie die eingesparten Aufwendungen für das markttypische Lebensende für PP im ersten Lebenszyklus führen entsprechend zu geringeren Umweltwirkungen. Gleichzeitig entstehen durch die zusätzlichen Energieaufwände für die Distribution und das Recycling zusätzliche Umweltauswirkungen, die jedoch geringer als die dargestellten Einsparungen ausfallen. Dies gilt analog für alle Indikatoren der ökologischen Bewertung. Im Vergleich beider Rücknahmeszenarien verursacht die Distribution bei einem Hersteller 1,8 % der Treibhausgasemissionen, während die Distribution beim Rücknahmeszenario mehrerer Hersteller 0,2 % der Treibhausgasemissionen ausmacht. Diese Reduktion entsteht durch ein engeres Transportnetz und entsprechend geringerer Transportkilometer, die durch die Hersteller bereitgestellt werden können.

### 6.1.2 Ergebnisse des kumulierten Energieaufwands (KEA)

Der Gesamt-KEA für den konventionellen Lebensweg ohne Rücknahme, den Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers und den Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller sind mit jeweils markttypischem Lebensende (vgl. Kapitel 5.3), sind in Abbildung 9 dargestellt.



**Abbildung 9: Kumulierter Energieaufwand (KEA) der Szenarien ohne und mit Rücknahme in MJ je funktioneller Einheit**

Der KEA für die drei konventionellen Lebenswege ohne Rücknahme mit markttypischem Lebensende, Zement-Lebensende und Verbrennungs-Lebensende sind in Tabelle 9 dargestellt.

**Tabelle 9: Kumulierter Energieaufwand (KEA) für die Szenarien des Lebenswegs ohne Rücknahme in MJ je funktioneller Einheit**

Wirkungsindikator KEA [MJ], (%-Änderung im Vergleich zum markttypischen Lebensende)			
Lebenszyklusphase	Ohne Rücknahme, Markttypisches Lebensende	Ohne Rücknahme, Zement- Lebensende	Ohne Rücknahme, Verbrennungs- Lebensende
Herstellung (pro LZ)	660,2	660,2 (+/- 0 %)	660,2 (+/- 0 %)
Distribution (pro LZ)	3,9	3,9 (+/- 0 %)	3,9 (+/- 0 %)
Lebensende (pro LZ)	5,6	1,0 (- 82,1 %)	4,5 (- 19,6 %)
Gesamt (pro LZ)	669,7	665,1 (- 0,69 %)	668,6 (- 0,16 %)
Summe 1. und 2. LZ	1339,4	1330,2 (-0,69 %)	1337,2 (- 0,16 %)

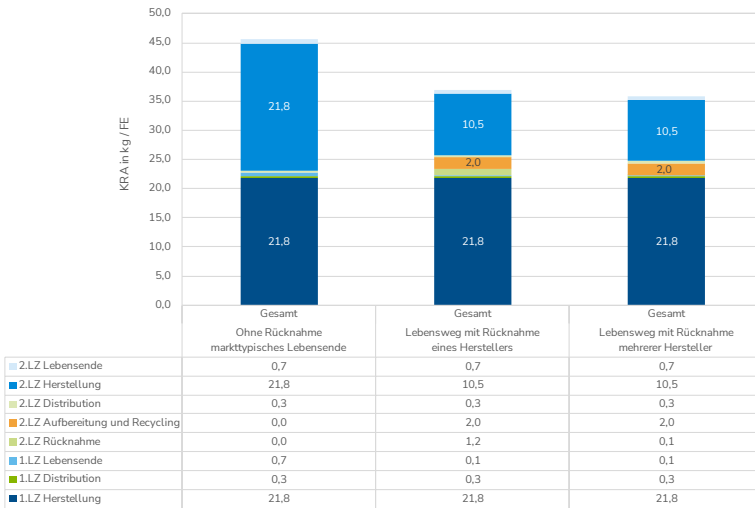
Aus der Analyse des KEA geht hervor, dass die beiden Szenarien Lebensweg mit Rücknahme einen geringeren KEA aufweisen als die Szenarien des konventionellen Lebenswegs ohne Rücknahme. Insgesamt hat der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller den geringsten KEA mit 902,5 MJ über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen, gefolgt von dem Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers mit einem KEA von 915,9 MJ. Der konventionelle Lebensweg mit Zement-Lebensende hat einen KEA von 1330,2 MJ, der konventionelle Lebensweg mit Verbrennungs-Lebensende einen KEA von 1337,2 MJ und der konventionelle Lebensweg mit markttypischem Lebensende einen KEA von 1339,4 MJ.

Die Verteilung des KEA auf die verschiedenen Lebenszyklusphasen zeigt deutlich, dass die Herstellungsphase bei allen Szenarien eine Schlüsselrolle spielt. Dies ist insbesondere auf die Vorketten der Kunststoffproduktion und die Nutzung von elektrischer Energie zurückzuführen. Da der KEA hauptsächlich durch die Herstellungsphase geprägt ist, haben – im Gegensatz zum GWP – die Umweltwirkungen der Lebensenden kaum Einfluss auf das Ergebnis, sodass die Szenarien mit Rücknahme einen geringeren kumulierten Energieaufwand verursachen als die Szenarien ohne Rücknahmesystem. Durch die Einsparung von Primärrohstoffen durch das Recycling des PP-Anteils des Kunststoffbands geht der KEA der Herstellungsphase im zweiten Lebenszyklus deutlich zurück. Demnach führt der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller im Vergleich zum konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende zu einer Energieeinsparung von 24,2 % bzw. 437 MJ. Der Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers führt zu einer Energieeinsparung von 23,4 % bzw. 423 MJ.

Im Vergleich der Rücknahmeszenarien verursacht die Distribution beim Szenario eines Herstellers 1,7 % des KEA, während die Distribution beim Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller 0,2 % des KEA ausmacht. Der Unterschied des KEA von 13,4 MJ in der Rücknahme stammt aus der Verteilung mehrerer Hersteller in Deutschland, wodurch in der Phase der Rücknahme Transportkilometer reduziert werden, die wiederum zu einer Energieeinsparung führen.

### 6.1.3 Ergebnisse des kumulierten Rohstoffaufwands (KRA)

Der Gesamt-KRA für den konventionellen Lebensweg ohne Rücknahme, den Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers und den Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller mit jeweils markttypischem Lebensende (vgl. Kapitel 5.3), sind in Abbildung 10 unterteilt nach Lebenszyklusphasen dargestellt.



**Abbildung 10: Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) der Szenarien ohne und mit Rücknahme in kg je funktioneller Einheit**

Der KRA für die drei konventionellen Lebenswege ohne Rücknahme mit markttypischem Lebensende, Zement-Lebensende und Verbrennungs-Lebensende ist in Tabelle 10 dargestellt.



Tabelle 10: Kumulierter Rohstoffaufwand (KRA) für die Szenarien ohne Rücknahme in kg

Wirkungsindikator KRA [kg], (%-Änderung im Vergleich zum markttypischen Lebensende)			
Lebenszyklusphase	Ohne Rücknahme, Markttypisches Lebensende	Ohne Rücknahme, Zement-Lebensende	Ohne Rücknahme, Verbrennungs-Lebensende
Herstellung (pro LZ)	21,8	21,8 (+/- 0 %)	21,8 (+/- 0 %)
Distribution (pro LZ)	0,3	0,3 (+/- 0 %)	0,3 (+/- 0 %)
Lebensende (pro LZ)	0,7	0,1 (- 85,7 %)	0,6 (- 14,3 %)
Gesamt (pro LZ)	22,8	22,2 (- 2,6 %)	22,7 (- 0,44 %)
Summe 1. und 2. LZ	45,6	44,3 (- 2,9 %)	45,4 (- 0,44 %)

Die Ergebnisse zeigen, dass der kumulierte Rohstoffaufwand (KRA) für die Rücknahme-Szenarien geringer ausfällt als für die Szenarien des konventionellen Lebenswegs ohne Rücknahme. Insgesamt hat der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller den geringsten KRA mit 35,9 kg, gefolgt vom Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers mit 37,0 kg. Der konventionelle Lebensweg mit Zement-Lebensende hat einen KRA von 44,3 kg, gefolgt vom konventionellen Lebensweg mit Verbrennungs-Lebensende, welcher einen KRA von 45,4 kg aufweist, und dem konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende (KRA von 45,6 kg) über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen. Somit führt der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller im Vergleich zum konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende zu einer deutlichen Reduktion des KRA von 21,3 %, was einer Rohstoffeinsparung von 9,7 kg entspricht. Der Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers führt zu einer Rohstoffeinsparung von 19,0 % (entspricht 8,7 kg).

Wie auch beim KEA hat bei der Verteilung der Lebenszyklusphasen die Herstellung den größten Einfluss auf den KRA, während – im Gegensatz zum GWP – die Umweltwirkungen des Lebensendes kaum Einfluss auf das Ergebnis haben. Im Vergleich der drei Szenarien des konventionellen

Lebenswegs ist der KRA vom Zement-Lebensende am geringsten mit 0,1 kg (entspricht 0,2 % des Gesamt-KRA für einen Lebenszyklus), gefolgt vom Verbrennungs-Lebensende mit 0,6 kg (entspricht 1,4 % des Gesamt-KRA für einen Lebenszyklus) und zuletzt dem markttypischen Lebensende mit 0,7 kg (entspricht 1,6 % des Gesamt-KRA für einen Lebenszyklus). Grund dafür ist zu fast gleichen Teilen der Rohstoffaufwand für die Gewinnung elektrischer Energie und der Rohstoffaufwand für die Vorketten der Kunststoffproduktion.

Aufgrund der Substitution der Primärrohstoffe im zweiten Lebenszyklus durch den Einsatz der PP-Kunststoffrezyklate hat der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller den geringsten KRA mit 13,7 kg, gefolgt von einem KRA des zweiten Lebenszyklus des Lebenswegs mit Rücknahme eines Herstellers (KRA = 14,7 kg). Bei den konventionellen Lebenswegen hat ein Lebenszyklus des Lebenswegs mit Zement-Lebensende jeweils einen KRA von 22,2 kg, gefolgt vom Lebensweg mit Verbrennungs-Lebensende (KRA = 22,7 kg) und dem Lebensweg mit markttypischem Lebensende (KRA = 22,8 kg).

Im Vergleich der Szenarien mit Rücknahme macht die Distribution für das Rücknahmesystem eines Herstellers 3,2 % des Gesamt-KRA aus, während die Rücknahme für den Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller lediglich 0,4 % des Gesamt-KRA ausmacht. Auch hier liegt der Unterschied in den verminderten Transportkilometern, für die weniger Rohstoffe aufgewendet werden müssen.

#### **6.1.4 Ergebnisse des Wasserverbrauchs**

Der Gesamtwasserverbrauch für den konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende, den Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers und den Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller, jeweils mit markttypischem Lebensende (vgl. Kapitel 5.3), sind unterteilt nach Lebenszyklusphasen in Abbildung 11 dargestellt.



**Abbildung 11: Wasserverbrauch der Szenarien ohne und mit Rücknahme in m<sup>3</sup> je funktioneller Einheit**

Der Wasserverbrauch für die drei konventionellen Lebenswege ohne Rücknahme mit markttypischem Lebensende, Zement-Lebensende und Verbrennungs-Lebensende ist in Tabelle 11 abgebildet.

**Tabelle 11: Wasserverbrauch der konventionellen Lebenswege ohne Rücknahme in m<sup>3</sup> je funktioneller Einheit**

Wirkungsindikator Wasserverbrauch [m <sup>3</sup> ], (%-Änderung im Vergleich zum markttypischen Lebensende)			
Lebenszyklusphase	Ohne Rücknahme, Markttypisches Lebensende	Ohne Rücknahme, Zement- Lebensende	Ohne Rücknahme, Verbrennungs- Lebensende
Herstellung (pro LZ)	0,112	0,112 (+/- 0 %)	0,112 (+/- 0 %)
Distribution (pro LZ)	0,001	0,001 (+/- 0 %)	0,001 (+/- 0 %)
Lebensende (pro LZ)	0,025	0,0001 (- 99,6 %)	0,025 (+/- 0 %)
Gesamt (pro LZ)	0,138	0,114 (- 17,4 %)	0,138 (+/- 0 %)
Summe 1. und 2. LZ	0,276	0,228 (- 17,4 %)	0,277 (+ 0,04 %)

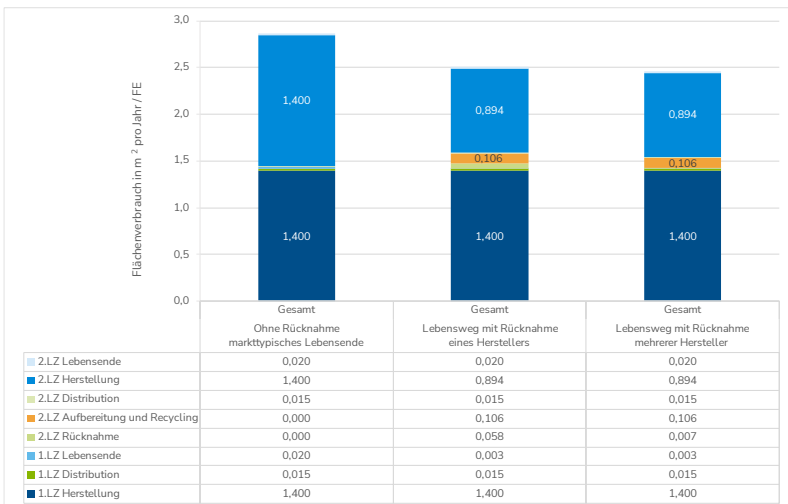
Aus der Analyse ergibt sich, dass die beiden Rücknahme-Szenarien einen niedrigeren Wasserverbrauch haben als die Szenarien des konventionellen Lebenswegs. Insgesamt hat der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller den geringsten Wasserverbrauch mit  $0,2 \text{ m}^3$  über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen hinweg. Der Wasserverbrauch des Lebenswegs mit Rücknahme eines Herstellers ist mit  $0,201 \text{ m}^3$  kaum höher. Darauf folgt der konventionelle Lebensweg mit Zement-Lebensende mit einem Wasserverbrauch von  $0,228 \text{ m}^3$ , der konventionelle Lebensweg mit markttypischem Lebensende mit einem Verbrauch von  $0,276 \text{ m}^3$  und der konventionelle Lebensweg mit Verbrennungs-Lebensende mit einem Wasserverbrauch von  $0,277 \text{ m}^3$  über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen. Demnach führt der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller im Vergleich zum konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen zu einer Wasserersparnis von  $27,7 \%$  bzw.  $0,077 \text{ m}^3$ . Der Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers resultiert in einer Wasserersparnis von  $27,2 \%$  bzw.  $0,075 \text{ m}^3$  über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen.

Die Herstellung der Förderbänder verursacht – wie beim KEA und KRA – den höchsten Wasserverbrauch und bestimmt die Ergebnisse damit ausschlaggebend (vgl. Abbildung 11). Demnach mündet der zweite Lebenszyklus bei den Rücknahme-Szenarien in einem geringeren Wasserverbrauch durch die Substitution der Primärmaterialien durch Sekundärmaterial (PP-Rezyklate). Bei der Aufbereitung und dem Recycling des PP wird hauptsächlich Wasser durch die Nutzung von Strom verwendet, der jedoch geringer ist, als bei der Herstellung des Primärmaterials. Somit hat der zweite Lebenszyklus des Lebenswegs mit Rücknahme mehrerer Hersteller den geringsten Wasserverbrauch mit  $0,082 \text{ m}^3$ , gefolgt von einem nur marginal höheren Wasserverbrauch von  $0,084 \text{ m}^3$  des Lebenswegs mit Rücknahme eines Herstellers. Ein Lebenszyklus des konventionellen Lebenswegs mit Zement-Lebensende hat einen Wasserverbrauch von  $0,114 \text{ m}^3$ . Die konventionellen Lebenswege mit markttypischem Lebensende sowie mit Verbrennungs-Lebensende haben jeweils einen Wasserverbrauch von  $0,138 \text{ m}^3$ .

Im Vergleich der Rücknahme-Szenarien verursacht die Distribution über den gesamten Lebensweg einen anteiligen Wasserverbrauch bei der Rücknahme mehrerer Hersteller von 0,8 %, während die Distribution bei dem Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers 0,09 % des Wasserverbrauchs ausmacht. Dies ist auf das engere Transportnetz und somit geringer ausfallende Transportkilometer des Szenarios mehrerer Hersteller zurückzuführen.

### 6.1.5 Ergebnisse des Flächenverbrauchs

Der Gesamtflächenverbrauch (beide Lebenszyklen) für den konventionellen Lebensweg ohne Rücknahme, den Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers und den Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller mit jeweils markttypischem Lebensende (vgl. Kapitel 5.3) sind in Abbildung 12 nach Lebenszyklusphasen unterteilt dargestellt.



**Abbildung 12: Flächenverbrauch der Szenarien ohne und mit Rücknahme in m<sup>2</sup> je funktioneller Einheit**

Die Flächenverbräuche für die drei konventionellen Lebenswege ohne Rücknahme mit markttypischem Lebensende, Zement-Lebensende und Verbrennungs-Lebensende ist in Tabelle 12 abgebildet.

**Tabelle 12: Flächenverbrauch der Szenarien des konventionellen Lebenswegs in m<sup>2</sup> je funktioneller Einheit**

Wirkungsindikator Flächenverbrauch [m <sup>2</sup> pro Jahr], (%-Änderung im Vergleich zum markttypischen Lebensende)			
Lebenszyklusphase	Ohne Rücknahme, Markttypisches Lebensende	Ohne Rücknahme, Zement-Lebensende	Ohne Rücknahme, Verbrennungs-Lebensende
Herstellung (pro LZ)	1,400	1,400 (+/- 0 %)	1,400 (+/- 0 %)
Distribution (pro LZ)	0,015	0,015 (+/- 0 %)	0,015 (+/- 0 %)
Lebensende (pro LZ)	0,020	0,004 (- 80 %)	0,015 (- 25 %)
Gesamt (pro LZ)	1,434	1,418 (- 1,1 %)	1,429 (- 0,03 %)
Summe 1. und 2. LZ	2,868	2,836 (- 1,1 %)	2,858 (- 0,3 %)

Die Analyse zeigt, dass die beiden Rücknahme-Szenarien einen geringeren Flächenverbrauch verursachen als die Szenarien des konventionellen Lebenswegs. Insgesamt hat der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller den geringsten Flächenverbrauch mit 2,46 m<sup>2</sup> pro Jahr über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen, während der Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers einen marginal höheren Flächenverbrauch von 2,51 m<sup>2</sup> pro Jahr hat. Darauf folgt der konventionelle Lebensweg mit Zement-Lebensende mit einem Flächenverbrauch von 2,84 m<sup>2</sup> pro Jahr, der konventionelle Lebensweg mit Verbrennungs-Lebensende mit einem Flächenverbrauch von 2,86 m<sup>2</sup> pro Jahr und der konventionelle Lebensweg mit markttypischem Lebensende mit einem Flächenverbrauch von 2,87 m<sup>2</sup> pro Jahr über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen. Damit führt der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller im Vergleich zum konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende zu einer Verringerung der Flächeninanspruchnahme um 14,3 % bzw. 0,4 m<sup>2</sup> pro Jahr. Der Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers führt im Vergleich zum konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende zu einem verminderten Flächenverbrauch von 12,5 % bzw. 0,36 m<sup>2</sup> pro Jahr.

Die Herstellungsphase bestimmt maßgeblich – wie beim KEA, KRA und Wasserverbrauch – die Flächeninanspruchnahme. Durch die Substitution von Primärmaterial durch den Einsatz von PP-Rezyklat, wird weniger Fläche für die Beschaffung der primären Ressourcen und die Verarbeitung der Materialien beansprucht. So weist der zweite Lebenszyklus des Lebenswegs mit Rücknahme mehrerer Hersteller mit  $1,04 \text{ m}^2$  pro Jahr den geringsten Flächenverbrauch auf. Der zweite Lebenszyklus des Lebenswegs mit Rücknahme eines Herstellers hat einen Flächenverbrauch von  $1,09 \text{ m}^2$  pro Jahr. Darauf folgen der konventionelle Lebensweg mit Zement-Lebensende mit einem Flächenverbrauch von  $1,418 \text{ m}^2$  pro Jahr, der konventionelle Lebensweg mit Verbrennungs-Lebensende mit  $1,429 \text{ m}^2$  pro Jahr, und der konventionelle Lebensweg mit markttypischem Lebensende ( $1,434 \text{ m}^2$  pro Jahr) für einen Lebenszyklus.

Im Vergleich beider Rücknahmeszenarien hält die Distribution bei dem gesamten Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers einen Anteil von 2,3 % des Flächenverbrauchs, während die Rücknahme bei dem Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller einen Anteil von 0,3 % des Flächenverbrauchs beträgt. Dieser Unterschied resultiert aus verringerten Transportkilometern, auf denen weniger Infrastruktur-Flächen zu verbauen sind.

### **6.1.6 Ergebnisse der Versorgungskritikalität**

Die Bewertung der Versorgungskritikalität erfolgt gemäß dem Verfahren der VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2. Diese Norm umfasst ein Bewertungsschema, das aus verschiedenen Indikatoren besteht, die in drei Kategorien eingeteilt sind. Die Indikatoren sind in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13: Indikatoren der Versorgungskritikalität nach VDI-Richtlinie 4800 Blatt 2**

Geologische, technische und strukturelle Indikatoren	Geopolitische und regulatorische Indikatoren	Ökonomische Indikatoren
Verhältnis von Reserven zu globaler Jahresproduktion	Herfindahl-Hirschman-Index der Reserven	Herfindahl-Hirschman-Index der Unternehmen
Grad der Koppelproduktion/ Nebenproduktion	Herfindahl-Hirschman-Index der Länderproduktion	Grad der Nachfragesteigerung
Verbreitungsgrad funktionaler End-of-Life-Recycling-technologien	Politisches Länderrisiko	Technische Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Substitutionen in Hauptanwendungen
Wirtschaftlichkeit von Lagerung und Transport	Regulatorisches Länderrisiko	Annualisierte Preisvolatilität
Verbreitungsgrad natürlicher Vorkommen/ Anbauggebiete	-	-

Die VDI-Richtlinie 4800 präsentiert eine selektive Liste diverser Rohstoffe. In Tabelle 14 sind die wichtigsten aus der Sachbilanz des Modells exportierten Rohstoffe aufgeführt. Diese stammen bis auf Erdöl aus der Vorkette der Kunststoffproduktion. Es wird für jeden Rohstoff ein individueller Wert je Indikator vergeben, wobei die Skala von 0 bis 1 reicht mit Zwischenstufen von 0,3 und 0,7. Hohe Werte weisen auf eine hohe Versorgungskritikalität im Zusammenhang mit dem Rohstoff hin, während ein niedriger Wert auf ein geringes Risiko hinweist.



Tabelle 14: Versorgungskritikalität

		Erdöl	Aluminium	Kupfer	Eisen	Magnesium	Nickel	Silizium
Rohstoff/Element								
<b>Durchschnittliche Kritikalität des Rohstoffs</b>		<b>0,3</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>	<b>0,4</b>
Geologische, technische und strukturelle Indikatoren	Verhältnis von Reserven zu globaler Jahresproduktion	0,3	0,0	0,7	0,3	0,0	0,7	0,0
	Grad der Koppelproduktion / Nebenproduktion	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,3	0,0
	Verbreitungsgrad funktionaler End-of-Life-Technologien	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7
	Wirtschaftlichkeit von Lagerung und Transport	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Verbreitungsgrad natürlicher Vorkommen / Anbaugelände	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Geopolitische und regulatorische Indikatoren	Herfindahl-Hirschman-Index der Reserven	0,3	0,7	0,3	0,3	0,7	0,7	0,3
	Herfindahl-Hirschman-Index der Länderproduktion	0,3	1,0	0,7	1,0	1,0	0,3	1,0
	Politisches Länderrisiko	0,7	0,7	0,3	0,7	0,7	0,3	0,7
	Regulatorisches Länderrisiko	0,3	0,3	0,3	0,3	0,7	0,3	0,7
	Herfindahl-Hirschman-Index der Unternehmen	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Ökonomische Indikatoren	Grad der Nachfragesteigerung	0,7	0,0	0,3	0,0	0,3	0,3	0,0
	Techn. Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit von Substitutionen in Hauptanwendungen	0,0	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	0,7
	Annualisierte Preisvolatilität	1,0	0,7	1,0	0,7	0,7	1,0	0,7

Die Kritikalität aller Rohstoffe wird durch die Berechnung des Durchschnitts aller einzelnen Durchschnittswerte der in der Tabelle 14 aufgeführten Kriterien ermittelt (Range zwischen 0,3 und 0,4). In Bezug auf die Relevanz von Rohstoffen ist Erdöl der wesentlichste fossile Brennstoff, da er in sämtlichen Prozessen der Kunststoffproduktion zum Einsatz kommt. Da die Auflistung der Werte je exportiertem Rohstoff für jedes Produkt gleich ist, ist ein Vergleich zwischen den Szenarien nicht möglich. Die Ergebnisse der KRA-Analyse (vgl. Kapitel 6.1.3) legen jedoch nahe, dass das Rücknahme-Szenario im zweiten Lebenszyklus durch den Einsatz von PP-Rezyklat weniger Primärmaterial, also Erdöl, als Grundbaustein von Kunststoffen verwendet. Demzufolge kann die Kritikalität des Erdöleinsatzes in den Szenarien mit Rücknahme als geringer erachtet werden.

## **6.2 Ökonomische Analyse**

Die Ergebnisse der ökonomischen Analyse beider Lebenszyklen für den konventionellen Lebensweg ohne Rücknahme, den Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers und den Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller, jeweils mit markttypischem Lebensende (vgl. Kapitel 5.3), sind unterteilt nach Lebenszyklusphasen in Abbildung 13 dargestellt. Hierbei sind die Kosten für den Lebenszyklus nicht akteursspezifisch abgebildet. Auch Marktentwicklungen werden durch die Kostendarstellungen nicht beachtet. Auf Basis der Kostenanalyse ist es daher empfehlenswert die einzelnen Kostenpositionen den einzelnen, beteiligten nachträglich Akteuren zuzuordnen und entsprechende Anreize zur Beteiligung am Rücknahmesystem zu eruieren.

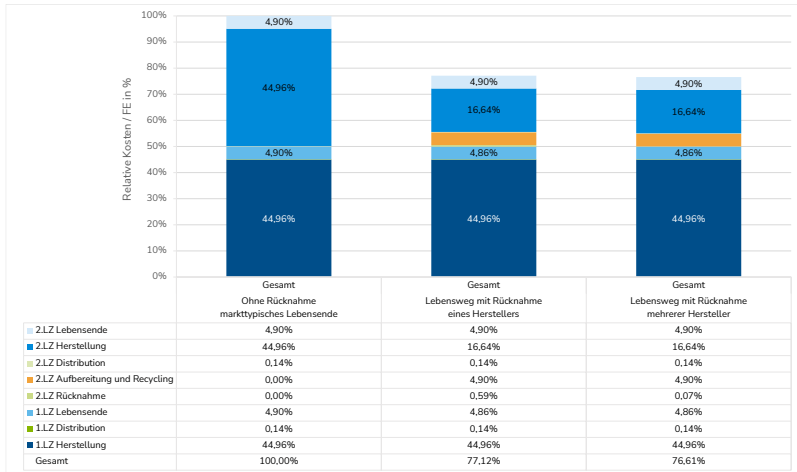


Abbildung 13: Darstellung der realitiven Kosten der Szenarien ohne und mit Rücknahme in %

Die relativen Kosten für die drei konventionellen Lebenswege ohne Rücknahme mit markttypischem Lebensende, Zement-Lebensende und Verbrennungs-Lebensende sind in Tabelle 15 dargestellt.

Tabelle 15: Relative Kosten der Szenarien des konventionellen Lebenswegs in %.

Indikator Kosten (% vom gesamten Lebenszyklus)			
Lebenszyklusphase	Konventionell Markttypisches Lebensende	Konventionell Zement- Lebensende	Konventionell Verbrennungs- Lebensende
Herstellung (pro LZ)	44,96 %	49,80 %	44,96 %
Distribution (pro LZ)	0,14 %	0,16 %	0,14 %
Lebensende (pro LZ)	4,90 %	0,04 %	4,90 %
Prozentualer Unterschied zum markttypischen Lebensende	0 %	- 9,72 %	0 %

Um die Vertraulichkeit der Daten zu gewährleisten, werden in Abbildung 13 und Tabelle 15 aufgeführten Ergebnisse prozentual in Bezug auf das konventionelle Lebensende mit markttypischem Lebensende betrachtet.

Aus der Analyse des Vergleichs der relativen Kosten zeigt sich, dass die beiden Rücknahme-Szenarien um mehr als 20 % günstiger sind als das Szenario des konventionellen Lebenswegs mit markttypischem Lebensende. Die Kosten aus dem Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers betragen 77,12 % der Kosten des konventionellen Szenarios. Die Kosten des Lebenswegs mit Rücknahme durch mehrere Hersteller sind geringfügig kleiner und betragen 76,61 % der Kosten des konventionellen Szenarios. Im ersten Lebenszyklus unterscheiden sich alle Szenarien mit und ohne Rücknahme nur bzgl. des Lebensendes. So können im Fall des Einsatzes in der Zementindustrie die End-of-Life-Kosten nahezu vollständig eingespart werden. Diese kompensieren jedoch nicht die Einsparungen durch eine verringerte Primärmaterialherstellung. Daher sind auch beide Rücknahme-Szenarien bezogen auf das konventionelle Szenario mit Zement-Lebensende um rund 15 % günstiger.

Auch bei den Kosten resultieren die Unterschiede hauptsächlich aus der Herstellungsphase. Bei den Szenarien Lebensweg mit Rücknahme können durch die Verwendung des rezyklierten Materials Herstellkosten für Primärmaterial eingespart werden.

Die Kosteneinsparungen bei der Herstellung im zweiten Lebenszyklus der beiden Rücknahme-Szenarien sind hierbei deutlich höher als die zusätzlichen Kosten gegenüber dem konventionellen Lebensweg, die während der Phasen der Rücknahme, der Aufbereitung und des Recyclings entstehen. Hierbei macht die Herstellung mit circa 45 % an den Gesamtkosten pro Lebenszyklus beim konventionellen Lebensweg mit markttypischem Lebensende den eindeutigen Hauptanteil der Kosten aus.

Aus der Berechnung der gesamtwirtschaftlichen Kosteneinsparung kann allerdings keine Aussage getroffen werden, zu welchem Anteil das Recyclingunternehmen sowie der Förderbandhersteller den Gewinn erhöhen kann, und zu welchem Anteil die durch die Rücknahme entstehenden Kosteneinsparungen an die Nutzer der Förderbänder weitergeben werden.

Diese Frage kann erst beantwortet werden, wenn sich ein solches Rücknahmesystem für dieses Produkt auf dem Markt etabliert hat. Die Verteilung, wem die berechneten Kosteneinsparungen zugute kommen, hängt formal von den jeweiligen Preiselastizitäten des Angebots und der Nachfrage sowohl auf dem Recyclingmarkt als auch auf dem Markt für Förderbänder ab. In der Praxis wird die Marktmacht der jeweils beteiligten Parteien die Vertragsgestaltung determinieren. Sofern die Nutzer der Förderbänder – über die Einsparung von Entsorgungskosten hinaus – auch über den Bezug der Förderbänder einen Preisreiz erhalten, am Rücknahmesystem teilzunehmen, könnte sich deren Bereitschaft erhöhen, auf rezyklierte Förderbänder umzusteigen.

Die Kosteneinsparung durch verringerte Transportwege ist im Fall mehrerer im Vergleich zu einem Hersteller hingegen von untergeordneter Bedeutung.

### **6.3 Sensitivitätsanalyse**

Die ökologische Bewertung zeigt, dass vor allem der Einsatz des Sekundärmaterials für die Reduktion der Umweltauswirkungen verantwortlich ist. Dementsprechend wird in der Sensitivitätsanalyse der variierende Einsatz von Sekundärmaterial im Vergleich zum Einsatz von Primärmaterialien des konventionellen Lebenswegs (mit markttypischem Lebensende) betrachtet. Folgende Szenarien werden in der Sensitivitätsanalyse miteinander verglichen:

- Konventioneller Lebensweg (markttypisches Lebensende) ohne Rezyklatanteil (Referenzszenario);
- Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers mit 97 % recyceltem PP;
- Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers mit 4,76 % recyceltem PP entsprechend dem aktuellen Marktanteil von recyceltem PP am deutschen Markt<sup>85</sup>;
- Lebensweg mit Rücknahme eines Herstellers mit 50 % recyceltem PP entsprechend einem fiktiven Marktanteil.

Aus den nachfolgenden Abbildungen wird deutlich, dass sich der Einsatz von recyceltem PP für alle ökologischen Bewertungen im Vergleich zum Referenzszenario ohne Rezyklatanteil vorteilhafter auswirkt.

Für jeden Umweltindikator hat das Szenario mit einem Rezyklatanteil von 97 % die geringsten ökologischen Auswirkungen, gefolgt vom Szenario mit einem Rezyklatanteil von 50 %. Das Szenario mit dem marktaktuellen Rezyklatanteil von 4,76 % hat immer noch geringere ökologische Auswirkungen als das Referenzszenario ohne Rezyklatanteil, jedoch sind diese teilweise marginal. Daraus wird deutlich, dass sich die ökologischen Auswirkungen verringern, je höher der Anteil von Sekundärrohstoff in der Herstellung ist.

Im Fall des GWP führen alle Szenarien mit Rezyklatanteil zu einer deutlichen Reduzierung der Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Referenzszenario ohne Rezyklatanteil. Der Anteil von 97 % Sekundärmaterial in der Herstellung des zweiten Lebenszyklus des Förderbandes reduziert die Treibhausgasemissionen um 28 %, ein Anteil von 50 % Recyclingmaterial verringert die Treibhausgasemissionen um 23 % und ein Rezyklatanteil von 4,76 % um 18 %. Dies entspricht einer Treibhausgaseinsparung von respektive 21,36 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten, 17,51 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und 13,81 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen (vgl. Abbildung 14).

---

<sup>85</sup> **Plastics Recyclers Europe (2020), S. 8.**

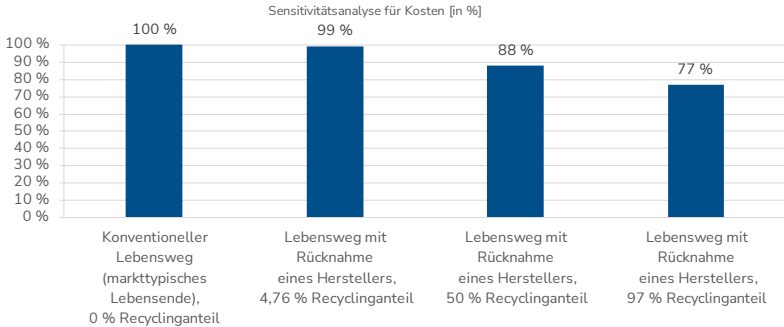


Abbildung 14: Sensitivitätsanalyse des Treibhausgaspotenzials (GWP) in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (markttypisches Lebensende)

Der KEA wird durch einen Rezyklatanteil von 97 % bzw. 50 % im Förderband deutlich verringert, wohingegen ein Rezyklatanteil von 4,76 % kaum einen Unterschied zum Referenzszenario ohne Rezyklatanteil ausmacht. Ein Rezyklatanteil von 97 % in der Herstellung des zweiten Lebenszyklus des Förderbands reduziert den KEA um 32 %, ein Rezyklatanteil von 50 % entsprechend um 16 %. Dies bedeutet für den KEA eine Einsparung um respektive 423 MJ und 220 MJ über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen. Ein Rezyklatanteil von 4,76 % reduziert den KEA lediglich um 2 % und entspricht demnach einer Differenz von 25 MJ über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen (vgl. Abbildung 15).

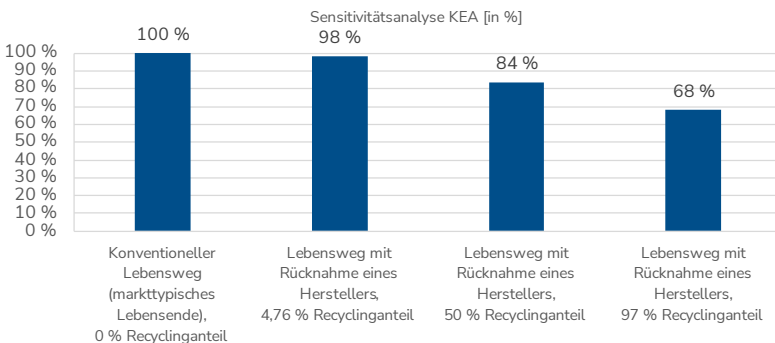
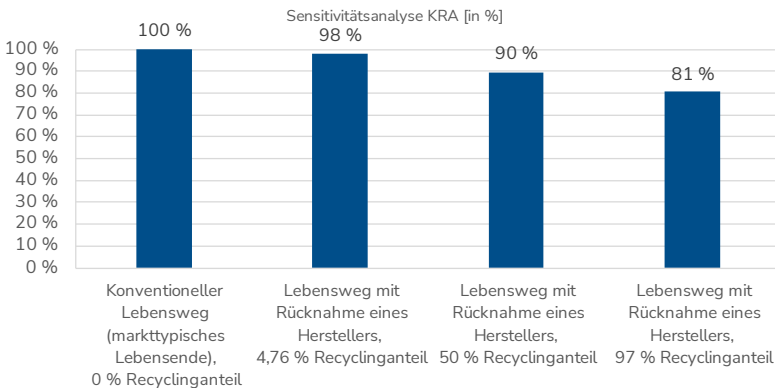


Abbildung 15: Sensitivitätsanalyse des KEA in MJ (markttypisches Lebensende)

Im Fall des KRA führt ein Rezyklatanteil in der Herstellung des Förderbands von 50 % und 97 % zu einer deutlichen Reduktion, während ein Rezyklatanteil von 4,76 % kaum einen Unterschied im Vergleich zum Referenzszenario ohne Rezyklatanteil macht. Ein Rezyklatanteil von 97 % in der Herstellung des zweiten Lebenszyklus des Förderbands reduziert den KRA um 19 %, wohingegen ein Rezyklatanteil von 50 % den KRA um 10 % verringert. Dies entspricht einer Rohstoffeinsparung von respektive 8,7 kg bzw. 4,8 kg über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen. Der Rezyklatanteil von 4,76 % im Förderband führt zu einer Verringerung des KRA von 2 %, was wiederum einer Rohstoffeinsparung in Höhe von einem Kilogramm über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen entspricht (vgl. Abbildung 16).

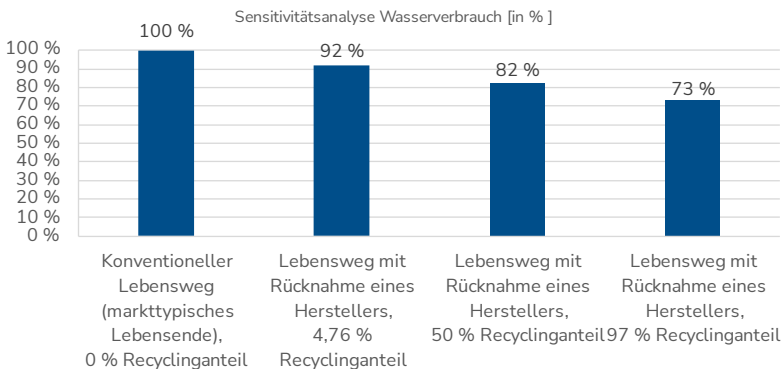


**Abbildung 16: Sensitivitätsanalyse des KRA in kg (markttypisches Lebensende)**



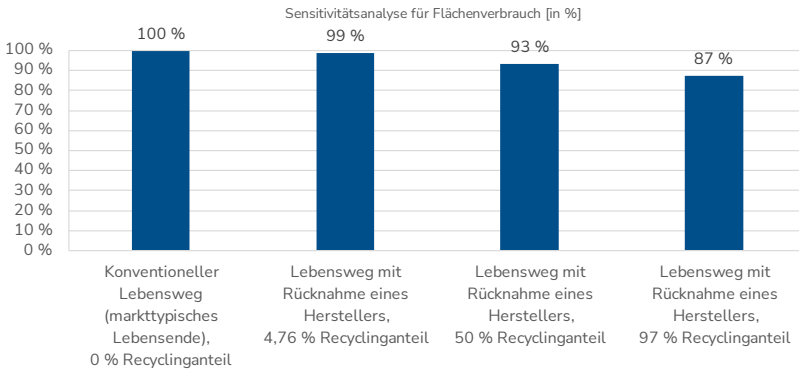
Der Wasserverbrauch über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen wird deutlich reduziert, wenn das Förderband aus Sekundärmaterial hergestellt wird. Ein Rezyklatanteil von 97 % im Förderband führt zu einer Wassereinsparung von 27 %, während ein Rezyklatanteil von 50 % zu einer Wassereinsparung von 18 % im Vergleich zum Referenzszenario ohne Rezyklatanteil führt. Der Rezyklatanteil von 4,76 % führt lediglich zu einer Einsparung von 8 % Wasser.

In absoluten Zahlen entsprechen die erzielten Einsparungen über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen bei einem Rezyklatanteil von 97 % demnach  $0,075 \text{ m}^3$  Wasser, bei einem Rezyklatanteil von 50 %  $0,049 \text{ m}^3$  Wasser und bei einem Rezyklatanteil von 4,76 % entsprechend  $0,023 \text{ m}^3$  Wasser (vgl. Abbildung 17).



**Abbildung 17: Sensitivitätsanalyse des Wasserverbrauchs in  $\text{m}^3$  (markttypisches Lebensende)**

Im Fall des Flächenverbrauchs führt der Einsatz von Sekundärmaterial in der Herstellung des Förderbandes zu einer leichten Reduktion des Flächenverbrauchs. So bewirkt ein Rezyklatanteil von 97 % eine Reduktion des Flächenverbrauchs um 13 %, während ein Rezyklatanteil von 50 % in einer Reduktion des Flächenverbrauchs um 7 % und ein Rezyklatanteil von 4,76 % in einer Reduktion des Flächenverbrauchs um 1 % im Vergleich zum Referenzszenario ohne Rezyklatanteil resultiert. Dies entspricht über die gesamten zwei Lebenszyklusphasen einer jährlichen Flächeneinsparung von respektive 0,359 m<sup>2</sup> für 97 % Rezyklatanteil, 0,193 m<sup>2</sup> für 50 % Rezyklatanteil und 0,033 m<sup>2</sup> für 4,76 % Rezyklatanteil (vgl. Abbildung 18).



**Abbildung 18: Sensitivitätsanalyse des Flächenverbrauchs in m<sup>2</sup> pro Jahr (markttypisches Lebensende)**

Beim Vergleich der Kosten zeigt sich ein ähnliches Bild; Auch hier ergibt sich durch den Einsatz von Sekundärmaterial in der Herstellung des Förderbandes jeweils eine Kostenersparnis. So reduzieren sich verglichen mit dem Referenzszenario ohne Rezyklatanteil die Gesamtkosten bei einem Rezyklatanteil von 97 % um 23 %, bei einem Rezyklatanteil von 50 % um 12 % und bei einem Rezyklatanteil von 4,76 % um 1 % (vgl. Abbildung 19).

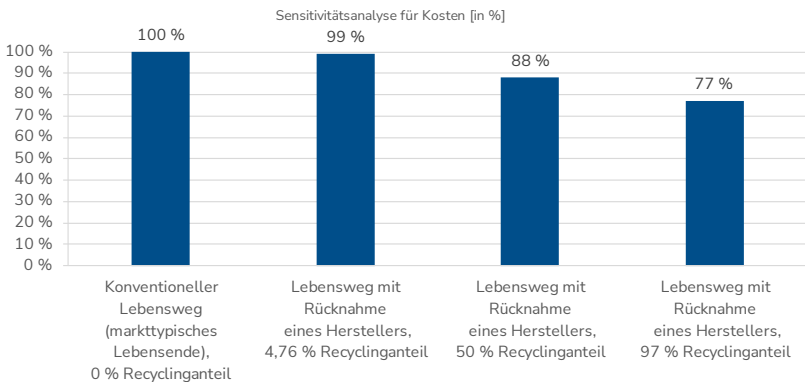


Abbildung 19: Sensitivitätsanalyse der Kosten in € (marktypisches Lebensende)

## 6.4 Kritische Würdigung der Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der ökologischen Bewertung und der ökonomischen Analyse kritisch gewürdigt, um auf die getroffenen Annahmen einzugehen und deren Repräsentativität für andere Produkte zu erläutern.

Beim analysierten System handelt es sich um ein theoretisches Modell, das keine Repräsentation der Wirklichkeit wiedergibt. Es wurden lediglich zwei Lebenszyklen betrachtet, wobei davon ausgegangen wurde, dass das Rohmaterial nach der zweiten Nutzungsphase ein momentan am Markt etabliertes Lebensende findet, bei dem Kunststoffe größtenteils verbrannt werden. Es wird nicht berücksichtigt, ob das betrachtete Förderband nach dem zweiten Lebenszyklus noch einmal recycelt werden kann.

Es wird davon ausgegangen, dass das Recyclingmaterial dieselbe Qualität wie das Primärmaterial hat. Mögliche Qualitätsänderungen hätten demnach insbesondere Einfluss auf die Nutzungsphase, welche sich dadurch z. B. signifikant verkürzen könnte. In diesem Fall wäre die Annahme, dass die Auswirkungen während der Nutzungsphase in allen betrachteten Szenarien gleich sind, nicht korrekt. Eine kürzere Lebensdauer der Module würde zu einer höheren Austauschfrequenz führen, sodass zum Beispiel im Laufe eines Jahres mehr Module benötigt werden. Dies würde über einen bestimmten Zeitraum zu höheren Umweltauswirkungen und Kosten führen.

In der ökologischen Bewertung und der ökonomischen Analyse wird neben den konventionellen Lebensenden lediglich ein Recycling betrachtet. Wie im ersten Teil der Studie dargestellt, können neben dem Recycling auch andere Optionen wie das Remanufacturing oder Refurbishing betrachtet werden. Die Vorteile verschiedener Behandlungsmöglichkeiten können sich je nach Material sehr unterscheiden und könnten in einer breiteren ökologischen Bewertung und ökonomischen Analyse intensiver betrachtet werden. Bei der ökonomischen Analyse wurden die Kosten für das Recycling lediglich auf den Materialeinsatz und die Energiekosten

beschränkt. Kosten für zum Beispiel Forschung und Entwicklung, liegen außerhalb der Systemgrenzen.

Mit Blick auf die Modellierung des Rücknahmesystems kann festgestellt werden, dass sich dieses in der vorliegenden Studie nur auf die durchschnittlich gefahrenen Kilometer bezieht. Andere Einflussfaktoren könnten z. B. die Auslastung der Fahrzeuge sein. Aus ökonomischer Sicht können durch die Kooperation mit anderen Unternehmen Skaleneffekte entstehen, die zum Beispiel zu geringeren Verwaltungskosten führen. So gilt beispielsweise die Aussage, dass durch ein Rücknahmesystem mit mehreren Herstellern die Umweltauswirkungen nur geringfügig verringert werden können im Vergleich zu einem Rücknahmesystem mit einem Hersteller spezifisch für das betrachtete Produkt. In einem Produktsystem, in dem die Logistik eine größere Rolle spielt, könnte eine Änderung der gefahrenen Kilometer demnach eine größere Auswirkung haben.

Abschließend ist festzuhalten, dass bei der Betrachtung der Ergebnisse diese spezifisch nur für ein aus PP hergestelltes modulares Förderband gelten. Bei anderen Stoffströmen können sich die ökologischen und ökonomischen Effekte unterschiedlich auf die verschiedenen Lebenszyklusphasen verteilen. Die Ergebnisse können also – unter Beachtung der festgelegten Annahmen – übertragbar auf ein ähnliches, ebenfalls aus PP hergestelltes Produkt sein. Sobald Produkte aus anderen Kunststoffen, aber auch aus Metallen oder Holz analysiert werden, sind die Ergebnisse dieser Studie nicht übertragbar.

Neben den genannten Unsicherheiten in der Modellierung des Systems, werden auch Unsicherheiten aus der LCA-Datenbank oder den genutzten Kostendaten auf die Ergebnisse der Studie übertragen.

## 7 ZUSAMMENFASSUNG UND FAZIT

Ziel dieser Studie war es, eine Übersicht über wesentliche Kriterien für die Aufstellung eines freiwilligen herstellereigenen Rücknahmesystems im B2B-Bereich zu bieten und die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen von Rücknahmesystemen zu quantifizieren.

Unternehmen, die keiner rechtlichen Motivation unterliegen, installieren Rücknahmesysteme aus einer ökonomischen und / oder ökologischen Motivation heraus. Diese sogenannten „freiwilligen Rücknahmesysteme“ können unternehmensspezifisch oder aber in Unternehmensinitiativen bzw. Unternehmenskollektiven durchgeführt werden. Die Entwicklung und Einführung eines solchen freiwilligen Rücknahmesystems im B2B-Bereich ist jedoch ein komplexes Unterfangen. Bei der Planung und Umsetzung sind bspw. technische, marktwirtschaftliche, logistische und ökologische Aspekte sowie rechtliche Anforderungen zu beachten. Um Unternehmen hierbei zu unterstützen, wurden jeweils Kriterien für die übergeordneten Einflussfaktoren (Produkt- und Materialeigenschaften (PM), Gestaltung des Geschäftsmodells (GM), Wirtschaftlichkeit (W) und ökologische Effekte (ÖE)) zusammengetragen und beschrieben. Dabei ist zu beachten, dass bei der Etablierung eines Rücknahmesystems je nach Material- oder Produktstrom verschiedene Anforderungen eine unterschiedlich große Rolle spielen. Diese müssen individuell für jedes Produktsystem analysiert werden. Hierzu wurde ein der Studie beiliegender Excel®-basierter Leitfaden erstellt, der unter dem Link [www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/](http://www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/) abrufbar und als initialer Aufschlag für eine orientierende Einschätzung der Umsetzung eines Rücknahmesystems zu verstehen ist. Hierbei wird empfohlen, diese kontinuierlich weiterzuentwickeln und entsprechend den aktuellen und künftigen Entwicklungen hin zu einer zirkulären Wirtschaft anzupassen.

Im zweiten Teil der Studie erfolgte eine ökologische und ökonomische Bewertung von Rücknahmesystemen. Dazu wurden am Beispiel von industriell genutzten Förderbändern unterschiedliche Lebensweg-Szenarien in

jeweils insgesamt zwei Lebenszyklen betrachtet: Ein theoretisch modelliertes Rücknahmesystem eines Herstellers und eines Herstellerkollektivs wurde einem Referenzszenario ohne Rücknahmesystem gegenübergestellt. Für das Referenzszenario ohne Rücknahmesystem wurden dabei drei verschiedene Varianten des End-of-Life berücksichtigt (markttypisches Lebensende, Zement-Lebensende, Verbrennungs-Lebensende). Für die Lebenswegszenarien mit Rücknahmesystem gilt weiter, dass die zurückgenommenen Förderbänder aus Kunststoff einem mechanischen Recycling zugeführt werden und das daraus resultierende PP-Rezyklat als Sekundärrohstoff im zweiten Lebenszyklus für die Herstellung der anfänglichen Förderbänder eingesetzt wird. Beide Rücknahmesystem-Szenarien unterscheiden sich dabei nur durch die verkürzten Transportkilometer des Szenarios mit Herstellerkollektiv.

Aus den Ergebnissen der ökologischen Bewertung geht hervor, dass Rücknahmesysteme die ökologischen Auswirkungen des Förderband-Lebenszyklus deutlich verringern können. Der Lebensweg mit Rücknahme mehrerer Hersteller weist im Vergleich zum konventionellen Lebensweg ohne Rücknahme in allen Indikatoren die geringsten Umweltauswirkungen auf. Jedoch sind die ökologischen Auswirkungen des Lebenswegs mit Rücknahme eines Herstellers nur minimal höher als die der Rücknahme mehrerer Hersteller. Besonders beim Treibhausgaspotenzial, kumulierten Energieaufwand und Wasserverbrauch erzielen die Rücknahmesysteme eine Reduktion von 20 % und höher im Vergleich zum konventionellen Lebensweg. Die geringsten Einsparungen erfolgen bei der Fläche, gefolgt vom kumulierten Rohstoffaufwand. Die ökonomische Bewertung zeigt, dass die Lebenszykluskosten beider Szenarien mit Rücknahme mit 15 bis mehr als 20 % geringer sind als die Szenarien des konventionellen Lebenswegs ohne Rücknahme.

Die Ergebnisse der ökologischen und ökonomischen Bewertung sind in Tabelle 16 anhand eines Notensystems zusammenfassend dargestellt („1“ ist bester Indikatorwert mit aufsteigenden Indikatorwerten für schlechter werdende, relative Leistungen der Szenarien im Vergleich zum besten

Indikatorwert). Die Bewertung stellt keine entsprechenden Leistungsabstände dar, sondern nur eine Aufteilung nach bestem und schlechtestem Indikatorwert, inklusive Zwischenstufen.

**Tabelle 16: Gesamtvergleich des Einflusses auf die Wirkungsindikatoren für alle fünf Szenarien**

Wirkungsindikator	Ohne Rücknahme, markttypisches Lebensende	Ohne Rücknahme, Zement-Lebensende	Ohne Rücknahme, Lebensende Verbrennung	Mit Rücknahme, ein Hersteller	Mit Rücknahme, mehrere Hersteller
GWP	4	1	4	3	2
KEA	4	3	4	2	1
KRA	4	3	4	2	1
Wasserverbrauch	3	2	3	1	1
Flächenverbrauch	3	2	3	1	1
Lebenszykluskosten	3	2	3	1	1

Um die Einflüsse unterschiedlicher Eingangsparameter auf die betrachteten ökologischen Indikatoren zu untersuchen, wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Aus den Ergebnissen der ökologischen Bewertung geht hervor, dass weniger die Distribution und Transportkilometer, sondern vor allem der Einsatz des Sekundärmaterials für die Reduktion der Umweltauswirkungen verantwortlich ist. So zeigt eine Sensitivitätsanalyse des konventionellen Lebenswegs (markttypisches Lebensende) ohne Rezyklanteil verglichen mit einem Rücknahmeszenario eines Herstellers mit einem PP-Rezyklanteil von 97 %, 50 % bzw. 4,76 %, dass sich der Einsatz von recyceltem PP für alle ökologischen Bewertungen vorteilhafter



auswirkt – je höher der Rezyklatanteil, desto geringer gestalten sich dabei die ökologischen Auswirkungen.

Zusammenfassend kann abgeleitet werden, dass im betrachteten System die Aufbereitung, das Recycling und der Einsatz von Sekundärmaterial zu einer Verbesserung der Umweltindikatoren und zu Kosteneinsparungen führen können. Der Erfolg hängt dabei weniger von der Anzahl der teilnehmenden Hersteller am Rücknahmesystem, sondern vielmehr vom Anteil des Sekundärmaterials in der Herstellung ab.

## LITERATURVERZEICHNIS

**BDE (2019):** BDE-Leitfaden zur Gewerbeabfallverordnung (Stand. 19.12.2019). 3. Auflage 2020, BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e.V. (online), [abgerufen am 17.12.2024], verfügbar unter: [https://www.bde.de/documents/160/200415\\_BDE\\_Leitfaden\\_GewAbfV\\_final.pdf](https://www.bde.de/documents/160/200415_BDE_Leitfaden_GewAbfV_final.pdf)

**Cartonplast (2012):** Comparative Life Cycle Assessment of polypropylene and cardboard layer pads for transport (online), [abgerufen am 30.10.2024] verfügbar unter: [https://www.cartonplast.com/pdf/Company\\_info/Life\\_Cycle\\_Assessment\\_2021.pdf](https://www.cartonplast.com/pdf/Company_info/Life_Cycle_Assessment_2021.pdf)

**CHEMLV (kein Datum):** Kerosene Jet A-1 (online), [abgerufen am 29.11.2024], verfügbar unter: <https://chem.lv/en/product/kerosene-jet-a-1/>

**DIN e.V. (2025):** Modell der R-Strategien - Normenrecherche Circular Economy nach R-Strategien (online), [abgerufen am 23.01.2025], verfügbar unter: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/circular-economy/normenrecherche/modell-der-r-strategien>

**DIN e.V., DKE, & VDI e.V. (2023):** Deutsche Normungsroadmap Circular Economy (online)., [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter: <https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/circular-economy/normungsroadmap-circular-economy>

**DIN EN ISO 14040:2009:** Deutsches Institut für Normung e. V., Umweltmanagement –Ökobilanz –Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

**DIN EN ISO 14044:2009:** Deutsches Institut für Normung e. V., Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

**DIN EN ISO 14040:2021-02:** Deutsches Institut für Normung e. V., Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006 + Amd 1:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14040:2006 + A1:2020. Beuth Verlag GmbH, Berlin. DOI: <https://dx.doi.org/10.31030/3179655>

**DIN EN ISO 14044:2021-02:** Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017 + Amd 2:2020); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2006 + A1:2018 + A2:2020. Beuth Verlag GmbH, Berlin. DOI: <https://dx.doi.org/10.31030/3179656>

**DIN EN 45554:2020:** Allgemeine Verfahren zur Bewertung der Reparier-, Wiederverwend- und Upgradebarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte; Deutsche Fassung EN 45554:2020. DIN Media, DOI: <https://dx.doi.org/10.31030/3187343>

**DIN EN 45555:2020-04:** Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte; Deutsche Fassung EN 45555:2019. DIN e.V., <https://dx.doi.org/10.31030/3090888>

**E.ON Energie Deutschland GmbH. (2023):** Industriegas für Unternehmen (online), [abgerufen am 29. 11 2024], verfügbar unter: [https://www.eon.de/de/gk/erdgas/industriegas.html?utm\\_campaign=SEA\\_COM\\_B2B\\_GE\\_Industriegas\\_G&mc=0512222000&gad\\_source=1&gclid=EAlaIqob-ChMlk7qztq6ziQMVvxeiAx1QNS-QUEAAYAiAAEgJ0QfD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.eon.de/de/gk/erdgas/industriegas.html?utm_campaign=SEA_COM_B2B_GE_Industriegas_G&mc=0512222000&gad_source=1&gclid=EAlaIqob-ChMlk7qztq6ziQMVvxeiAx1QNS-QUEAAYAiAAEgJ0QfD_BwE&gclsrc=aw.ds)

**Ecodesignkit (2024):** Eindimensionale Methoden – Kurz und bündig (online). Umweltbundesamt, [abgerufen am 21.01.2025], verfügbar unter: <https://ecodesignkit.de/methoden/eindimensionale-methoden/kurz#uebersicht>

**Ecoinvent 3.10 (kein Datum):** Treatment of waste polypropylene, municipal incineration; clinker production (online), [abgerufen am 30.01.2025], verfügbar unter: <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.10/cutoff/dataset/13938/documentation>

**ENF Recycling Branchenverzeichnis (2024):** Kunststoff Recyclinganlagen in Deutschland (online), [abgerufen am 31. 07. 2024], verfügbar unter: [https://de.enfplastic.com/directory/plant/Germany?plastic\\_materials=pL\\_PP&page=2](https://de.enfplastic.com/directory/plant/Germany?plastic_materials=pL_PP&page=2)

**Environmental Protection Agency (2019):** MANAGING YOUR HAZARDOUS WASTE: A Guide for Small Businesses (online). United States: EPA., [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-10/documents/10008\\_managingyourhazwaste\\_508pdf\\_october\\_16\\_2019.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-10/documents/10008_managingyourhazwaste_508pdf_october_16_2019.pdf)

**finanz-tools.de (2024):** Inflationsrechner für Preissteigerung (online), [abgerufen am 12.11.2024], verfügbar unter: <https://www.finance-tools.de/inflationsrechner-preissteigerung>

**Fleckinger, P., & Glachant, M. (2010):** The organization of extended producer responsibility in waste policy with product differentiation. *Journal of Environmental Economics and Management*, 59(1), S. 57-66.

**Forlin, V., & Scholz, E. M. (2020):** Strategic take-back programs when consumers have heterogeneous environmental preferences. *Resource and Energy Economics*.

**Franklin Associates (2018):** Life Cycle Impacts for postconsumer recycled resins: PET, HDPE, and PP (online). The Association of Plastic Recyclers., [abgerufen am 30. 10.2024], verfügbar unter: <https://plasticsrecycling.org/wp-content/uploads/2024/08/2018-APR-LCI-report.pdf>

**GIZ (2021):** Design-for-Recycling (D4R) – State of Play (online). Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH., [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter : [https://www.giz.de/en/downloads/2021-06%20Design%20for%20recycling\\_barrierefrei.pdf](https://www.giz.de/en/downloads/2021-06%20Design%20for%20recycling_barrierefrei.pdf)

**Global LCA Data Access (2013 - 2019):** Propane, burned in building machine, UPR, ecoinvent 3.6, Allocation, cut-off (online), [abgerufen am 29. 11 2024], verfügbar unter: <https://www.globalcadataaccess.org/propane-burned-building-machine-upr-ecoinvent-36-allocation-cut>

**Gui, L., Atasu, A., Ergun, Ö., & Toktay, L. B. (2016):** Efficient implementation of collective extended producer responsibility legislation. *Management Science*, 62(4), S. 1098-1123.

**Guide, V. D. R., & Van Wassenhove, L. N. (2009):** The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research (online). *Operations Research*, 57(1), S. 10–18., [abgerufen am 21.01.2025], verfügbar unter: <http://www.jstor.org/stable/25614727>

**Hallmann, U. und Jäger, F. (2010):** Management von Rücknahmesystemen der nächsten Generation. In: Sustainability Nexus Forum / Ausgabe 2/2010, Springer-Verlag, ISSN: 2948-1627

**iPoint Umberto Software (kein Datum):** Umberto (online), [abgerufen am 30.01.2025], verfügbar unter: <https://www.ifu.com/de/umberto/oekobilanz-software/>

**IW Consult (2023):** Abwassergebühren für Unternehmen 2023 Im Auftrag der IHK Mittlerer Niederrhein. IW Consult (online), [abgerufen am 30.01.2025], verfügbar unter: <https://mittlerer-niederrhein.ihk.de/de/media/pdf/wirtschaftsstandort/methodenbericht-iw-abwassergebuehren-ranking.pdf>

**Kirchherr, J., Yang, N. H., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023):** Conceptualizing the circular economy (revisited): An analysis of 221 definitions 194, 107001. Resources, Conservation, and Recycling, 194(107001).

**Köhn, E. (2019):** „Circular Economy ist kein Selbstzweck“ (online). In: UmweltDialog. [abgerufen am 21.01.2025], verfügbar unter: <https://www.umweltdialog.de/de/wirtschaft/circular-economy/2019/Circular-Economy-ist-kein-Selbstzweck.php>

**Lange, U. (2017):** Kurzanalyse 18: Ressourceneffizienz durch Remanufacturing – Industrielle Aufarbeitung von Altteilen. (online). [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter: [https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/1\\_Themen/h\\_Publikationen/Kurzanalysen/VDI\\_ZRE\\_Kurzanalyse\\_18\\_Remanufacturing\\_bf.pdf](https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Kurzanalysen/VDI_ZRE_Kurzanalyse_18_Remanufacturing_bf.pdf)

**Lasch, R. (2023):** After Sales und Reverse Logistics. In: Strategisches und operatives Logistikmanagement: Prozesse. Springer Fachmedien Wiesbaden, ISBN: 978-3-658-40908-1.

**Löw, C., Manhart, A., Prakash, S. und Michalscheck, M. (2021):** Design-for-recycling (D4R) – State of play (online). GIZ und Öko-Institut e.V., [abgerufen am 23.01.2025], verfügbar unter: [https://www.giz.de/de/downloads/2021-06%20Design%20for%20recycling\\_barrierefrei.pdf](https://www.giz.de/de/downloads/2021-06%20Design%20for%20recycling_barrierefrei.pdf)

**MacArthur, E. (2013):** Towards the circular economy, economic and business rationale for an accelerated transition (online). Cowes, UK, 1: Ellen MacArthur Foundation, [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>

**MarLCA (2024):** Marine impacts in LCA (online), [abgerufen am 30. 09. 2024], verfügbar unter: <https://marilca.org/>

**Mayers, K., & Butler, S. (2013):** Producer responsibility organizations development and operations: A case study. *Journal of industrial ecology*, 17(2), S. 277-289.

**Micheaux, H., & Aggeri, F. (2021):** Eco-modulation as a driver for eco-design: A dynamic view of the French collective EPR scheme. *Journal of Cleaner Production*. 289, 125714.

**Microsoft® Bing™ Maps Platform API (2024):** Microsoft® Bing™ Maps Platform API (online), [abgerufen am 04. 02. 2025], verfügbar unter: Terms of use under <https://www.microsoft.com/en-us/maps/bing-maps/product/print-rights/>

**Mostert, C., & Bringezu, S. (2019):** Measuring Product Material Footprint as New Life Cycle Impact Assessment Method: Indicators and Abiotic Characterization Factors. *Resources*, 61. Verfügbar unter: doi:<https://doi.org/10.3390/resources8020061>

**Mühlthaler, S. (2008):** Strategische Standortplanung in Reverse-Logistik-Netzwerken - Eine empirische und modellgestützte Analyse, Dargestellt für die Amaturenaufarbeitung. Dissertation. Universität Kassel, ISBN: 978-3-89958-626-8.

**Östlin, J.; Sundin, E. und Björkmann, M. (2009):** Product life-cycle implications for remanufacturing strategies. In: *Cleaner Production*, 17 (11), Elsevier, Jul. 2009. S. 999-1009.

**Pauliuk, S. (2022):** Characterization factors for material flow accounting (material footprint) for process-based LCA – Documentation for ecoinvent 3.7.1 and 3.8 in openLCA. *Industrial Ecology Freiburg (IEF) Working Paper 3*. University of Freiburg, Germany. (online), [abgerufen am 30.01.2025], verfügbar unter: <https://freidok.uni-freiburg.de/data/226265>

**PLASTICS RECYCLERS EUROPE (2020):** HDPE & PP MARKET IN EUROPE STATE OF PLAY - HDPE & PP MARKET IN EUROPE STATE OF PLAY (online), [abgerufen am 11. 11. 2024], verfügbar unter: <https://www.plasticsrecyclers.eu/wp-content/uploads/2022/10/hdpe-pp-market-in-europe.pdf>

**Potting, J.; Worrell, E. und Hekkert, M. P. (2017):** Circular Economy: Measuring innovation in the product chain. Hg. v. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. The Hague.

**PROBAS Datenbank (kein Datum):** PROBAS (online), [abgerufen am 30.01.2025], verfügbar unter: <https://www.probas.umweltbundesamt.de/php/index.php>

**Rall, B. (2019):** Distributionslogistik. In: Betrieb von Logistiksystemen. Hrsg.: Prof. Dr. Kai Furmans, Dr. Christoph Kilger, Springer Berlin Heidelberg, ISBN: 978-3-662-57943-5

**Richtlinie (EU) 2024/1799** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 über gemeinsame Vorschriften zur Förderung der Reparatur von Waren (online).[abgerufen am 23.01.2025], verfügbar unter: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L\\_202401799](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401799)

**Schulte, A., Kampmann, B., & Galafton, C. (2023):** Measuring the Circularity and Impact Reduction Potential of Post-Industrial and Post-Consumer Recycled Plastics, Supportig information.(online), [abgerufen am 30. 10. 2024], verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/16/12242>

**Schwalbe (kein Datum):** Rücknahme von Fahrradschläuchen durch Schwalbe. (online), [abgerufen am 07. 10. 2024], verfügbar unter: <https://www.schwalbe.com/schwalbe-recyc-ling/?srsltid=Afm-BOoqKFf8pZbALhTSyPk86mdpvtYWlvbVYdZ9RgeLs0oskDpv10cZd>

**Shan, C., Pandyaswargo, A., & Onoda, H. (2023):** Environmental Impact of Plastic Recycling in Terms of Energy Consumption: A Comparison of Japan's Mechanical and Chemical Recycling Technologies (online), [abgerufen am 30.10.2024], verfügbar unter: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2199>

**Stahel, W. R. (2016):** The circular economy. *Nature*, 531(7595), 435-438.

**statista (2024a):** Einwohnerzahl der größten Städte in Deutschland am 31. Dezember 2023 (online), [abgerufen am 12. 11. 2024], verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1353/umfrage/einwohnerzahlen-der-grossstaedte-deutschlands/>

**statista (2024b):** Durchschnittlicher Preis für Diesel-Kraftstoff in Deutschland vom 7. Januar 2014 bis zum 30. November 2024 (online), [abgerufen am 02.12. 2024], verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/224105/umfrage/durchschnittlicher-preis-fuer-diesel-kraftstoff/>

**Sundin, E.; Sakao, T.; Lindahl, M.; Kao, C. und Joungerious, B. (2016):** Map of Remanufacturing Business Model Landscape [online]. European Remanufacturing Network, [abgerufen am 21. Jan. 2025], verfügbar unter: <https://www.remanufacturing.eu/assets/pdfs/ERN-D-3-1-Map-of-Remanufacturing-Business-Model-Landscape.pdf>

**Tukker, A. (2004):** Eight types of Product-Service System: Eight ways to sustainability? Experiences from SusProNet. *Business Strategy and the Environment*, 13 (4), S. 246 – 260.

**VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2022):** Matrix zur systematischen Bewertung des Remanufacturing-Potenzials (online). VDI Zentrum Ressourceneffizienz, [abgerufen am 23.01.2025], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/detailseite/studie-remanufacturing/>

**VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2024):** Kreislaufführung von Produkten und Bauteilen (online). VDI Zentrum Ressourceneffizienz, [abgerufen am 21.01.2024], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/themen/produktentwicklung/>

**Verordnung (EU) 2024/1781** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte (online). [abgerufen am 31.02.2025], verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1781/oj?locale=de>



**Verordnung (EG) Nr. 1907/2006** des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Chemikalienagentur (online). [abgerufen am 21.01.2025], verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:de:PDF>

**VinylPlus (2024)**: Progress Report REPORTING ON 2023 ACTIVITIES (online). [abgerufen am 05.02.2025], verfügbar unter: [https://www.vinyl-plus.eu/wp-content/uploads/2024/09/VinylPlus-Progress-Report-17-09\\_web.pdf](https://www.vinyl-plus.eu/wp-content/uploads/2024/09/VinylPlus-Progress-Report-17-09_web.pdf)

**Wikimedia Commons (2006)**: File:Karte Bundesrepublik Deutschland.svg (online), [abgerufen am 03. 02. 2025], verfügbar unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karte\\_Bundesrepublik\\_Deutschland.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karte_Bundesrepublik_Deutschland.svg)

## **ANHANG**

### **Fallbeispiele Rücknahmesysteme**

Wilo – Pumpen	121
Lorenz – Wasserzähler	124
Hannemann – Bobby Patronen	128
Industrievereinigung Kunststoffverpackungen – ERDE	131
Rewindo – Fensterrahmen	134
Zentek – Rücknahme-Logistik	138

## FALLBEISPIEL 1: WILO – PUMPENRECYCLING

Produkt	Kundschaft	Verpflichtend/ freiwillig	Rücknahme etabliert seit
Pumpen und Pumpensysteme	Fachhandwerks- betriebe, Groß- händler	verpflichtend	Ende 2021

Die Wilo-Gruppe, als Hersteller von Pumpen und Pumpensystemen für die Gebäudetechnik, die Wasserwirtschaft und die Industrie, bietet deutschlandweit ein herstellerunabhängiges Rücknahmesystem für Altpumpen an.<sup>86</sup>

Mit dem Exportstopp seltener Erden durch China im Jahr 2012 und den damit verbundenen Lieferengpässen erfolgte bei WILO ein Umdenken, da die in ihren Pumpen enthaltenen Permanentmagneten seltene Erden enthalten. Während eines Forschungsprojektes wurde das Konzept einer zirkulären Wertschöpfungskette von Hocheffizienzpumpen zusammen mit Herstellern, Großhändlern, Fachhandwerkern und Recyclingbetrieben sehr erfolgreich erprobt und hat sich mittlerweile am Markt etabliert.

Teilnehmende Kunden (Fachhandwerksbetriebe, Großhändler) können die Altpumpen in einer von WILO zur Verfügung gestellten Gitterbox selbst sammeln. Fallen bei Fachhandwerksbetrieben nur kleine Mengen an, können diese über einen teilnehmenden Großhändler rückgeführt werden. WILO gewährleistet, dass jede volle Box (Inhalt: ca. 600 kg ungereinigte Altpumpen) nach Anmeldung innerhalb von fünf Tagen von einer beauftragten Spedition (auf Kosten von WILO) abgeholt wird. Derzeit gibt es ca. 450 Sammelstellen (80 % mittelgroße/große Fachhandwerksbetriebe, 20 % Großhändler).

<sup>86</sup> Vgl. wilo Deutschland (kein Datum): Fachhandwerker (online), [abgerufen am 05.02.2025], verfügbar unter: <https://wilo.com/de/de/Fachhandwerker/Kontakt-Services/Pumpenrecycling>

Die in den Pumpen enthaltenen Permanentmagneten sorgen für einen reduzierten Stromverbrauch beim Einsatz der Pumpen. Wilo kann diese Magnete bei eigenen Altpumpen einfach entfernen und in neuen Pumpen wieder einsetzen. Ist dies nicht möglich, z. B. aufgrund geänderter Baugrößen oder Fremdprodukten, werden die ausgebauten Magnete bei der Partnerfirma zu Magnetpulver und in der Wilo-Magnetfertigung wieder zu einem neuen Magneten verarbeitet.

## **Geschäftsmodell und Anreize**

Für die teilnehmenden Kundinnen und Kunden ist das Rücknahmesystem kostenlos und v. a. unkompliziert. Kreislaufführung und Rückführung liegen bei WILO, als herstellendes Unternehmen, in den eigenen Händen. Darüber hinaus steht WILO aufgrund seiner Geschäftstätigkeit über den Außendienst in engem und direktem Kontakt mit Handwerksbetrieben und Großhändlern. Dies wirkt sich positiv auf die Teilnahme am Rücknahmesystem aus.

Wilo finanziert die Abholung der Altpumpen derzeit über den Materialwert der demontierten Pumpen.

Da es sich bei den Altpumpen nach dem Elektroaltgerätegesetz (ElektroG)<sup>87</sup> §2 und Anlage 1 um Elektronikaltgeräte handelt, müssen diese gemäß den Vorschriften des ElektroG entsorgt werden. Hier liegt auch ein großer Vorteil des Rücknahmesystems: WILO garantiert den Kunden eine gesetzeskonforme Rückgabe und kann, als zertifizierte Erstbehandlungsanlage, ein Zertifikat dafür ausstellen. Die Kundinnen und Kunden vermeiden so Bußgelder, die bis zu 100.000 € betragen können. Darüber hinaus leisten die Kundinnen und Kunden einen wichtigen Beitrag für die Umwelt, für die Kreislaufführung seltener Erden sowie die Reduzierung der Rohstoffabhängigkeit des Pumpenherstellers.

---

<sup>87</sup> Das deutsche Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (*ElektroG*) setzt die europäische WEEE-Richtlinie 2012/19/EU in deutsches Recht um.

## Herausforderungen

Im Vergleich zu neuen Pumpen, die unaufwändig per Post oder Spedition verschickt werden können, erweist sich die rechtliche Einstufung der Altpumpen als Elektroaltgeräte zu einer Herausforderung, da diese somit zu den gefährlichen Abfällen zählen<sup>88</sup> und damit besonders strengen Anforderungen beim Abfalltransport unterliegen.

Eine weitere Herausforderung liegt in der Optimierung der Rückfuhrlogistik. WILO widmet sich dieser Thematik derzeit in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik (Fraunhofer IML).

### Links und weiterführende Informationen

Website des Unternehmens:  
[www.wilo.com](http://www.wilo.com)

Kontakt:  
Wilo SE  
Wilopark 1  
44263 Dortmund

---

<sup>88</sup> Zuordnung von im gewerblichen Bereich anfallender Monochargen von Elektroaltgeräten nach Abfallverzeichnisverordnung (AVV) als „1602 Abfälle aus elektrischen und elektronischen Geräten“.

## FALLBEISPIEL 2: LORENZ – WASSERZÄHLER

Produkt	Kundschaft	Verpflichtend/ freiwillig	Rücknahme etabliert seit
Wasserzähler	Kommunen und Messstellenbetrei- ber	freiwillig	2009

Das Rücknahmesystem für Wasserzähler ist bei Lorenz zunächst aus einer rein wirtschaftlichen Sichtweise entstanden. In den 2000er Jahren herrschte ein starker Preiskampf am Markt der Wasserzähler. Viele konkurrierende Unternehmen sind auf günstigere Rohstoffe für die Herstellung (z. B. Kunststoffe) umgestiegen oder haben die Produktion in andere Länder verlagert. Das Ziel von Lorenz war es, weiterhin hochwertige Messing-Produkte mit dem Qualitätsstandard „Made in Germany“ anzubieten. Der Wirtschaftsstandort in Baden-Württemberg sollte beibehalten werden. Die Rücknahme stellt einen wirtschaftlichen Vorteil dar, da der Rohstoff Messing mehrfach genutzt und somit signifikant Kosten eingespart werden können. 2006 gab es die ersten Überlegungen zur Kreislaufführung, gefolgt von ersten Pilotprojekten mit Kommunen und Messstellenbetreibern im Jahr 2009.

### Geschäftsmodell und Anreize

Lorenz arbeitet mit Kommunen und Messstellenbetreibern zusammen, die Wasserzähler in Haushalten und Liegenschaften einbauen. Den Montageunternehmen werden zur Deinstallation der Zähler von Lorenz Gitterboxen kostenfrei bereitgestellt, welche anschließend von Lorenz abgeholt werden. Für die Messstellenbetreiber ist es wirtschaftlich sinnvoll, verschiedene Arten von Zählern gleichzeitig auszubauen. Um die Hürden für die Kundinnen und Kunden möglichst gering zu halten, akzeptiert Lorenz alle Arten von Messgeräten und nimmt auch Konkurrenzprodukte zurück. Der Rücklauf wird anschließend in der Kreislaufwirtschaftsabteilung von Lorenz sortiert. Die Kosten für die Rücknahmelogistik werden vollständig von

Lorenz getragen. Für die wieder bei Lorenz eintreffenden Zähler erhält der Kunde eine Gutschrift. Hierbei handelte es sich zunächst um einen Pauschalbetrag pro Zähler. Dieses Modell wird nun sukzessive von einem neuen Geschäftsmodell abgelöst, bei dem die Höhe der Gutschriften an den Zustand der Zähler gekoppelt ist. Neben der Gutschrift entsteht für Kundinnen und Kunden der Vorteil, dass ein wirtschaftlicher und zeitlicher Aufwand der eigenständigen Entsorgung eingespart werden kann.

Der Rücklauf ist für Lorenz gut planbar. Wasserzähler unterliegen einer gesetzlichen Eichperiode von sechs Jahren, sodass die Zähler nach diesem Zeitraum wieder ausgebaut werden müssen. Lorenz hat seit der Einführung der rücknahmefähigen Zähler ein erhebliches Volumen an Geräten am Markt verbaut, sodass mittlerweile täglich Rückläufe anfallen können.

Nachdem die gefüllte Gitterbox bei Lorenz angekommen ist, werden die Produkte, Fehlwürfe und Fremdprodukte (z. B. Abfälle) sortiert und erfasst. Anschließend werden die Wasserzähler in der Regel einer Aufarbeitung (engl. Remanufacturing) zugeführt. Mithilfe eines Infrarotchecks wird die Funktionsfähigkeit und Qualität der Wasserzähler ermittelt. Darauf basierend wird individuell für jeden Wasserzähler entschieden, welche Maßnahmen notwendig sind, um die Komponenten im Kreislauf zu führen. Zu den Maßnahmen gehören unter anderem die Reinigung der Komponenten, eine komplette Zerlegung (engl. Disassembly) oder nur der Austausch von einzelnen Komponenten. Die Batteriekapazität ist auf eine Dauer von zwei Eichperioden ausgelegt, sodass oftmals eine Wiederverwendung (engl. Reuse) stattfinden kann. Um die Aufarbeitung (engl. Remanufacturing) am Lebensende zu fördern, setzt Lorenz seit 2015 in der Produktion nur noch zu 100 % kreislauffähige Komponenten ein.

Die Einführung des Rücknahmesystems hat maßgeblich zum Erfolg des Unternehmens beigetragen. Durch die Rücknahme der Messinggeräte konnte sich das Unternehmen unabhängig vom globalen Rohstoffmarkt, Lieferengpässen sowie stark steigenden Rohstoffpreisen machen. Somit konnten Lieferengpässe beispielsweise während der Corona-Krise und der

Sperrung des Suez-Kanals umgangen werden. Durch das stärker werdende Nachhaltigkeitsbewusstsein in der Gesellschaft sieht Lorenz zudem große Vorteile bei der Wahrnehmung durch Kundinnen und Kunden und bzgl. des Images bei potenziell neuen Mitarbeitenden.

## **Herausforderungen**

Lorenz hat sich bereits im Zeitraum zwischen 2000 und 2010 mit dem Thema Rücknahme und Recycling auseinandergesetzt. Damals war das gesellschaftliche Nachhaltigkeitsbewusstsein weniger ausgeprägt. Das führte dazu, dass die Unternehmensführung Überzeugungsarbeit gegenüber den Beschäftigten leisten musste, um das neue Geschäftsmodell der Rücknahme und Wiederaufbereitung attraktiv zu machen. Heute wird die Vorreiterrolle unter Beschäftigten und potenziell neuen Mitarbeitenden positiv wahrgenommen.

Eine weitere Herausforderung war die wirtschaftliche Planung. Der Rücklauf der Zähler erfolgt erst nach sechs Jahren, sodass finanzielle Vorteile, wie zum Beispiel die Unabhängigkeit vom Ressourcenmarkt erst sehr spät ihre Wirkung zeigen. Durch die Stellung von Lorenz als mittelständiges Unternehmen und das Vertrauen der Gesellschafter sowie die Unabhängigkeit vom Aktienmarkt konnte der Schritt trotzdem gegangen werden. Durch die Einführung weiterer kreislauffähiger Produkte und eine langfristige Durchführung des Geschäftsmodells steigen heute die Rückläufe der Wasserzähler exponentiell.

In Bezug auf die operative Rücknahme besteht die Herausforderung der Fehlwürfe. Teilweise werden gefährliche Abfälle in den Gitterboxen entsorgt. Anfangs verfolgte Lorenz das Ziel, die Hürden für die Kundinnen und Kunden möglichst gering zu halten, um die Kreislaufführung möglich zu machen. Durch ein verbessertes gesellschaftliches Nachhaltigkeitsbewusstsein sieht Lorenz die Möglichkeit, den Kundinnen und Kunden nun mehr Barrieren zuzumuten, um eine sortenreine Rückführung der Wasserzähler zu gewährleisten. Derzeit arbeitet Lorenz diesbezüglich Ansätze aus.



Wie erwähnt, ist der Rücklauf der Wasserzähler gut planbar, da sie nach einer Eichperiode von sechs Jahren ausgetauscht werden müssen. Herausforderungen entstehen bezüglich des genauen Zeitpunktes des Rücklaufs. Um eine bessere Planbarkeit zu gewährleisten, möchte Lorenz in Zukunft Prognosen zur Rückführung von den Messstellenbetreibern anfragen.

### **Links und weiterführende Informationen**

Website des Unternehmens:

[www.lorenz-meters.de](http://www.lorenz-meters.de)

Kontakt:

Lorenz GmbH & Co.KG

Burgweg 3

89601 Schelklingen – Ingstetten

## FALLBEISPIEL 3: HANNEMANN – BOBBY® PATRONEN

Produkt	Kundschaft	Verpflichtend/ freiwillig	Rücknahme etabliert seit
BOBBY® - Die Mehrweg- Patrone	Fachhanwerks- betriebe	freiwillig	April 2007

Die Firma Hannemann Wassertechnik bietet als Hersteller von Heizungswasserfüllanlagen verschiedene Systeme an. Im tragbaren Füllsystem HARDY JUN. kommen Wechselfatronen zum Einsatz, um das Leitungswasser je nach Bedarf zu enthärten, zu entsalzen oder zu filtern. Zu diesem Zweck gibt es unterschiedliche austauschbare Mehrwegpatronen unter der Bezeichnung BOBBY®. Diese BOBBYs werden in einem freiwilligen Rücknahmesystem angeboten. Hierfür steht eine in Deutschland gefertigte Mehrweg-Box, die sog. BOBBY® -Box, als praktischer Six-Pack mit sechs BOBBYs zur Verfügung, welche im Pfandsystem getauscht wird.

Hannemann hatte bereits mobile und portable Heizungswasserfüllanlagen im Portfolio, als das Unternehmen von einem Kunden angeregt wurde, eine Mehrweg-Patrone zu entwickeln. Die Lieferung und Rücksendung der verbrauchten BOBBY® -Box erfolgt per Versanddienstleister. Bei Hannemann werden die gebrauchten Patronen entleert, gereinigt und das Ionenaustauscherharz auf seine Funktionalität geprüft. 98 % des in den Patronen enthaltenen Harzes wird inhouse, 2 % (Sonderharze) von einer externen Regenerierstation fachgerecht wiedergewonnen. Anschließend werden die Patronen wieder befüllt und gekennzeichnet, sodass sie nach einer strengen Qualitätskontrolle zur Wiedervermarktung erneut zur Verfügung stehen.

### Geschäftsmodell und Anreize

Die Kosten der Rücknahme werden anteilig von den Kundinnen und Kunden und vom Hersteller über eine Versandkostenpauschale getragen. Die Kundinnen und Kunden müssen für die Rücksendung der BOBBY® -Box

per UPS eine Pauschale in Höhe von 7.50 € zahlen. Die Lieferung wird mit 12,80 € berechnet und ist ab zwei BOBBY®- BOXEN versandkostenfrei. Letztlich zahlt sich das Mehrwegsystem mehrfach für die Kundinnen und Kunden aus. Die Mehrwegpatrone erhält der Abnehmende im Marktvergleich ca. zu den halben Kosten einer handelsüblichen Einwegpatronen, berechnet auf die Nutzungsdauer.

Das Produktdesign (die BOBBY® -Box ist als Six-Pack einem Getränkekasten nachempfunden), die übersichtliche Produktkennzeichnung, der Service (einfacher Versand per UPS) sowie der Preis der Mehrwegpatronen ergänzen sich mit dem Wunsch der Kundinnen und Kunden nach Mehrweg statt Einweg und stellen laut Hannemann die Hauptanreize für die Kundschaft dar.

Die Kapazität einer BOBBY®-BOX liegt abhängig von der Rohwasserhärte bei ca. 3.000 Litern. Die Harze können bei schonendem Prozess ca. 500 bis 1.000 Regenerationszyklen durchlaufen und je Box bis zu 3.000 Liter Wasser enthärten, entsalzen oder filtern. Am „Lebensende“ wird das Harz als Wertstoff (Kunststoff) entsorgt.

Für den Hersteller ist eine nachhaltige Aufbereitung und Wiederverwendung des gebrauchten Harzes nicht nur aus Umweltschutzgründen unabdingbar, sondern auch weil die Harze eine wertvolle Ressource darstellen. Derzeit ist eine Entsorgung gebrauchter Einwegpatronen über den Hausmüll bei Marktbegleitern gängige Praxis. Dabei wird jedoch nicht berücksichtigt, dass sich in den Harzen Ablagerungen, u. U. auch Schwermetalle, aus dem Heizungswasser anhaften können, die nicht in die Hausmüllverbrennung gelangen sollten.

## **Herausforderungen**

Die externe Regeneration des geringen Anteils an Sonderharzen erfolgte von Beginn an reibungslos, da die zu waschenden Harze – dank des Hannemann-Konzeptes (getrennte Systeme für Enthärtung und Entsalzung, sowie geschulte Kundschaft, die Harze nicht zum Filtern missbraucht) –

keine Verschmutzungen aufweisen, die den Prozess der Regeneration stören könnten.

Die Markteinführung der Mehrwegpatrone erfolgte über das bestehende Kundenbeziehungsmanagement im direkten Dialog mit dem Kundenbestand und war von Anfang an erfolgreich. Weil es sich mit den anderen Produkten von Hannemann vorteilhaft für den Servicebereich ergänzte aber auch aufgrund des Preises, ist die Konkurrenzsituation minimal.

#### **Links und weiterführende Informationen**

Website des Unternehmens:

[www.hannemann-wassertechnik.de](http://www.hannemann-wassertechnik.de)

Kontakt:

Hannemann Wassertechnik e.K.

Finsinger Au 1

85570 Markt Schwaben

## FALLBEISPIEL 4: RIGK – „ERDE“

Produkt	Kundschaft	Verpflichtend/ freiwillig	Rücknahme etabliert seit
Agrarkunststoffe	Landwirtschaftliche Betriebe/ Organisationen, Handel	freiwillig	2013

ERDE (Erntekunststoffe Recycling Deutschland) ist ein deutschlandweites freiwilliges Rücknahme- und Verwertungssystem für Agrarkunststoffe. Unter dem Dach der IK Industrievereinigung Kunststoffverpackungen e.V. agiert die RIGK GmbH (Gesellschaft zur Rückführung industrieller und gewerblicher Kunststoffe) als Systembetreiber.

Die RIGK hatte bereits Erfahrung mit Rücknahmesystemen (im Jahr 1996 wurde das System „Pamira“ eingeführt<sup>89</sup>), als landwirtschaftliche Betriebe / Organisationen und der Handel nach werkstofflichen Verwertungsmöglichkeiten für Erntekunststoffe anfragten. Nach erfolgreichem Abschluss eines Pilotprojektes zur Rücknahme von Silo-Stretch (Rundballen, Fahrsilos) wurden weitere Produktgruppen (derzeit neun) ergänzt, so dass im Jahr 2023 39.912 Tonnen Agrarkunststoffe gesammelt werden konnten. Darüber hinaus wurde im Jahr 2023 mit „VerenA“ ein weiteres Rücknahmesystem für leere „Big Bags“ aus dem Agrarbereich eingeführt, mit dem Abfüller/Vertreiber ihre Rücknahme- und Verwertungspflichten gemäß § 15 VerpackG erfüllen können.<sup>90</sup>

Für die Abholung der sortenrein gesammelten und vorgereinigten gebrauchten Agrarkunststoffe gibt es je nach anfallender Menge unterschiedliche Vorgehensweisen (Direkt-, Bündel- oder Containerabholung,

<sup>89</sup> Vgl. PAMIRA (kein Datum): PAMIRA (online), [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter: <https://www.pamira.de/>

<sup>90</sup> Vgl. VerenA (kein Datum): VerenA (online), [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter: <https://www.verena-recycling.de/>

Komprimierung oder lose Bereitstellung). Die RIGK kann somit Skaleneffekte nutzen, um die Logistik so nachhaltig wie möglich zu organisieren.

Motivation für das Rücknahmesystem war und ist nach wie vor, die werkstoffliche Verwertung innerhalb der EU durchzuführen. Derzeit werden 60 % der anfallenden Agrarkunststoffe in Deutschland und 40 % in den Benelux-Staaten und in Polen recycelt. Die so erhaltenen Rezyklate werden von den zertifizierten Recyclern am Markt frei verkauft.

### **Geschäftsmodell und Anreize**

Die Kosten des Rücknahmesystems werden von allen Beteiligten getragen: Die teilnehmenden Hersteller subventionieren das System über ihre Mitgliedsbeiträge. Jeder landwirtschaftliche Betrieb bezahlt bei Abgabe seiner gebrauchten Folien an einer ERDE-Sammelstelle bzw. bei Direktabholung per Gewicht. Die Rückgabe über ERDE ist dabei deutlich kostengünstiger als bspw. die thermische Verwertung über einen örtlichen Entsorger. Alle Beteiligten haben Gewissheit, dass ihre Agrarkunststoffe in Stoffströmen innerhalb der EU gehalten und somit Emissionen im Vergleich zu einer thermischen Verwertung eingespart werden. Handel und Hersteller können Ihren Endkundinnen und Endkunden durch ihre Beteiligung am Rücknahmesystem einen guten Service anbieten.

### **Herausforderungen**

Um saubere Stoffströme zu gewährleisten, ist eine klare Definition und Kommunikation für die Materialannahme sowie eine strikte Trennung der unterschiedlichen Polymergruppen nötig. Additive, die sich u. U. eher störend auf das Recycling auswirken können, werden bereits in der Designphase durch engen Austausch mit den Herstellern möglichst ausgeschlossen.

### **Links und weiterführende Informationen**

Website des Unternehmens  
[www.rigk.de](http://www.rigk.de)

Kontakt:  
RIGK GmbH  
Friedrichstraße 6  
65185 Wiesbaden (Germany)

## FALLBEISPIEL 5: REWINDO – FENSTERRAHMEN

Produkt	Kundschaft	Verpflichtend/ freiwillig	Rücknahme etabliert seit
Fenster, Rollläden und Türen aus Kunststoff	Abbruch-/ Fens- terbau-/ Woh- nungsunterneh- men, Entsorger, Wert- stoffhöfe	freiwillig	2002

Führende deutsche Polyvinylchlorid (PVC)-Fensterprofilhersteller haben 2002 die Rewindo GmbH gegründet, um die Umsetzung der Recyclingziele der europäischen PVC-Branche voranzutreiben.<sup>91</sup> Seitdem koordiniert Rewindo das freiwillige Rücknamesystem für ausgebaute Fenster, Rollläden und Türen aus Kunststoff, die anschließend einem Recycling zugeführt werden. Zusammen mit autorisierten Recycling- und Logistikpartnern sowie vielen Annahmestellen übernimmt Rewindo bundesweit die logistische und technische Umsetzung des Sammel- und Wiederverwertungssystems.<sup>92</sup>

Die ausgebauten Fenster, Rollläden oder Türen können durch Rewindo-Recyclingpartner abgeholt oder bei diesen direkt angeliefert werden. Kleinstmengen (< 10 Fenster) können durch Selbstanlieferung auch bei einer der über 75 regionalen Partner-Annahmestellen abgegeben werden. Diese Annahmestellen nehmen ausgediente PVC-Fenster entgegen und beliefern damit wiederum die Recyclingpartner.

<sup>91</sup> Vgl. plasticker (2003): Rewindo: Kunststofffensterrecycling leicht gemacht (online), plasticker [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter: [https://plasticker.de/Kunststoff\\_News\\_443\\_Rewindo\\_Kunststofffensterrecycling\\_Leicht\\_gemacht?seite=1801&begriff=TST&div=n&check=](https://plasticker.de/Kunststoff_News_443_Rewindo_Kunststofffensterrecycling_Leicht_gemacht?seite=1801&begriff=TST&div=n&check=)

<sup>92</sup> Vgl. Rewindo (kein Datum): Kunststofffensterrecycling im Dienst der Kreislaufwirtschaft (online), Rewindo [abgerufen am 31.01.2025], verfügbar unter: <https://rewindo.de/infomaterial/>



In den Behandlungsanlagen der Recyclingpartner erfolgt, nach Trennung von Glas, Metall und Gummidichtungen, die Aufbereitung des PVC zu sortenreinem PVC-Granulat, welches bei der Herstellung von neuen Fensterprofilen eingesetzt werden kann. Das PVC kann bis zu sieben Mal wiederverwertet werden. Glas und Metall gehen in spezielle Recyclingbetriebe.

## **Geschäftsmodell und Anreize**

Das Rücknahmesystem basiert auf VinylPlus®, der freiwilligen Selbstverpflichtung der europäischen PVC-Industrie zur nachhaltigen Entwicklung. Diese enthält konkrete Ziele wie u. a. die Minderung der Emissionen bei der Herstellung von PVC sowie die Steigerung der Recyclingmengen. VinylPlus® setzt sich z. B. das konkrete Ziel, die Recyclingmenge für alle relevanten PVC-Produkte von derzeit (Stand 2023) 737.645 Tonnen auf 900.000 Tonnen bis zum Jahr 2025 zu steigern.<sup>93</sup>

Rewindo selbst konnte die Recyclingmengen von 35.000 Tonnen im Jahr 2019 auf über 44.200 Tonnen im Jahr 2022 steigern. Zusammen mit den 99.000 Tonnen recycelten Produktionsabfällen und Profilabschnitten im Jahr 2022 entspricht dies einer Recyclingquote von 88 %.

Sammlung, Transport und Wiederaufbereitung erfolgt durch autorisierte und auditierte Logistik- und Recyclingpartner von Rewindo.

Rewindo agiert als Clearinghouse, organisiert den Mengenstromnachweis<sup>94</sup> und unterstützt die auditierten Recyclingpartner bei der Akquise von Neukunden. Rewindo fungiert auch als Ansprechpartner zu allen Themen rund um das Recycling von Altfenstern in Deutschland. Zudem definiert Rewindo mit den Recyclingpartnern Annahmekriterien für die Annahme der Fenster, Rollläden und Türen, um eine Qualität des Materials

---

<sup>93</sup> Vgl. VinylPlus Progress Report 2024, S. 13 und S. 61.

<sup>94</sup> Mengenströme werden über das Portal von Recovinyll, namens RecoTrace™ europaweit erfasst und von unabhängigen Dritten auditiert.

sicherzustellen, die sich für einen Wiedereinsatz als Regranulat in Neuprodukten eignet.

Für die Kunden ist die Abgabe v.a. großer Mengen an die Rewindo-Partner günstiger als bspw. die thermische Verwertung über einen örtlichen Entsorger. Das Regranulat kann von den beteiligten Kunststoffprofilherstellern zu einem Preis meist unter dem für Neuware von den Partner-Recyclern erworben werden.

## **Herausforderungen**

Um saubere Stoffströme zu gewährleisten, sind klare Annahmekriterien sowie Qualitätsvorgaben für die Aufbereitung zum Rezyklat definiert. Darüber hinaus müssen alle beteiligten Recyclingpartner als Entsorgungsfachbetriebe zertifiziert sein.

Aufgrund der langen Nutzungsdauer von Fenstern, Rollläden und Türen (35-45 Jahre) sind elektrisch betriebene Systeme noch nicht im Rücknahmesystem angekommen. Die elektrischen und elektronischen Bauteile stellen die Industrie anfangs vor Herausforderungen in Bezug auf die Erfüllung der Pflichten zu separater Sammlung und Behandlung aus ElektroG<sup>95</sup> und ElektroStoffV<sup>96</sup>. Jedoch sind durch die Ausnahmeregelungen in ElektroG (§ 2 Abs. 2) und ElektroStoffV (§ 1 Abs. 2) Fenster, Rollläden und Türen mit elektrischen Bauteilen in ihrer Gesamtheit nicht als Elektroaltgerät einzustufen. Demzufolge wird sich am bewährten System der Sammlung, Aufbereitung und Trennung nichts ändern.

---

<sup>95</sup> Das deutsche Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (ElektroG) setzt die europäische Richtlinie 2012/19/EU (WEEE Directive) in deutsches Recht um.

<sup>96</sup> Die deutsche Elektro- und Elektronikgeräte-Stoff-Verordnung (ElektroStoffV) setzt die europäische Richtlinie 2011/65/EU (RoHS Directive) in deutsches Recht um.

**Links und weiterführende Informationen**

Website des Unternehmens:

[www.rewindo.de](http://www.rewindo.de)

Kontakt:

Rewindo GmbH

Fenster-Recycling-Service

Am Hofgarten 1 – 2

53113 Bonn

## FALLBEISPIEL 6: ZENTEK – RÜCKNAHMELOGISTIK

Produkt	Kundschaft	Verpflichtend/ freiwillig	Rücknahme etabliert seit
Planung und Organisation von Rücknahmesystemen sowie bundesweite Standortentsorgung	Hersteller, die von gesetzlichen Rücknahmepflichten betroffen sind, sowie Abfallmanagement für Gewerbe Handel und Industrie	regulatorische, sowie eigenständige bundesweite Rücknahmelösungen	1995

Die Zentek Gruppe bietet umfassende Dienstleistungen im Abfallmanagement an und entwickelt mit dem clozed loop™ System nachhaltige Lösungen, die den Anforderungen moderner Kreislaufwirtschaft gerecht werden. Zentek unterstützt Unternehmen dabei, ihre Abfallströme effizient zu organisieren, Wertstoffe wiederzuverwerten und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

### Geschäftsmodell und Anreize

Zur Organisation der Rücknahme greift Zentek auf ein flächendeckendes Netzwerk aus Kooperationspartnern zurück. Hierzu gehören Logistik- und Abfallbehandlungsunternehmen. Zentek organisiert u. a. Sammeltouren, bei denen Abfälle an verschiedenen Anfallstellen von Kundinnen und Kunden in geographischer Nähe voneinander abgeholt werden. Touren sind notwendig, da sich die Abholung bei einzelnen Anfallstellen mit geringen Mengen wirtschaftlich häufig nicht lohnt. Für die Sammlung an der Anfallstelle lässt Zentek Behälter zur Verfügung stellen. Je nach Abnehmendem und Anfallmenge können unterschiedliche Geschäftsmodelle abgerufen werden, hierzu gehören eine regelmäßige Abholung oder eine Abholung auf Abruf nach Überschreiten einer bestimmten Zielmenge. Die Abfälle werden anschließend zur nächsten Station gebracht, hierzu zählen

Zwischenlager, Verwertungs- bzw. Entsorgungsanlagen. Die Transportdistanz zur Zwischenlagerung oder zur finalen Abfallbehandlung sollte weniger als 50 Kilometer betragen. Zur Optimierung dieses Logistiksystems arbeitet Zentek stets weiter an der geographischen Verdichtung der Kooperationsunternehmen. Über den weiteren Verwertungsweg der Abfälle entscheidet bisher häufig der jeweilige Dienstleister.

Neben den oben beschriebenen Tätigkeiten etabliert Zentek auch Systeme zur Realisierung eines geschlossenen Kreislaufes von Wertstoffen, die unter der geschützten Marke „clozed loop“ betrieben werden. Ein Beispiel hierfür ist die Kooperation mit dem Verpackungshersteller Jokey für ein Rücknahmesystem von Kunststoffeimern, die nach der Nutzung einem Recycling zugeführt werden. Die Eimer werden nach der Nutzung in Behältnissen gesammelt und über Logistikpartner eingesammelt. Die Polypropylen-Eimer werden zunächst von Anhaftungen befreit und nachfolgend zu einem Rezyklat verarbeitet. Dieses kann wieder als Sekundärrohstoff bei Jokey eingesetzt werden. Für die Schritte der Aufbereitung werden unterschiedliche Dienstleistende engagiert. Da es bisher in diesem Bereich noch nicht fleckendeckend Anbieter gibt, müssen zwischen den einzelnen Aufbereitungsschritten teilweise überdurchschnittliche lange Transportdistanzen überbrückt werden. Die Kosten für die Rücknahme und das Recycling übernimmt hierbei der Verpackungshersteller, für die Anfallstellen ist die Rücknahme hingegen kostenfrei. Die Kosten für das Recycling und den Einsatz der Rezyklate sind jedoch höher als der Einsatz von Primärrohstoffen. Anreiz für die Einführung des Systems ist der Wunsch nach einem ökologischen Wirtschaften. Auch die Kundinnen und Kunden der Verpackungshersteller, die die Mehrkosten aufgrund höherer Einkaufspreise für Eimer mit Rezyklatanteil mittragen, agieren aus ökologischer Überzeugung.

## Herausforderungen

Eine Herausforderung bei den Rücknahmesystemen besteht darin, eine hohe Qualität der Sammlung zu gewährleisten. Dabei ist auf die Sortenreinheit und Sauberkeit des Abfalls zu achten. Fehlwürfe von anderen Abfällen in die Sammelbehältnisse finden regelmäßig statt. Dies führt zu einer erhöhten Kostenbelastung im Aufbereitungsprozess, da zusätzliche Sortierschritte notwendig werden. Auch für die technische Umsetzung einer Aufbereitung ist ein möglichst sortenreiner Abfall notwendig. Zur Lösung dieses Problems führt Zentek Sensibilisierungsmaßnahmen durch. Die Auftraggebenden (z. B. Hersteller von Kunststoffeimern) kommunizieren die Kooperation mit Zentek an ihre Kundschaft (Anfallstellen). Diese können sich anschließend bei Fragen direkt an Zentek wenden. Zur Realisierung einer sortenreinen Sammlung klärt Zentek direkt die betroffenen Sammelstellen auf. Des Weiteren ist die Sauberkeit der Abfälle relevant. Gebrauchte Verpackungseimer von bauchemischen Produkten müssen z. B. restentleert, auch spachtelrein genannt, zurückgegeben werden.

Eine weitere Herausforderung ist das Aufstellen der Sammelbehältnisse an den Anfallstellen. Aufgrund von limitierter freier Flächenverfügbarkeit sind die Anfallstellen teilweise nicht bereit, einen Container bei sich aufzustellen. In solchen Fällen wird die Bereitstellung von anderen Behältnissen in Betracht gezogen, hierzu zählen z. B. die deutlich kleineren „Big bags“. Zentek bevorzugt das Aufstellen von großen Containern, um bei den Abfallbehandlern große Abnahmemengen zu gewährleisten. Im Fall der Kunststoffeimer wird beispielsweise eine Mindestabnahmemenge von 20 Tonnen beim Recycler angestrebt.

### **Links und weiterführende Informationen**

Website des Unternehmens:  
[www.zentek.de](http://www.zentek.de)

Kontakt:  
Zentek Gruppe  
Ettore-Bugatti-Straße 6 - 14  
51149 Köln





VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE)  
Bülöwstraße 78  
10783 Berlin  
Tel. +49 30-2759506-505  
zre-info@vdi.de  
[www.ressource-deutschland.de](http://www.ressource-deutschland.de)

