

■ WHITEPAPER

Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management

# **CIRCULAR ECONOMY LOGISTICS: FÜR EINE KREISLAUFWIRTSCHAFT 4.0**

**AUTOREN**

Verena Fennemann, Fraunhofer IML  
Christian Hohaus, Fraunhofer IML  
Jan-Philip Kopka, Fraunhofer IML

**HERAUSGEBER**

Prof. Dr. Dr. h. c. Michael ten Hompel  
Prof. Dr. Michael Henke  
Prof. Dr.-Ing. Uwe Clausen

**INTERNET**

Das Whitepaper steht Ihnen auch im Internet zur Verfügung unter <http://s.fhg.de/CELogistics>.

**KONTAKT**

Fraunhofer-Institut für Materialfluss  
und Logistik IML

Joseph-von-Fraunhofer-Str. 2–4  
44227 Dortmund

[schriftenreihe@iml.fraunhofer.de](mailto:schriftenreihe@iml.fraunhofer.de)  
+49 231 9743-285

**DOI**

10.24406/IML-N-470090

# CIRCULAR ECONOMY LOGISTICS: FÜR EINE KREISLAUFWIRTSCHAFT 4.0

Der Leitgedanke der Circular Economy ist es, Rohstoffe weitgehend abfall- und emissionsfrei so lange wie möglich im Wirtschaftskreislauf zu halten. Hierzu müssen ausgediente Produkte bzw. Materialien nach ihrer ursprünglichen Nutzung auf höchstmöglicher Wertschöpfungsstufe gehalten werden. Um eine solche zirkuläre Wirtschaftsweise zu realisieren, sind – neben Ansätzen zum recyclinggerechten Produktdesign und neuen Geschäftsmodellen – angepasste Logistikkonzepte zur Koordinierung der Stoff- und Informationsflüsse unabdingbar. Die Entwicklungen der Digitalisierung, Industrie 4.0 und des Internets der Dinge bieten hierfür Lösungsansätze, die bisher jedoch weitgehend ungenutzt bleiben. Doch auch mögliche Nachteile der Circular Economy wie z. B. Rebound-Effekte sowie erhöhter Ressourcenbedarf durch den Einsatz der digitalen Technologien selbst müssen berücksichtigt werden. Aufgrund ihrer starken Integration in die Prozesse von Produktion, Nutzung und Entsorgung steht hierbei die Logistik in der besonderen Verantwortung einen eigenen Beitrag zum nachhaltigen Wirtschaften zu leisten. Dieses Whitepaper stellt logistische Trends vor, die die Transformation zu einer Circular Economy unterstützen. Der Fokus liegt dabei auf Stoffkreisläufen der Technosphäre, die aus nicht erneuerbaren Ressourcen bestehen.

## **FUTURE CHALLENGES IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT**

Die Schriftenreihe »Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management« greift aktuelle Herausforderungen auf, beleuchtet Trends und fokussiert neuartige Technologien und Geschäftsmodelle.

Die verschiedenen Ausgaben der Schriftenreihe zeichnen das Zukunftsbild einer innovativen Branche, das von Forschung und Praxis gestaltet und gelebt wird.

# CIRCULAR ECONOMY LOGISTICS: FÜR EINE KREISLAUFWIRTSCHAFT 4.0

<b>Der Paradigmenwechsel der Circular Economy</b> .....	<b>1</b>
Konzept .....	2
Akteure .....	4
Treiber und Hemmnisse .....	8
Regelwerke und Politik .....	10
Positionen der Industrie .....	12
<b>Logistik für die Circular Economy</b> .....	<b>14</b>
Trends und Entwicklungen .....	15
Logistische Transformation .....	18
<b>Szenarien für die Circular Economy</b> .....	<b>21</b>
Schrittweise Kreislaufschließung .....	21
Vollumfängliche Transformation .....	24
Zusammenfassung .....	27
<b>Ausblick</b> .....	<b>28</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>30</b>

# DER PARADIGMENWECHSEL DER CIRCULAR ECONOMY

Das Konzept der Circular Economy hat in den letzten Jahren in Forschung, Industrie und Gesellschaft verstärkte Aufmerksamkeit erhalten. Vor dem Hintergrund der stark angestiegenen Weltwirtschaftsentwicklung der letzten Jahre bei gleichzeitig zunehmender Verknappung von Rohstoffen und den Herausforderungen von Klimawandel und Umweltschutz soll die Circular Economy einen Beitrag dazu leisten, eine nachhaltige, CO<sub>2</sub>-arme, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft zu schaffen. Das primäre Ziel ist in erster Linie die Sicherung der Rohstoffversorgung durch Einsparung von Ressourcen sowie durch gesteigerte Ressourceneffektivität. Die Kreislaufführung von Produkten und Materialien soll die Entkopplung der wirtschaftlichen Entwicklung vom Ressourcenverbrauch ermöglichen. [1]

Eine der größten Hürden hierfür ist die Organisation der Zusammenarbeit aller Akteure über verschiedene Wertschöpfungsstufen hinweg. Es ist notwendig, dass die Beziehungen zwischen Produzenten und Zulieferern in (globalen) Wertschöpfungsnetzwerken nicht mehr primär auf die Produktionsprozesse und das Endprodukt fokussieren, sondern aus dem Blickwinkel der Kreislaufführung geplant werden. Hierbei ist die Logistik entscheidend, da sie die Verknüpfung der verschiedenen Wertschöpfungsstufen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg ermöglicht. Dies umfasst neben Konzepten zur Lebensdauererlängerung u. a. integrierte Logistikkonzepte für die Ver- und Entsorgung sowie eine verbesserte Bestandsführung. Darüber hinaus sind verlässliche Aussagen über Verfügbarkeiten von Sekundärmaterialien ebenso wichtig wie die Steuerung der Produktströme gemäß den Prinzipien des Supply Chain Managements. Die Entwicklungen der Digitalisierung, Industrie 4.0 und des Internets der Dinge bieten hierfür neue Lösungsansätze, die bisher jedoch weitgehend ungenutzt bleiben.

Die wesentliche Herausforderung besteht in der Integration von Akteuren der Kreislaufwirtschaftsbranche in die Supply Chains und die Kreislaufführung von Stoffen in Produktions- und Wirtschaftssystemen, so dass sich der Paradigmenwechsel vom Supply Chain Management hin zum Management von Circular Supply Chains vollziehen kann. Hierbei sind auch mögliche negative Auswirkungen wie z. B. Rebound-Effekte oder ein erhöhter Ressourcenverbrauch durch den Einsatz digitaler Technologien zu berücksichtigen. Aufgrund ihrer starken Integration in die Prozesse von Produktion, Nutzung und Entsorgung steht die Logistik dabei in der besonderen Verantwortung nicht selbst ein Teil des Problems zu werden, sondern einen Beitrag zum nachhaltigen Wirtschaften zu leisten.

## Konzept

Im deutschen Sprachgebrauch wird der Begriff der Circular Economy zumeist mit »Kreislaufwirtschaft« übersetzt, die allerdings seit Jahren mit den Themen Abfallentsorgung und Recycling gleichgesetzt wird. Obschon sich Deutschland als »Recycling-Weltmeister« versteht und im Rahmen verschiedener Systeme zur Herstellerverantwortung (z. B. Elektroschrott, Verpackungen) sowie freiwilliger Selbstverpflichtungen (z. B. grafische Altpapiere) bereits Ansätze zur Produktrückführung bestehen, geht der Ansatz der Circular Economy deutlich darüber hinaus. In kurzen Worten bedeutet es die Abkehr vom linearen »take-make-dispose-Prinzip« (produzieren, nutzen und entsorgen) hin zu einer ganzheitlichen, zirkulären Wirtschaftsweise, die den Nutzen und Wert aller Produkte, Teile und Materialien stets auf einem möglichst hohen Niveau erhält. Unterschieden wird dabei in einen technischen Stoffkreislauf für Materialien, die aus nicht erneuerbaren Ressourcen bestehen (z. B. Festplatten aus Computern), sowie einen biologischen Kreislauf für Materialien aus regenerativen Quellen (z. B. Lebensmittelabfälle). Die technischen Materialien sollen dabei so lange wie (qualitativ und wirtschaftlich) möglich im Wirtschaftskreislauf gehalten werden. Die regenerativen Materialien hingegen sind nach ihrer Nutzung ohne Kontaminierung gefahrlos zur natürlichen Regeneration in die Biosphäre abzugeben. Durch langlebige, schadstofffreie und mehrfach nutzbare Produkte und angepasste Geschäftsmodelle sollen das Wertschöpfungsniveau entsprechend hochgehalten und Abfälle weitestgehend vermieden werden. [2]

Eine Studie der Ellen MacArthur Foundation in Zusammenarbeit mit McKinsey [3] zeigt Beispiele dafür, dass in Europa ca. 95% des Wertes der eingesetzten Rohstoffe verloren gehen, während nur ca. 5% durch Maßnahmen der stofflichen und energetischen Verwertung erhalten bleiben. Ein durchschnittliches in Europa hergestelltes Produkt (mit Ausnahme von Gebäuden) besitzt nur eine Lebensdauer von neun Jahren. Im Sinne einer Circular Economy müssen Produkte daher bereits beim Design auf eine Kreislauffähigkeit hin konzipiert, gefährliche Stoffe vermieden, Herstellungsprozesse, Nutzungspfade und Geschäftsmodelle berücksichtigt und der Aufbau angepasster logistischer Systeme zur Kreislaufführung forciert werden.

Der deutsche Begriff der »Zirkulären Wertschöpfung« [1] berücksichtigt diese Thematik in Ansätzen, fokussiert jedoch stärker auf die Produkt- und Produktionsaspekte, so dass die systemische Betrachtung zumeist vernachlässigt wird. [4] Aufgrund dessen wird im vorliegenden Whitepaper durchgängig der Begriff der Circular Economy verwendet.

Unabhängig von den jeweiligen Ansätzen zielt die Circular Economy auf folgende Aktivitäten ab: [5]

- ▷ **Wiederverwendung:** Produkte, Teile und Komponenten werden nach Reparatur, Upgrades oder Aufarbeitung unter Beibehaltung ihrer Gestalt entsprechend ihres ursprünglichen Nutzens wiedereingesetzt
- ▷ **Weiterverwendung:** Produkte, Teile und Komponenten werden unter Beibehaltung ihrer Gestalt in sekundären Nutzungsoptionen wiedereingesetzt
- ▷ **Recycling:** Gewinnung und Wiedereinsatz von Materialien/Stoffen aus Produkten

Darüber hinaus werden Modelle zur Maximierung der Auslastung und Verlängerung der Produktnutzung durch kollaborative Ansätze (z.B. »Sharing«, »Collaborative Economy«) ebenfalls zur Circular Economy gezählt.

---

Die Circular Economy gilt als Maßstab für ein neues Wirtschaften. Produkte werden über ihren gesamten Lebenszyklus und darüber hinaus betrachtet und alle Stufen der Wertschöpfungskette einbezogen. Dazu ist eine weitreichende und strategische Transformation der Wirtschaft notwendig – für die Logistik bedeutet das Weg vom klassischen Supply Chain Management hin zum Management von Circular Supply Chains.

---

Neben allen positiven Effekten kann die Circular Economy jedoch auch Nachteile haben: z.B. Rebound-Effekte. Als Rebound-Effekt wird bezeichnet, wenn eine Effizienzsteigerung einer Technologie zu einer verstärkten Nutzung dieser Technologie führt und somit die ursprünglich erzielte Ressourceneinsparung teil- oder sogar überkompensiert. Darüber hinaus kann auch der Einsatz von digitalen Technologien zu einem höheren Ressourcenverbrauch führen, da insbesondere die Produktion von Halbleiterbauteilen extrem ressourcenintensiv ist. [6]

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, logistische Prozesse zukünftig zielgerichtet hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Ressourcenproduktivität und die Ressourceneffektivität auszurichten, so dass die Logistik sich als Teil der Lösung und nicht als Teil des Problems präsentiert.

## Akteure

Die Circular Economy ist ein Gestaltungsprojekt, das die Art des Wirtschaftens revolutioniert. Ein solcher Wandel erfordert das Zusammenwirken zahlreicher Akteure, u. a.: Staatliche Akteure, Unternehmen und Konsumenten.

### STAATLICHE AKTEURE

Staatliche Akteure sind wichtig für die Circular Economy, da sie über Gesetze, Investitionen, Forschungsprogramme und andere Anreize eine nachhaltige Wirtschaft fördern und schädliches Verhalten ahnden können.

Zunächst einmal reguliert der Gesetzgeber den Umgang mit Abfällen und Emissionen aus Produktionsprozessen über die Abfall- und Umweltgesetzgebung. Die sogenannte Abfallhierarchie, Recyclingquoten und Vorschriften zur Getrennthaltung von Abfallströmen sind hierbei nur einige der Regelungsbereiche. Darüber hinaus schafft der Gesetzgeber Rahmenbedingungen und Anreize dafür, Unternehmen zu einer verantwortungsvollen und nachhaltigen Wirtschaftsweise zu bewegen (z. B. über erweiterte Produktverantwortung, die Förderung des Einsatzes von sekundären Rohstoffen oder biologisch abbaubarer Verpackungen, Öko-Design Richtlinien etc.). In diesem Zusammenhang wird auch immer wieder die Besteuerung von Ressourcen zusätzlich zur Besteuerung von Arbeit diskutiert, um hierdurch der Ressourcenverknappung Rechnung zu tragen und einen starken Anreiz zu einem nachhaltigen Umgang mit Ressourcen und entsprechende Klimaschutzeffekte zu schaffen. [7]

Auch kann der Gesetzgeber dafür Sorge tragen, dass die Verbraucher stärker in die Circular Economy einbezogen werden. Hierzu muss er gewährleisten, dass den Konsumenten die für ihre Kaufentscheidungen notwendigen Informationen zur Verfügung stehen (z. B. über die Einführung von Ökolabeln) und die Rücknahmesysteme so gestaltet werden, dass möglichst viele Verbraucher daran teilnehmen können. Die öffentliche Hand spielt selbst auch eine Rolle in der Circular Economy, da lokale Behörden zum Beispiel als Vermittler, Partner und Beschaffer am Wirtschaftskreislauf teilnehmen und z. B. unter dem Stichwort des so genannten »green public procurement«, die Nachfrage und damit den Markt und Standards für »zirkuläre« Produkte stärken können.

## UNTERNEHMEN

Die **produzierenden Unternehmen** nehmen in der Circular Economy eine zentrale Stellung ein. Mit ihren Entscheidungen zum Einsatz von Sekundärrohstoffen, Circular-Economy-gerechtem Produktdesign, der neuen Technologien und Geschäftsmodellen (z. B. »product as a service«), der konsequenten Übernahme der Herstellerverantwortung und – in Kooperation mit dem Handel – der Ausgestaltung von Rücknahmesystemen und Logistikkonzepten tragen sie entscheidend zum Gelingen der zirkulären Ansätze bei.

Eine der größten Hürden hierfür ist die Organisation der Zusammenarbeit aller Akteure über verschiedene Wertschöpfungsstufen hinweg. Im Rahmen des Supply Chain Management bestehen heute bereits umfangreiche, zum Teil globale Beziehungen zwischen Produzenten und Zulieferern, jedoch wird hier häufig aus der Perspektive des Produktionsprozesses bzw. des Endprodukts agiert (»Was brauchen wir für ein gelungenes Endprodukt?«). In einer Circular Economy muss jedoch aus dem Blickwinkel der Kreislaufführung geplant werden (»Wie garantieren wir, dass das Produkt so lange wie möglich kreislauffähig ist?«), was eine verstärkte Abstimmung aller Partner, ggf. bis zu den Endkunden, nötig macht.

Neben produzierender Industrie und Handel sind zwei Branchen von der Circular Economy besonders betroffen: Die Kreislaufwirtschafts- und die Logistikbranche.

Die **Kreislaufwirtschaftsbranche** steht vor der Herausforderung, ihre eigene Rolle in der Circular Economy neu zu definieren und gleichzeitig neue technologische Standards in die eigenen Prozesse zu integrieren. Sie muss weg vom Push-Prinzip mit dem sie derzeit die – aus den ihr überlassenen Abfällen – aufbereiteten Sekundärrohstoffe auf dem Markt anbietet, ohne notwendigerweise die von den Herstellern definierten Produktqualitäten, Liefermengen und -fristen zuverlässig einhalten zu können. Zukünftig muss sie sich am in Supply Chains üblichen Pull-Prinzip orientieren, bei dem sie gemeinsam mit den Produzenten Kriterien für die Erzeugung hochwertiger, bedarfsgerechter Sekundärprodukte und Materialien definiert, die einen gesicherten Absatz finden. Eine enge Kooperation ist hierbei für beide Seiten von besonderer Bedeutung.

Darüber hinaus sind für die Kreislaufwirtschaftsbranche auch im Jahr 2017 Themen wie Digitalisierung und Supply Chain Management weitestgehend Neuland. Digitale Technologien, wie z. B. dynamische Tourenoptimierung oder Behälteridentifikation haben derzeit keine weitreichende Marktdurchdringung. Eine Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit zeigt,

dass die Kreislaufwirtschaft, verglichen mit fünf weiteren Leitmärkten für Umwelttechnik, durch die Digitalisierung zwar am stärksten profitieren kann, gleichzeitig aber auch deutlich schlechter als andere Sektoren auf die anstehende digitale Transformation vorbereitet ist. [8]

Die **verarbeitenden Betriebe der Recyclingwirtschaft** werden bisher nicht oder kaum in Supply Chains von Produzenten und Handel eingebunden. Im Zuge der Umsetzung von Circular-Economy-Konzepten müssen sie jedoch zukünftig als Lieferant von Sekundärrohstoffen die entsprechenden Anforderungen an Lieferanten erfüllen sowie am elektronischen Austausch der erforderlichen Informationen teilnehmen können. [9] Die auf die Logistik spezialisierten Entsorgungsunternehmen werden sich darüber hinaus zukünftig einem verstärkten Wettbewerb mit den »klassischen« Logistikdienstleistern stellen müssen. Während die Prozesse in der Kreislaufwirtschaft hauptsächlich Prozesse der Rücknahme und Entsorgung umfassen, muss eine Logistik für die Circular Economy auch die logistischen Funktionen der Beschaffung, Produktionslogistik und Distribution in den vorwärts gerichteten Supply Chains der produzierenden Industrie berücksichtigen und gleichzeitig die relevanten Informationen verarbeiten und mitführen.

---

Gerade der Lückenschluss zwischen Entsorgern, Aufbereitern und Verwertern als Quellen für Sekundärrohstoffe sowie den Unternehmen der produzierenden Industrie als deren Abnehmer wird eine der maßgeblichen logistischen Herausforderungen der Transformation hin zu einer Circular Economy sein.

---

Für die klassischen **Logistikdienstleister** hingegen eröffnen sich durch die Circular Economy Chancen zur Erweiterung ihres Portfolios, da sich ändernde Produktströme im Rahmen des Logistikkreislaufes von Sekundärmaterialien eine andere Logistik erfordern. Beispiele sind die eher kleinteilige Ersatzteillogistik bei modularen und reparierbaren Produkten oder die Rücknahme von Elektrogeräten. So werden z. B. heute schon KEP-Dienstleister für die Rückführung kleinteiliger und verteilter Warenströme beauftragt, wie es beim Transport von Altkleidern oder Handys im Rahmen von Online-Ankaufsystemen der Fall ist (z. B. Momox-Fashion [10], Handycan Kauf der Deutschen Telekom [11]). Auch kollaborative Geschäftsmodelle zur gemeinschaftlichen Nutzung von Produkten machen eine aufwändigere, kleinteiliger Logistik zum Transport zwischen den einzelnen Nutzern notwendig, die zum Teil von den Logistikdienstleistern organisiert werden kann.

## KONSUMENTEN

In einer funktionierenden Circular Economy sind auch die Konsumenten gefordert, ihren Beitrag zu leisten – sowohl durch ihr Konsumverhalten wie auch durch die aktive Teilnahme an Kreislauf-, Rücknahme- bzw. Rückführungssystemen für die Produkte. Zwar können der Gesetzgeber und die Unternehmen die notwendigen Regelungen, Infrastruktur- und Produktangebote unterbreiten, jedoch entscheidet jeder Konsument selbst, welche Produkte er kauft, ob er sie weiterverkauft oder verschenkt und wie er seinen Abfall trennt.

Die Ressourcenproduktivität in Europa ist in den letzten Jahren erheblich gestiegen (allein um 41% im Zeitraum von 2000 bis 2016 innerhalb des EU 28 Raumes [12]), woran zu erkennen ist, dass die produzierende Wirtschaft bereits anstrebt, die Möglichkeiten zum sparsamen und effizienten Umgang von Ressourcen im Zuge des Produktionsprozesses auszunutzen. Der hauptsächliche Grund des nach wie vor übermäßigen Umgangs mit Ressourcen scheint daher im Konsumverhalten zu liegen, obwohl gemäß einer Eurobarometer-Studie aus dem Jahr 2014 ein Großteil der Verbraucher in Europa (77%) von sich aus Produkte lieber reparieren lassen würde als ein neues Produkt zu erwerben. [13] An dieser Stelle existiert also eine Lücke zwischen den Wünschen der Verbraucher und den Geschäftsmodellen der Produzenten, die dem Verkauf neuer Produkte eine deutlich höhere Priorität einräumen. Dies ist auch in den Marketingstrategien ersichtlich, die in ihren Kampagnen in der Regel nicht auf eine möglichst lange Produktnutzung, sondern den Verkauf von Neuprodukten zielen. After-Sales-Services sind zwar ein elementarer Bestandteil des Kundenbindungsmanagements vieler Unternehmen und das Ersatzteilgeschäft in vielen Branchen ein bedeutender Umsatzträger (z. B. Automotive), im Zuge des Marketings der produzierenden Wirtschaft jedoch finden diese Themen kaum Beachtung.

Um diesem Trend entgegenzuwirken, stehen den Konsumenten mittlerweile eine Vielzahl an (digitalen) Hilfen zur Verfügung, die Informationen für einen nachhaltigen Konsum und die Verwertungsmöglichkeiten und Abfalltrennung bereitstellen: z. B. Apps der kommunalen Entsorgungsunternehmen oder »MyMüll.de« [14], erinnern an Entsorgungstermine und helfen bei der Zuordnung von Abfällen zu Behältern, Öko-Apps für einen nachhaltigen Lifestyle wie »Codecheck« [15] und »ToxFox« [16], geben Auskunft zu kritischen Inhaltsstoffen und der »Nabu Siegel-Check« [17] bietet Orientierung bei der Vielzahl der Ökosiegel.

## Treiber und Hemmnisse

Die Ansätze der Circular Economy sind nicht neu, jedoch unterliegen sie verschiedenen Hemmnissen, die eine vollumfängliche Umsetzung bisher verzögert haben. Allerdings ermöglichen verschiedene Entwicklungen – und insbesondere die technologischen Innovationen der letzten Jahre – nun eine Umsetzung in bisher nicht möglichem Ausmaß.

Tabelle 1 zeigt eine Auswahl von Hemmnissen und Treibern, die es bei der Entwicklung zukünftiger Circular Economy Modelle zu berücksichtigen gilt.

Tabelle 1: Hemmnisse und Treiber für die Transformation zur Circular Economy (Auswahl)

Hemmnisse	
<b>Geschäftsmodelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geschäftsmodelle sind auf Absatz (kurzlebiger) Güter ausgerichtet</li> <li>• Übergang zu neuen (z. B. service-orientierten) Geschäftsmodellen erfordert radikales Umdenken</li> </ul>
<b>Technologien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbereitungstechnologien für Altprodukte sind noch nicht ausgereift</li> <li>• Datenaustausch über zirkuläre Supply Chains hinweg ist noch nicht gewährleistet (Datensicherheit/-souveränität)</li> </ul>
<b>Kooperation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lock-in-Effekte (bestehende Anbieter-Kundenbeziehungen) und Komplexität bestehender Wertschöpfungsnetzwerke</li> <li>• Hoher Koordinationsaufwand zur Integration der Akteure über alle Wertschöpfungsstufen hinweg</li> </ul>
<b>Produkte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produkte/Materialien sind nicht Circular-Economy-gerecht gestaltet (insbesondere Massenprodukte mit kurzen Innovationszyklen, z. B. Smartphones) Komplexität der Produkte und Materialien</li> </ul>
<b>Wissen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlendes Wissen der Hersteller über Inhaltsstoffe der Produkte (z. B. in zugekauften Komponenten und Baugruppen) verhindert Circular-Economy-gerechtes Produktdesign</li> </ul>
<b>Kosten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Logistik und Aufbereitungskosten hoch (in Konkurrenz zur energetischen Verwertung)</li> <li>• Investitionen für Systemumstellung schrecken ab</li> </ul>

<b>Markt</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bisher zu geringe Nachfrage nach Sekundärrohstoffen</li> <li>• Primärrohstoffe preisgünstiger als Sekundärmaterialien</li> <li>• Nachhaltigkeit häufig nachrangiges Beschaffungskriterium</li> </ul>
<b>Rechtliche Vorschriften</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bisher kein vollumfängliches Rechtsgefüge für die Circular Economy, d. h. Fokus auf Abfall- und Umweltrecht ohne Verknüpfung zu Produkt- und Wirtschaftsvorschriften</li> </ul>
<b>Konsumentenverhalten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produkte als Statussymbol</li> <li>• »Geiz-ist-geil-Mentalität«</li> </ul>
<b>Treiber</b>	
<b>Ressourcenverknappung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volatile Preise von Primärressourcen</li> <li>• Importzölle und Marktabschottung</li> </ul>
<b>Rechtliche Vorschriften</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ansätze für Rechtsvorschriften zur Circular Economy flankieren Abfall-/Umweltrecht (z. B. Anforderungen an Öcodesign, erweiterte Herstellerverantwortung, »Green Procurement«)</li> <li>• Einschränkung der Möglichkeiten zur Verbrennung von Abfällen, Deponierungsverbote</li> </ul>
<b>Technologien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moderne Produktionsverfahren, Digitalisierung, Industrie 4.0, Internet der Dinge, disruptive technologische Innovationen (z. B. 3D-Druck, Internet-Plattformen, Apps, Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, Behälterverfolgung etc.) [18]</li> </ul>
<b>Ziele für nachhaltige Entwicklung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einhaltung der »Sustainable Development Goals« der Vereinten Nationen als gesamtgesellschaftliche Aufgabe und Verantwortung der einzelnen Unternehmen [19]</li> </ul>
<b>Konsumentenverhalten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigendes Umweltbewusstsein</li> <li>• Wachsende Qualitätsansprüche und Service-Nutzung (»Mieten statt Kaufen«, Mobility as a Service etc.)</li> </ul>

Wie sich zeigt, beruhen einige Treiber auf gleichen Wirkkategorien wie die Hemmnisse. Hier zeigt sich ein Trend zum Umdenken auf verschiedenen Handlungsebenen (z. B. Anpassung rechtlicher Vorschriften, Ansätze eines sich ändernden Konsumentenverhaltens). Allerdings bedarf es weiterhin großer Anstrengungen auf Seiten aller Akteure, um die Transformation gelingen zu lassen.

Eines der größten Hindernisse bleibt dabei die Komplexität der Gestaltung von Wertschöpfungsnetzwerken im Sinne einer Circular Economy. Unternehmen scheuen hier häufig den (finanziellen und organisatorischen) Aufwand vor dem Hintergrund der schwer abschätzbaren Chancen und Risiken, die ein neues Geschäftsmodell weg vom Verkauf von Neuprodukten hin zu beispielsweise servicebasierten Modellen mit sich bringt. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen tun sich hier schwer – sie befürchten häufig die »Kannibalisierung« des eigenen Kerngeschäfts ohne gleichwertigen Ersatz.

## Regelwerke und Politik

Bisher gibt es in Deutschland keine explizite Initiative zur Circular Economy, die über die bisherigen Regelungen der Abfallwirtschaft hinausgeht. Jedoch sind im Deutschen Ressourceneffizienzprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (ProgRess II) die Leitlinien »Wirtschafts- und Produktionsweisen in Deutschland schrittweise von Primärrohstoffen unabhängiger machen, die Kreislaufwirtschaft weiterentwickeln und ausbauen« sowie eine »nachhaltige Ressourcennutzung durch gesellschaftliche Orientierung auf qualitatives Wachstum langfristig sichern« festgeschrieben. [20]

Auf Europäischer Ebene hat die Europäische Kommission im Rahmen des »Action Plan for a Circular Economy« (sogenanntes »Circular Economy Package«) [21] zentrale Inhalte der Circular Economy definiert. Übergeordnetes Ziel der Circular Economy ist dabei, den »Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich zu erhalten, möglichst wenig Abfall zu erzeugen« und somit dazu beizutragen, eine »nachhaltige, CO<sub>2</sub>-arme, ressourceneffiziente und wettbewerbsfähige Wirtschaft« zu schaffen. Der Aktionsplan adressiert dabei explizit die Produktlebensphasen der Produktion (Produktgestaltung und Produktionsprozesse), der Nutzung und der Abfallbewirtschaftung. Ein Set von Indikatoren aus den Bereichen Produktion und Konsum, Abfallbewirtschaftung, Sekundärrohstoffe, Wettbewerbsfähigkeit, Innovation und Ökonomie, die geeignet sind die Entwicklung der Europäischen Wirtschaft in Richtung der Circular Economy zu messen, befindet sich derzeit in der Diskussion. [22]

Als erste konkrete Ansätze formuliert das Circular Economy Package die Überarbeitung verschiedener EU-Richtlinien im Sinne des Circular-Economy-Gedankens (z. B. die Abfallrahmenrichtlinie (Directive 2008/98/EC), die Richtlinie über Verpackungen und Verpackungsabfälle (Directive 94/62/EC) sowie die produktspezifischen

Richtlinien über Batterien (Directive 2006/66/EC), Altfahrzeuge (Directive 2000/53/EC) und Elektro- und Elektronikaltgeräte (Directive 2012/19/EU). Dabei enthalten die Vorschläge verschärfte Vorgaben an Recycling-Quoten insbesondere aus dem Verpackungsbereich, eine ab 2030 gültige maximale Deponierungsquote von 10% aller Siedlungsabfälle sowie Vorschläge zur weiteren Individualisierung der erweiterten Produktverantwortung.

Weiterhin ist davon auszugehen, dass im Zuge weiterer rechtlicher Anpassungen auf EU-Ebene auch die sogenannte Ecodesign-Directive (Directive 2009/25/EC) betroffen sein wird, die derzeit sehr stark auf den Energieverbrauch von Produkten während der Nutzungsphase abzielt, aber in vielen Fällen ein Adressat für weitere Vorgaben zum Produktdesign ist. Weitere Europäische Regelwerke zum Umwelt- und Verbraucherschutz wie z. B. die RoHS-Richtlinie (Directive 2011/65/EC) und die REACH-Verordnung (Regulation (EC) 1907/2006) sowie flankierende Regelwerke und internationale Abkommen bezüglich des Umgangs mit Abfällen im inner- und außereuropäischen Verkehr wie z. B. die Basler Konvention sind von den aktuellen Initiativen zur Circular Economy derzeit nicht unmittelbar betroffen, können aber in der Zukunft durchaus unter Änderungsdruck kommen. Ebenso können so genannte »right to repair«-Initiativen, die sich auf die Möglichkeit zur Reparatur von Produkten beziehen, dem Circular-Economy-Gedanken zugerechnet werden. Im Juli 2017 verabschiedete das Europäische Parlament den Entschließungsantrag »Längere Lebensdauer für Produkte: Vorteile für Verbraucher und Unternehmen«, in dem weitgehende Forderungen an die Kommission bezüglich der Verfügbarmachung von Ersatzteilen und Reparaturanleitungen formuliert sowie ein Verbot des festen Verbauens bestimmter Komponenten wie z. B. LEDs oder Batterien gefordert werden. [23]

Die im Circular Economy Package vorgeschlagenen Maßnahmen sowie die davon betroffenen Regelwerke werden zwischen EU-Kommission, Wirtschaftsvertretern, Umwelt- und Verbraucherorganisationen kontrovers diskutiert. Allerdings kann es als starkes Signal der Europäischen Institutionen und ihrer Mitgliedstaaten gewertet werden, die Transformation zur Circular Economy ernsthaft zu unterstützen.

---

Die Erfahrung im Umweltbereich zeigt: rechtliche Maßnahmen sind häufig ein Initiator für technologische Innovationen (z. B. Aufbereitungstechnologien als Folge von Deponierungsverboten und Recyclingquoten). Dies gilt auch für die Transformation zur Circular Economy.

---

## Positionen der Industrie

Internationale Abfallwirtschafts-, Recycling- und Industrieverbände bezeichnen die Circular Economy als Grundlage für ein nachhaltiges Wachstum. Mit einer Circular Economy könne Europa seine Unabhängigkeit von anderen Ländern bezüglich knapper Ressourcen steigern. [24]

In ihren Stellungnahmen benennen sie hierzu verschiedene Rahmenbedingungen und Anforderungen, die sie für eine gelungene Transformation als notwendig erachten: [25, 26, 27, 28]

- ▷ Die Schaffung von Märkten für Sekundärrohstoffe und ein fairer Wettbewerb zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen,
- ▷ Politische Instrumente zur Umsetzung wie beispielsweise eine geringere Steuer auf Sekundärrohstoffe bzw. auf aus Sekundärrohstoffen hergestellte Produkte,
- ▷ Ein vereinfachter Export von zu rezyklierbarem Material über Staatsgrenzen hinweg mit dem Ziel einer europaweiten Abfallwirtschaftsplanung,
- ▷ Die Herstellung von Produkten vermehrt aus Sekundärrohstoffen mit Fokus auf Möglichkeiten zur Reparatur und Rezyklierung (Produktdesign),
- ▷ Der Wissenstransfer von Unternehmen der Kreislaufwirtschaft in andere Teile der Welt unterstützen,
- ▷ Eine europaweit einheitliche Methode zur Berechnung der Recyclingquote anhand festgelegter Parameter unter Berücksichtigung von Daten jedes Prozessschrittes der Recycling-Wertschöpfungskette,
- ▷ Ein fairer Wettbewerb zwischen öffentlichen und privaten Dienstleistern.

Zu detaillierte Produktdesign-Vorschriften werden von den Verbänden jedoch branchenübergreifend als hinderlich für die Innovationskraft eingeschätzt. [29] Ebenso sollen Regelungen zur Extended Producer Responsibility auf Staatenebene flexibel gestaltet werden können. [30]

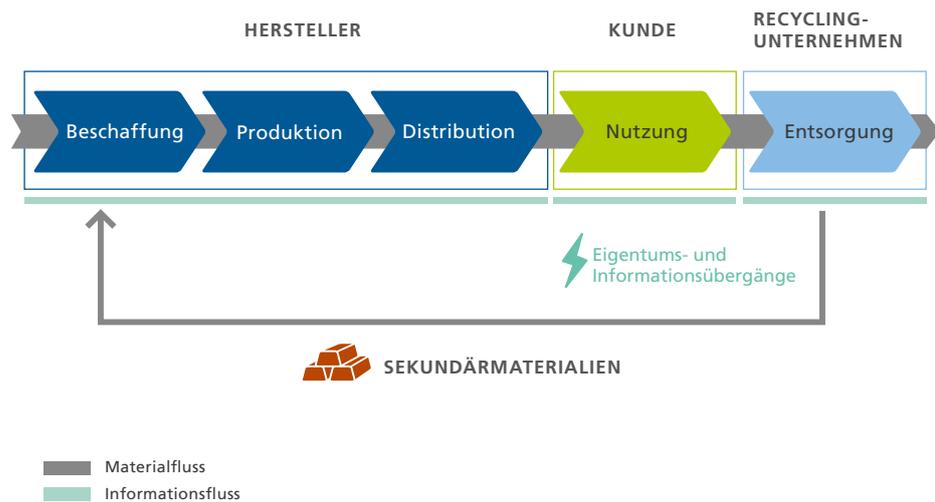
Orgalime ist als Dachverband der Europäischen Maschinenbau-, metallverarbeitenden, Elektro- und Elektronikindustrie besonders von den Entwicklungen zur Circular Economy betroffen. Diese Branchen, die sich aus einer Vielzahl von Produzenten sowohl aus der Konsumgüterindustrie wie auch der Investitionsgüterindustrie zusammensetzen, erwirtschafteten in 2016 einen Umsatz von insgesamt

ca. 2 000 Mrd. Euro und zeichneten damit für mehr als ein Viertel der gesamten Produktionsleistung innerhalb der Europäischen Union verantwortlich. [31] In seinen Positionspapieren zum Circular Economy Package und Circular Economy Monitoring Framework äußert sich der Verband grundsätzlich positiv zu den Zielen der Optimierung der Ressourcennutzung und des »grünen Wachstums«. Er sieht konkrete Ansatzpunkte u. a. in den Bereichen der Abfallbewirtschaftung (Deponierungsverbot für rezyklierbare Abfälle, Stopp des illegalen Exports von Elektronikschrott, Ausweitung der erweiterten Produktverantwortung auf alle Akteure der Abfallwirtschaft), der Qualitätskriterien für Sekundärrohstoffe, der Konsistenz des Europäischen Abfall- und Chemikalienrechts sowie der Anwendung des »Life Cycle Costing« in der öffentlichen Beschaffung. [32] Orgalime warnt jedoch vor einem zu engen oder isolierten Fokus auf den Einsatz von Sekundärrohstoffen und lehnt insbesondere eine Verpflichtung von Produzenten zum Einsatz von Sekundärrohstoffen ab. [33]

# LOGISTIK FÜR DIE CIRCULAR ECONOMY

Logistik in der Circular Economy unterscheidet sich von der derzeit praktizierten Kreislaufwirtschaftslogistik insbesondere durch die Prozesse und eingesetzten Technologien für eine effiziente Umsetzung der logistischen Aufgaben. Während Kreislaufwirtschaftslogistik bisher hauptsächlich Prozesse der Rücknahme und Entsorgung umfasste, muss eine Logistik für die Circular Economy mehr als nur diese Prozesse abdecken. Informations- und Kommunikations-Technologien (IuK) ermöglichen eine Vernetzung von Akteuren über alle Stufen der Wertschöpfung hinweg und begünstigen neue Geschäftsmodelle.

Abbildung 1: lineare Stoffströme in »klassischen« Supply Chains



Bisher sind logistische Wertschöpfungsnetzwerke durch einen linearen Materialfluss gekennzeichnet, an dessen Ende die mit starken Materialverlusten verbundene Entsorgung von Gütern steht. Derzeit bildet die Logistik der Kreislaufwirtschaftsbranche nur denjenigen Teil der Prozesse ab, die das Ende des Lebenszyklus eines Produktes ausmachen, während die klassischen logistischen Funktionen der Beschaffung, Produktionslogistik und Distribution des Herstellers weite Teile des Lebenszyklus abbilden. Als »Puffer« zwischen den Prozessen der Hersteller von Konsum- und Investitionsgütern und den Prozessen der Kreislaufwirtschaftsbranche erfolgt die Nutzungsphase der Produkte. Die Nutzungsphase und die mit ihr einhergehenden Eigentumswechsel führen auch zu einem Bruch der Informationsflüsse. Entsorgte Produkte und die zu ihnen gehörenden Informationen, Baugruppen und Rohstoffe werden derzeit in aller Regel schlechter verwertet als dies im

Rahmen einer tatsächlichen Circular Economy realisiert werden könnte. Ferner sind Supply Chains heute sehr stark auf die Produktion und Distribution vergleichsweise kurzlebiger Produkte ausgerichtet, und sehen nur sehr bedingt Rückflüsse zu Reparaturzwecken vor. Gerade dieser Lückenschluss zwischen Recyclingunternehmen als Lieferanten von Sekundärprodukten, -baugruppen und Rohstoffen sowie den Unternehmen der produzierenden Industrie als Abnehmer und Reparaturdienstleister ist eine maßgebliche Herausforderung der Transformation hin zu einer Circular Economy. [34] Logistik ist hierbei einer, wenn nicht gar der entscheidende Faktor.

---

Aktuelle logistische Trends und Entwicklungen in allen Bereichen der Produktion und Distribution von Gütern begünstigen die Transformation hin zu einer Circular Economy, wenn sie gezielt mit diesem Fokus angewendet und weiterentwickelt werden. Das Potenzial der Circular Economy kann nur mit passenden logistischen Lösungen realisiert werden.

---

## Trends und Entwicklungen

### ATOMISIERUNG DER LADUNGEN

Durch den mit dem Aufstieg des e-Commerce verbundenen, fortschreitenden Trend der Atomisierung von Ladungen entstehen deutlich umfangreichere Transportbeziehungen zwischen Produzenten, Handel und Endnutzern. Hieraus ergeben sich Potenziale in der bisher häufig nur unzureichend umgesetzten Klein- und Kleinstmengenerfassung insbesondere von werthaltigen Stoffströmen im Rahmen von Rücknahmesystemen bzw. klassischer Redistributionslogistik, da beispielsweise Fahrzeuge von KEP-Diensten in der Regel voll ihr Depot verlassen und mit (teilweise) verfügbarer Kapazität zurückkehren. Die im Tagesverlauf freiwerdende Kapazität ist für die Rückführung von Gütern nutzbar.

Ein Anwendungsfall, in dem die Nutzung von KEP-Netzwerken für Zwecke der Kreislaufwirtschaft bereits durchgeführt wird, ist die Rücknahme von Tonerkartuschen durch die Hersteller von Druckern (z. B. Brother, Samsung). [35, 36] Auch die Rücksendung von Elektro-Altgeräten zum Hersteller, Händler oder zu Drittanbietern ist in einigen Fällen für den Verbraucher kostenlos möglich.

## INFORMATIONSLOGISTIK UND DATENSOUVERÄNITÄT

Existierende Bestrebungen der intelligenteren und zielgerichteten Nutzung und Zurverfügungstellung von Daten im Rahmen der industriellen Produktion fokussieren auf die Bereitstellung nutzer- und akteursorientierter Informationen zu logistischen und industriellen Prozessen bei gleichzeitiger Sicherstellung höchstmöglicher Standards in Hinblick auf Datensicherheit und -integrität. [37] Die am Fraunhofer IML entstandene Fraunhofer-Initiative »Industrial Data Space« verfolgt diese Ziele im Rahmen einer breiten industriellen Kooperation von Unternehmen der produzierenden Industrie und Logistikbranche. Derzeit fokussieren diese Bestrebungen hauptsächlich den Bereich der vorwärts gerichteten Supply Chain-Netzwerke hin zum Endkunden.

Die Anwendung dieser Prinzipien kann auf den Bereich der Post-Consumer-Wertschöpfung in einer Circular Economy ausgeweitet werden und somit einen wertvollen Beitrag zum Schließen von Stoffkreisläufen leisten, indem Informationen über die in Produkten enthaltenen Materialien über das Produktlebensende weiterhin zugänglich sind. Die Referenzarchitektur des Industrial Data Space kann genutzt werden, für die Aufbereitung und das Recycling relevante Informationen verfügbar zu machen und gleichzeitig schützenswerte Informationen der Hersteller vor unbefugten Zugriffen durch Dritte zu sichern.

Eine in besonderem Maße für die Logistik bedeutende Herausforderung der Digitalisierung stellen Technologien zur Transaktionsabsicherung zwischen Akteuren dar. Exemplarisch hierfür ist die derzeit insbesondere im Bereich der Kryptowährungen sowie von der Banken- und Versicherungsbranche intensiv vorangetriebene Blockchain-Technologie, deren Anwendung im Bereich logistischer Fragestellungen derzeit noch am Anfang steht. [38]

## NEUE PRODUKTIONSVERFAHREN

Neue Produktionsverfahren wie die verschiedenen Ausprägungen additiver Fertigung für unterschiedliche Materialien ermöglichen in Zukunft andere, dezentralere Produktionsweisen und eine Verlagerung der Fertigung hin zum Endnutzer. Aus dieser Verlagerung der Produktion ergeben sich Verschiebungen der Stoffströme für Ver- und Entsorgung der Produktionsprozesse in Richtung des Endkunden und erfordert daher ein anderes Management der Stoffströme. Gleichzeitig ermöglichen neue Verfahren und Methoden in der Produktion auch eine Nutzung von rezyklierten Materialien, die deutlich über das bisherige Maß hinausgeht. Das

Fraunhofer IML verfolgt diesen Ansatz derzeit gemeinsam mit weiteren Fraunhofer-Instituten im Verbundprojekt »BauCycle« für den Bereich der Produktion hochwertiger Produkte aus mineralischen Sekundärrohstoffen. In diesem Zusammenhang ist die Umsetzung neuartiger Ansätze industrieller Produktion nur auf Basis innovativer Logistikkösungen realisierbar. [39]

Im Bereich der additiven Fertigung gibt es bereits Bestrebungen, sowohl für Metall- als auch für Kunststoffwerkstoffe Sekundärmaterialien in den Produktionsprozess einzubringen oder Produktionsreste wiederzuverwenden. [40]

Weiterhin erfordern On-Demand-Fertigung und der Trend hin zur sogenannten »Losgröße 1«-Fertigung hochindividualisierter Produkte für Endkunden neuartige Supply Chain Designs [41], die sich grundlegend von bisherigen Ansätzen unterscheiden und deren Strukturen auch für Rückführungsprozesse anknüpfungsfähig sind.

## **SELBSTSTEUERENDE SYSTEME IN DER INDUSTRIE 4.0**

Mit dem Begriff der Industrie 4.0 wird die Transformation der Wirtschaft im Rahmen einer informationsgetriebenen, vierten industriellen Revolution beschrieben. Wesentliche Basis der Industrie 4.0 sind cyberphysische Systeme (CPS), die selbststeuernde Prozesse in einem Umfang ermöglichen, der bisher nicht realisierbar war. In cyberphysischen Systemen können sich Akteure miteinander vernetzen und die Systeme ganzheitlich selbständig optimieren. Im Zusammenspiel mit dem Menschen können sie selbständig Probleme lösen. [42]

Dynamische, selbststeuernde Supply Chain Netzwerke ermöglichen eine effiziente Produktion bei höchstmöglicher Auslastung von Transport- und Produktionskapazitäten in diesen Netzwerken. In einer Circular Economy können Unternehmen der produzierenden Industrie aufgrund der höheren Supply Chain Transparenz innerhalb der Industrie 4.0 ihre Beschaffungsbasis verbreitern, indem sie auf Sekundärrohstoffe zurückgreifen und Unternehmen, die sie produzieren, gleichberechtigt in ihre Beschaffungsnetzwerke integrieren.

## **SOCIAL NETWORKED INDUSTRY**

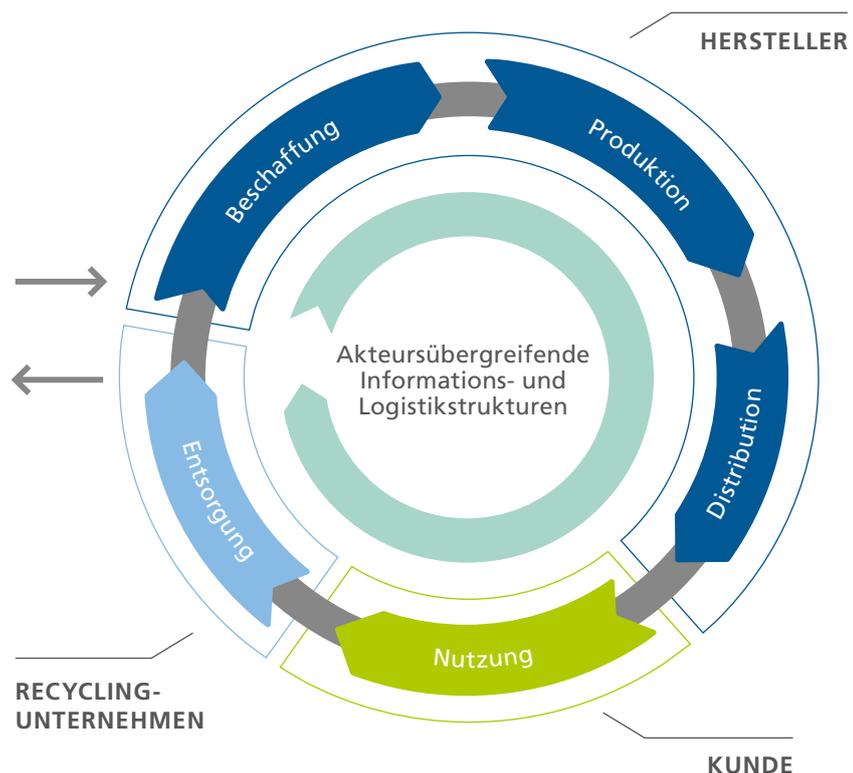
Eine neue Dimension der Industrie 4.0 stellt die »Social Networked Industry« dar, die die Zusammenarbeit von Menschen und Technik in industriellen Systemen

beschreibt: Durch soziale Netzwerke miteinander kommunizierende menschliche und technische Akteure ermöglichen nicht nur eine effizientere Bewältigung von Arbeitsaufgaben, sondern auch eine humanzentrierte Arbeitssystemgestaltung. [43] Gerade die Kreislaufwirtschaftsbranche ist noch immer durch vergleichsweise hohe physische Belastungen der Beschäftigten gekennzeichnet. Diese Belastung kann durch den Einsatz technologischer Hilfsmittel verringert werden, wenn diesen eine sinnvolle Mensch-Technik-Schnittstelle zugrunde liegt.

## Logistische Transformation

Die in diesem Kapitel beschriebenen logistischen Trends und Technologien leisten an verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette einen Beitrag zum langfristigen Ziel einer Circular Economy. Die in Abbildung 1 skizzierte Logistik für eine lineare Wertschöpfung, in der die Kreislaufführung von Ressourcen einen nachrangigen Part einnimmt, kann weiterentwickelt werden, um insbesondere den Kreislaufschluss zu realisieren, der bisher durch Informationsbrüche zwischen Produktions-, Nutzungs- und Entsorgungsphase sowie nicht hinreichend aufeinander abgestimmte Systeme von Recycling- und Produktionsunternehmen sowie Drittanbietern verhindert wird. Abbildung 2 stellt demgegenüber dar, wie ein derartiger Lückenschluss aussehen kann.

Abbildung 2: Wertschöpfungskreisläufe in der Circular Economy



Die Circular Economy ist gekennzeichnet durch einen sich über Wertschöpfungsstufen hinweg verändernden, aber dennoch größtenteils durchgehenden Stoff- und Materialstrom. Hieraus ergeben sich umfangreiche logistische Aufgabenstellungen und Herausforderungen, die jedoch mit aktuell verfügbaren logistisch-technologischen Ansätzen angegangen werden können.

Grundlage hierfür ist eine größere Transparenz von Informationen entlang des Wertschöpfungskreislaufes, damit Post Consumer-Produkte sinnvoll, z. B. als überholtes Gerät, Baugruppe oder Sekundärmaterial weiter im Kreislauf geführt werden können. Grundsätzlich finden sich für die beschriebenen logistischen Trends und Technologien Anwendungsfelder in verschiedenen Bereichen der Circular Economy (siehe Tabelle 2).

Technologie/Trend	Ausprägung
<b>Kleinste Ladungen in KEP-Netzen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rückführung von werthaltigen Materialien z. B. in End-of-Life-Elektrogeräten</li> <li>• Rückführung von gefährlichen Abfallfraktionen</li> </ul>
<b>Informationslogistik und Datensouveränität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung dezentraler Strukturen zur Vorhaltung prozessrelevanter Informationen über Geräte in einem »Material Passport« auch für hochindividualisierte Produkte</li> <li>• Absicherung von Transportdokumentation bei Absicherung schützenswerter Informationen</li> </ul>
<b>Neue Produktionsverfahren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung von Sekundärmaterial als gleichberechtigter Produktionsrohstoff</li> <li>• Integration von Sekundärmaterialproduzenten als Rohstofflieferanten</li> </ul>
<b>Selbststeuernde Systeme in der Industrie 4.0</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Selbststeuernde Supply Chains greifen gleichberechtigt auf Rohstoffe und Baugruppen aus Primär- und Sekundärquellen zu</li> <li>• Intelligente Behälter ermöglichen eine angepasste Planung von Entsorgungsrhythmen</li> <li>• Innerhalb von Supply Chain Netzwerken findet eine akteurs- und funktionsübergreifende Transportplanung statt, um Kapazitäten optimal auszunutzen</li> </ul>
<b>Social Networked Industry</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bessere Mensch-Technik-Interaktion verbessert die Effizienz von Mitarbeitern, z. B. indem sie bei der Abfallsammlung unnötige Laufwege verhindern hilft</li> <li>• Augmented-Reality-gestützte Demontage von komplexen Produkten erhöht die Ausbeute und reduziert Verletzungsrisiken</li> </ul>

Tabelle 2: Logistische Trends und Anwendungsfälle für die Circular Economy

Die positiven Auswirkungen dieser Trends und Technologien finden sich in einer Circular Economy auf verschiedenen Ebenen der Logistik, von der strategischen Netzwerkebene von Supply Chains bis hin zur stark operativ geprägten tatsächlichen Abwicklung auf Arbeitsebene.

Es ergeben sich durch die beschriebenen logistischen Trends und die skizzierten Anwendungsfälle Auswirkungen auf die beteiligten Akteure sowie weitergehende Auswirkungen auf die Umwelt, die in Tabelle 3 aufgeführt sind.

Tabelle 3: Auswirkungen der logistischen Trends auf Akteure und Umwelt

	Selbststeuernde Systeme	Atomisierung der Ladungen	Social Networked Industry	Neue Produktionsverfahren	Digitalisierung und Datensouveränität
<b>Hersteller</b>	↑	↑	↑	→	↑
<b>Kunden</b>	?	↑	?	↑	→
<b>Recycling-unternehmen</b>	↑	→	↑	→	↑
<b>Umwelt</b>	↑	?	?	?	↑

**Auswirkungen der logistischen Trends auf Akteure und Umwelt**

- ↑ Positive Auswirkungen
- Keine Veränderung
- ? Auswirkungen unklar, Forschungsbedarf

Es zeigt sich, dass an vielen Stellen positive Auswirkungen der logistischen Trends auf Akteure und Umwelt erkennbar sind. Gleichzeitig sind diese Auswirkungen an einigen Stellen noch nicht hinreichend abschätzbar. Hier ist entscheidend, auf welche Weise eine Umsetzung stattfindet und inwiefern z. B. Rebound-Effekte zu erwarten sind. Hier existiert folglich weiterer Forschungsbedarf.

# SZENARIEN FÜR DIE CIRCULAR ECONOMY

Derzeit ist die (insbesondere politische) Entwicklung hin zur Circular Economy noch im Anfangsstadium. Wie sich der gesetzgeberische Rahmen in den nächsten Jahren entwickelt und wie die Reaktion der Märkte auf diese Entwicklung aussehen wird, lässt sich nicht verlässlich vorhersehen. Deshalb werden im Folgenden zwei mögliche Szenarien entwickelt und deren Auswirkungen auf die Marktteilnehmer und Logistik dargestellt. Das erste Szenario geht von einer Fortschreibung bestehender Gesetze aus und skizziert einen regulativ wenig ambitionierten Übergang zur Circular Economy. Das zweite Szenario beschreibt eine stärker politisch getriebene Transformation, die Unternehmen – analog zur mittlerweile wirtschaftlich tragfähigen Energiewende – zunächst durch ordnungspolitische Anreize in Richtung der zirkulären Wirtschaftsweise drängt. Weiterhin wird verdeutlicht, wie die logistischen Trends und Technologien Beiträge zur Realisierung der Szenarien leisten können.

## Schrittweise Kreislaufschließung

In diesem Szenario setzt der Europäische Gesetzgeber weitgehend auf eine Fortführung bestehender Instrumente (Herstellerverantwortung, Abfall-, Umwelt- und Chemikalienrecht etc.). Diese werden ergänzt um die Erhebung von Indikatoren zur Messung der Wirtschaftsentwicklung in den EU-Mitgliedsstaaten in Richtung der Circular Economy (z. B. Produktion, Konsum, Abfallbewirtschaftung, Sekundärrohstoffe, Wettbewerbsfähigkeit, Innovation, Ökonomie). Dieses regulatorische Umfeld lässt weiterhin eine lineare Wertschöpfung zu. Innovationen (Technologien, Prozesse, Produkte) und Geschäftsmodelle sind in diesem Szenario hauptsächlich preisgetrieben. Tabelle 4 zeigt die regulatorischen Rahmenparameter auf.

Tabelle 4: Regulatorische Rahmenbedingungen im Szenario »Schrittweise Kreislaufschließung«

Kategorie	Ausprägung
<b>Herstellerverantwortung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prinzip wird auf wenige weitere Branchen ausgeweitet; unternehmensindividuelle Systeme nicht adressiert</li> </ul>
<b>Verwertungsquoten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Weiterhin massebezogene, verpflichtende Verwertungsquoten in den EU-Mitgliedsstaaten; sie werden im Laufe der Zeit schrittweise angehoben (Steuerungsfunktion)</li> </ul>
<b>Indikatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Indikatoren gemäß des Circular Economy Monitoring Framework in den EU-Mitgliedsstaaten werden erhoben; sie haben ausschließlich informativen Charakter, keine Steuerungsfunktion</li> </ul>
<b>Standards</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eine Standardisierung von Qualitätskriterien für Sekundärrohstoffe existiert nur in Einzelfällen</li> </ul>
<b>Produkte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Langlebigkeit und Reparierbarkeit von Produkten wird durch moderate Verschärfung der Gewährleistungsansprüche der Kunden adressiert</li> </ul>

Für **die Unternehmen der produzierenden Wirtschaft** bedeutet dieses Szenario lediglich eine geringe Zunahme verbindlicher Verpflichtungen sowie fehlende Anreize, ihrer Herstellerverantwortung individuell nachzukommen. Daher beteiligen sie sich überwiegend an kollektiven Produktrücknahmesystemen. Eine Möglichkeit zur Steuerung von Mengenströmen oder Einflussnahme auf Materialqualitäten haben die Unternehmen dabei nicht. Die Systeme bleiben für die Unternehmen weiterhin ein Kostenblock, auch wenn sie unter Umständen geringe Einsparungen durch Materialerlöse erzielen können. Somit werden vor allem mengenmäßig relevante, einfach zu verarbeitende Materialien ohne Berücksichtigung der Umweltwirkungen zurückgewonnen. Aufgrund fehlender einheitlicher Qualitätsstandards nutzen produzierende Unternehmen hochwertige Sekundärmaterialien nur in geringem Umfang. Die Kommunikation zwischen Produzenten und der Recyclingwirtschaft ist minimal, der Sekundärrohstoffhandel erfolgt fast ausschließlich über anonyme Massenmärkte. Nur wenige Unternehmen ausgewählter Branchen (insbesondere Investitionsgüterindustrie) nutzen erfolgreich neue, service-basierte Geschäftsmodelle, die auf Verlängerung der Produktlebensdauer basieren.

Für die **Recyclingwirtschaft** ist zwar ein Anstieg im Mengendurchsatz für leicht zu verarbeitende Massenströme zu erwarten. Da sich die Wirtschaftlichkeit neuer Aufbereitungs- und Verwertungsverfahren aber weiterhin ausschließlich an den Weltmarktpreisen der Primärrohstoffe sowie deren Standards orientiert, bleibt die Vermarktung von Sekundärmaterialien weiterhin schwierig.

Die Marktchancen für Unternehmen der **Entsorgungslogistik** sind in diesem Szenario gut, da sich die Logistikstrukturen nicht stark verändern und die Mengen zunehmen. Allerdings gibt es aufgrund fehlender Anreize für neue Geschäftsmodelle zur Wiedereinsteuerung von Produkten oder Materialien in den Wirtschaftskreislauf nur wenig Spielraum für individuell gestaltete Logistiklösungen und Dienstleister.

Insgesamt entwickeln die Akteure ihre **Logistik** eher zurückhaltend in Richtung geschlossener Kreisläufe weiter. Im Fokus steht dabei der zumeist bilaterale Auf- und Ausbau informatorischer Schnittstellen zur Integration der verschiedenen logistischen Prozesse in Supply Chain-Netzwerken. Möglich ist dies z. B. durch Nutzung von Behältern, die für Aufgaben der Ver- und Entsorgung gleichermaßen eingesetzt und innerhalb von Unternehmensnetzwerken verfolgt werden können. Auch die Inanspruchnahme von KEP-Netzwerken für die logistische Kreislaufführung ausgewählter (Sekundär-) Materialien und Produktströme durch einzelne Akteure nimmt dort weiter zu, wo erzielbare Marktpreise den logistischen Aufwand gegenfinanzieren können.

Eine unternehmensübergreifende Abstimmung und Steuerung innerhalb der **Supply Chain Netzwerke** findet allerdings nicht statt, was auch auf mangelnde Standards und bisher noch günstigere Primärrohstoffe zurückzuführen ist. Daher bleiben die für die gesamte Supply Chain und Produktion relevanten Informationen und Daten weiterhin nur dezentral bei verschiedenen Akteuren und nicht unternehmensübergreifend verfügbar. End-of-Life-Produkte können auf diese Weise nur unzureichend verwertet werden.

Es gelangt insgesamt zwar mehr Masse in die stoffliche und energetische Verwertung, die Berücksichtigung ökologischer Kriterien bei der Behandlung der Stoffströme bleibt jedoch suboptimal. Insgesamt ist in diesem Szenario kein nennenswerter Einfluss auf den Ressourcenverbrauch zu erwarten.

---

Die Logistik unterstützt das Schließen von Kreisläufen, kann dies aber trotz technologischer Innovationen nicht vollumfänglich erfüllen. Hierzu fehlen weitere Marktakteure, die die Circular-Economy-Prinzipien konsequent umsetzen.

---

## Vollumfängliche Transformation

In diesem Szenario verfolgt der Europäische Gesetzgeber eine sehr konsequente Umsetzung der regulatorischen Rahmenbedingungen hin zur Circular Economy im globalen Konsens. Der Ressourcenverbrauch wird sanktioniert (z. B. durch Ressourcensteuern) und weitere ordnungspolitische Maßnahmen (z. B. Verbrauchersteuern) zur Unterdrückung des Rebound-Effektes werden implementiert. Geeignete Indikatoren zur quantitativen und qualitativen Bewertung des Ressourceneinsatzes und der damit verbundenen Umweltwirkungen werden europaweit genutzt und sanktionierbare Zielvorgaben zumindest auf Ebene der EU-Mitgliedsstaaten gesetzt. Die Marktteilnehmer reagieren zunächst stark adaptiv auf die Vorgaben, entwickeln jedoch in einem erheblich geänderten Marktumfeld schnell Eigeninitiative zur Innovationsentwicklung.

Tabelle 5: Regulatorische Rahmenbedingungen im Szenario »Vollumfängliche Transformation«

Kategorie	Ausprägung
<b>Herstellerverantwortung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Prinzip wird allgemeingültig umgesetzt. Hersteller sind verpflichtet, an Systemen teilzunehmen oder für gleichwertigen Ersatz zu sorgen.</li> <li>• Internalisierung bislang externer Kosten (z. B. Umweltabgaben)</li> </ul>
<b>Verwertungsquoten</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Der (Primär-)Ressourcenverbrauch wird sanktioniert (z. B. durch Ressourcensteuern), weiterhin sind ordnungspolitische Maßnahmen zur Unterdrückung des Rebound-Effekts implementiert.</li> </ul>
<b>Indikatoren</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indikatoren zur quantitativen und qualitativen Bewertung von Ressourceneinsatz und Umweltwirkungen werden europaweit genutzt; sanktionierbare Zielvorgaben existieren auf Ebene der EU-Mitgliedsstaaten.</li> </ul>
<b>Standards</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es existieren klar definierte Standards bezüglich der Qualität von Sekundärrohstoffen.</li> </ul>
<b>Produkte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Langlebigkeit und Reparaturfreundlichkeit sind regulatorisch festgelegte Ziele; sie haben hohe Priorität in Produktdesign, Marketing- und Kundenbindungsstrategien der Produzenten.</li> <li>• Der Zugang zu Ersatzteilen und Reparaturanleitungen ist für alle Marktteilnehmer offen.</li> <li>• Daten über eingesetzte Rohstoffe werden auf Produktebene vorgehalten und können von allen Marktteilnehmern über den Lebenszyklus genutzt werden.</li> </ul>

Das Szenario stellt eine deutliche Veränderung der Grundprinzipien der industriellen Produktion dar, da der Absatz von Neuprodukten zugunsten von Reparatur- und Wartungstätigkeiten deutlich an Bedeutung verliert. Dies führt zu einem Rückgang der Abfallmengen, die dafür qualitativ deutlich besser verwertet werden als heute. Ebenso kommt es zu einem mengenmäßigen Rückgang physischer Exporte sowie der Importe von Rohstoffen und Halbzeugen. Tabelle 5 fasst die regulatorischen Rahmenparameter für dieses Szenario zusammen.

Für die **produzierenden Unternehmen** stellt die starke Zunahme verbindlicher Verpflichtungen eine große Herausforderung dar, weil sie entsprechende Anpassungen ihrer Geschäftsmodelle vornehmen müssen.

Ein deutlicher Rückgang der Absatzmengen an Neuprodukten (ggf. abgedeckt durch Verkauf höherwertiger Produkte) führt zu deutlichen Marktverschiebungen. Der Mehrbedarf an Reparaturtätigkeiten und Ersatzteilen (durch Hersteller, Händler oder Dritte) erfordern schnelle Lösungen durch existierende oder neue Marktteilnehmer. Es werden deutlich veränderte Anforderungen an die Langzeiterersatzteilversorgung gestellt (z. B. deutlich höhere Abwärtskompatibilität von Baugruppen und Bauteilen). Unternehmen der produzierenden Wirtschaft kooperieren enger mit einer zunehmend spezialisierten Demontage- und Recyclingwirtschaft oder integrieren Teilaufgaben selbst. Augmented-Reality- und Virtual-Reality-Anwendungen (AR und VR) unterstützen Reparatur- und Demontageprozesse. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen wird für die produzierende Industrie deutlich attraktiver. Ein dauerhafter Zustand hoher Datentransparenz wird zum Konsens.

In der **Recyclingwirtschaft** ist eine Marktberreinigung zu beobachten. Insgesamt ist zumindest in Teilbereichen ein geringerer Mengendurchsatz von Abfällen bei erhöhter Qualität und Spezialisierung zu beobachten. Die Recyclingunternehmen müssen dabei eine engere Rückkopplung mit der produzierenden Wirtschaft suchen. Dabei müssen sie sich gegen den Verlust von Geschäftsfeldern an die Produzenten selbst oder neue Marktteilnehmer behaupten (z. B. Aufarbeitung von Altteilen). Die klassische Entsorgungslogistik fokussiert sich auf das Management von Schadstoffen und die Beseitigung nicht nutzbarer bzw. gefährlicher Stoffströme.

Auch für die **Logistikbranche** ergeben sich starke Veränderungen. »Traditionelle« Logistiklösungen im Schüttgut- wie auch Stückgutbereich verlieren Marktanteile (insbesondere die Entsorgungslogistik, aber auch die Distributions- und Rohstofflogistik). Individuelle Lösungen in der Kleinmengenlogistik (Altprodukte und

Ersatzteilversorgung) haben gute Marktperspektiven. Die Logistik selbst muss ihren Ressourcenverbrauch allerdings auch erheblich einschränken.

In Supply Chain Netzwerken wird eine dezentral organisierte, umfassende Informationsinfrastruktur vorgehalten. Hierdurch können die miteinander interagierenden Unternehmen ihre strategischen und operativen Entscheidungen sowohl an den übergeordneten Zielen der Circular Supply Chain wie auch an ihrer eigenen Strategie zur Umsetzung gesellschaftlicher Anforderungen ausrichten. Eine zentralisierte Steuerung ist dabei nicht erforderlich.

Standardisierte und qualitätsgesicherte Sekundärrohstoffe können aus zahlreichen Quellen bezogen und in die Beschaffungsstrategien der Supply Chains integriert werden. Mit Hilfe der dezentralen Dateninfrastruktur lassen sich Ursprünge und Qualität der Materialien durch beteiligte Akteure einfach und transparent nachvollziehen. Hierbei helfen auf Unternehmensebene eingesetzte Prinzipien der Industrie 4.0. Sie unterstützen bei der autonomen Planung logistischer Aufgaben, indem sie die zugrundeliegenden Systeme auf die Anforderungen z. B. hinsichtlich neuer, effizienter Ersatzteilversorgungsstrategien und on-Demand-Fertigung einzelner Ersatzteilbaugruppen ausrichten.

In Unternehmen der Circular Economy kommen verstärkt Technologien wie AR und VR zum Einsatz, die Mitarbeiter bei der Demontage und Rückgewinnung von Material und Baugruppen aus Geräten unterstützen. Die durch »Smart Labels« gekennzeichneten Güter finden eigenständig ihren Weg durch die logistischen Netzwerke zu ihren Zielorten.

---

Die Logistik schafft geschlossene Kreisläufe für Produkte, Materialien und Informationen, in denen die Akteure über alle Wertschöpfungsebenen hinweg miteinander kooperieren. Die Logistik selbst muss ihren Ressourcenverbrauch allerdings auch erheblich einschränken.

---

## Zusammenfassung

Die beschriebenen Szenarien bilden stark gegensätzliche Ausprägungen der Circular Economy ab. Es ist aufgrund bestehender Strukturen und Akteursbeziehungen, des komplexen Gefüges globaler Wertschöpfungsketten und der nationalen Interessen der EU-Mitgliedstaaten derzeit noch nicht klar, in welche Richtung und in welcher Geschwindigkeit sich die Circular Economy entwickeln wird. Auf der einen Seite ist eine Fortentwicklung bestehender Ansätze über den Status quo hinaus kaum aufzuhalten, jedoch ist eine disruptive Umsetzung eines gesamtwirtschaftlichen Circular-Economy-Konzepts in einem kürzeren Zeitraum nicht zu erwarten. Denkbar sind eine Vielzahl verschiedener Übergangsszenarien, die bestehende Ansätze weiterverfolgen und neue Ideen aufnehmen.

Anhand der beiden skizzierten Szenarien kann aufgezeigt werden, inwieweit technologische Entwicklungen in der Logistik die Umsetzung auf verschiedenen Niveaus und in unterschiedlichen Geschwindigkeiten zu erreichen helfen. An vielen Stellen sind bereits im zurückhaltenden ersten Szenario positive Auswirkungen der logistischen Trends auf Akteure und Umwelt erkennbar, an anderen Stellen sind diese Auswirkungen jedoch noch nicht hinreichend abschätzbar. Es gilt also, die diese Innovationen weiterzuentwickeln, um deren vollumfängliche Nutzung für die Circular Economy zu ermöglichen.

## AUSBLICK

Die Circular Economy ist ein Gestaltungsprojekt, das die Art des Wirtschaftens revolutioniert. Die Logistik ist hierzu unabdingbar, da sie auf allen Ebenen der Circular Economy ansetzt: Vom physischen Gütertransport, über die Übermittlung von Informationen, die Organisation von Netzwerken bis hin zur Entwicklung von Geschäftsmodellen. Sie vernetzt die Akteure über alle Wertschöpfungsketten hinweg und bezieht dabei ebenso die staatlichen Akteure wie auch die Konsumenten mit ein. Die daraus resultierenden Aufgabenstellungen und Herausforderungen können bereits jetzt mit aktuell verfügbaren logistisch-technologischen Ansätzen angegangen werden. Insbesondere für die folgenden beiden Fragestellungen besteht jedoch weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf:

▷ **Supply Chains in der Circular Economy**

Die Leitfrage »wie kann ein effizientes Zusammenspiel der Akteure in einer Circular Economy gelingen?« erfordert eine Untersuchung welche Standards für Material, Transporte, Kommunikation und vertragliche Interaktion von beteiligten Supply Chain Partnern hierfür erforderlich sind. Entsorgungs- und Recyclingunternehmen werden zukünftig als Produzenten hochwertiger Produktionsrohstoffe einen wesentlichen Beitrag zum Lückenschluss leisten.

▷ **Industrielle Produktion in der Circular Economy**

Im Fokus dieses Forschungsansatzes stehen die Technologien und Produktionsweisen, die Circular-Economy-fähige Produkte ermöglichen. Ausgehend von der Frage »wie muss sich die industrielle Produktion in der Circular Economy verändern?« wird untersucht, was eine weniger ressourcenintensive und stärker werterhaltende Produktionsweise für die Fabrik und Fabriknetzwerke der Zukunft bedeutet.

Darüber hinaus sind regulatorische Rahmenbedingungen entscheidende Faktoren zum Erreichen der Ziele wie auch zur Unterstützung weiterer Innovationen. Allerdings ist derzeit nicht absehbar, in welche Richtung und in welcher Geschwindigkeit sich der regulatorische Rahmen hinsichtlich der Transformation letztendlich entwickeln wird.

---

Die Logistik allein wird den Wandel zur Circular Economy nicht bewältigen können. Anders herum kann das Potenzial der Circular Economy aber nur mit passenden logistischen Lösungen realisiert werden. Hierzu müssen anwendungsorientierte Lösungen zur praktischen Umsetzung der zirkulären Netzwerke entwickelt sowie die Rebound-Effekte und umweltbedingten Implikationen betrachtet werden.

---

# LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Scheelhaase, T.; Zinke, G. (2016): Bericht: Potenzialanalyse einer zirkulären Wertschöpfung im Land Nordrhein-Westfalen. Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Industrie, Mittelstand und Handwerk NRW MWEIMH. Düsseldorf-Hamburg-Berlin.
- [2] Ellen MacArthur Foundation (2017): Circular Economy Overview. The concept of a circular economy. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/> – Abgerufen am 01.10.2017.
- [3] Ellen MacArthur Foundation, McKinsey Center for Business and Environment (2015): Growth Within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe.
- [4] Hiebel, M.; Bertling, J.; Nühlen, J.; Pflaum, H.; Somborn-Schulz, A.; Franke, M.; Reh, K.; Kroop, S. (2017): Studie zur Circular Economy im Hinblick auf die chemische Industrie. Studie im Auftrag des Verbands der Chemischen Industrie e.V., Landesverband NRW. Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.). Oberhausen.
- [5] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.) (2002): VDI-Richtlinie 2243: Recyclingorientierte Produktentwicklung. Beuth Verlag GmbH. Berlin.
- [6] Boyd, S. B. (2009): Life-cycle Assessment of Semiconductors; Dissertation; University of California. Berkeley.
- [7] Bahn-Walkowiak, B.; Bleischwitz, R.; Kristof, K.; Türk, V. (2007): Instrumentenbündel zur Erhöhung der Ressourcenproduktivität. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (Hrsg.). Wuppertal.
- [8] Büchele, R.; Andrä, P. (2016): Die Digitalisierung in der GreenTech-Branche. Handlungsbedarfe für Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland. Roland Berger GmbH (Hrsg.). München.
- [9] Fennemann V. (2013): TraCy. Tray Cycling – Logistics for Urban Mining. In: Clausen U., ten Hompel M., Klumpp M. (Hrsg.): Efficiency and Logistics. Lecture Notes in Logistics. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [10] Momox-Fashion (2017). URL: <https://www.momox-fashion.de> – Abgerufen am 13.10.2017.
- [11] Deutsche Telekom (2017): <https://shop.telekom.de/handyankauf> – Abgerufen am 13.10.2017.
- [12] Eurostat (2017): Resource productivity statistics. URL: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Resource\\_productivity\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Resource_productivity_statistics) – Abgerufen am 10.10.2017
- [13] European Commission (2014): Flash Eurobarometer 388: Attitudes of Europeans towards Waste Management and Resource Efficiency. Brüssel.
- [14] Junker Mobile Mind (2017): MyMüll.de. URL: <https://www.mymuell.de/> – Abgerufen am 13.10.2017.
- [15] Codecheck AG (2017): Produkte checken und gesund einkaufen. URL: <https://www.codecheck.info/so-gehts/start> – Abgerufen am 13.10.2017.

- [16] Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) (2017): ToxFox: Scannen, fragen, giftfrei einkaufen. URL: <https://www.bund.net/chemie/toxfax/> – Abgerufen am 15.10.2017.
- [17] NABU (2017): NABU Siegel-Check. URL: <http://siegelcheck.nabu.de/> – Abgerufen am 15.10.2017.
- [18] Lacy, P.; Keeble, J.; McNamara, R.; et al. (2014): Circular Advantage. Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth. Accenture.
- [19] Sustainable Development Knowledge Platform (2017). URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/> – Abgerufen am 12.10.2017.
- [20] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. 2. Aufl. Berlin.
- [21] European Commission (2015): Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. Brüssel.
- [22] European Commission (2017): Monitoring framework for the circular economy. Brüssel. Joint meeting of the working groups Environmental accounts and Monetary environmental statistics and accounts, 4.5.2017. URL: [https://circabc.europa.eu/sd/a/6e2a8ec7-cae2-4ae4-a2f8-073b305b7a33/ENV\\_ACC-MESA\\_WG\\_2017\\_04.1%20Monitoring%20framework%20circular%20economy.pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/6e2a8ec7-cae2-4ae4-a2f8-073b305b7a33/ENV_ACC-MESA_WG_2017_04.1%20Monitoring%20framework%20circular%20economy.pdf) – Abgerufen am 13.10.2017.
- [23] European Parliament (2017): European Parliament resolution of 4 July 2017 on a longer lifetime for products: benefits for consumers and companies. Brüssel.
- [24] Municipal Waste Europe et al. (2015): Open letter regarding the withdrawal and renewed discussion of the circular economy package to President Jean-Claude Juncker, European Commission.
- [25] EuRIC - The European Recycling Industries' Confederation (o.J.): EuRIC concrete proposals for a market-driven circular economy. URL: <https://www.euric-aisbl.eu/position-papers/item/84-euric-concrete-proposals-for-a-market-driven-circular-economy> – Abgerufen am 13.10.2017.
- [26] FEAD - European Federation of Waste Management and Environmental Services (2014): Driving the Circular Economy – A FEAD Strategy for 2014-2020. Brüssel.
- [27] VKU - Verband kommunaler Unternehmen e. V. (2015): VKU begrüßt den ganzheitlichen Ansatz zur Weiterentwicklung des Circular-Economy-Paketes. Berlin. URL: <https://www.vku.de/presse/pressemitteilungen-liste/liste-pressemitteilungen/archiv-2015-pressemitteilungen/pressemitteilung-4615.html> – Abgerufen am 14.10.2017.
- [28] BDE - Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser-, und Rohstoffwirtschaft e.V.; ITAD - Interessengemeinschaft der thermischen Abfallbehandlungsanlagen in Deutschland e.V.; VDMA - Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (Hrsg.) (2016): Branchenbild der Kreislaufwirtschaft. Berlin.
- [29] VDMA - Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (2015) Kreislaufwirtschaft: VDMA warnt vor zu viel Detailregelung. Frankfurt. URL: <https://www.vdma.org/article/-/articleview/8955537> – Abgerufen am 12.10.2017.

- [30] Municipal Waste Europe (2013): Extended Producer Responsibility. Brüssel. URL: <https://www.municipalwasteurope.eu/sites/default/files/Positions/8.%20MUNICIPAL-WASTE-EUROPEonEPR.pdf> – Abgerufen am 12.10.2017.
- [31] Orgalime: European Engineering Industry Association – About us. Brüssel. URL: <http://www.orgalime.org/page/about-us> – Abgerufen am 12.10.2017.
- [32] Orgalime (2016): Position Paper Action Plan Circular Economy: Closing the Loop; Brüssel.
- [33] Orgalime (2017): Orgalime comments on the Commission Roadmap regarding the development of a monitoring framework for the Circular Economy. Brüssel.
- [34] Wilts, H.; Berg, H. (2017): in brief 04/2017. Digitale Kreislaufwirtschaft. Die Digitale Transformation als Wegbereiter ressourcenschonender Stoffkreisläufe. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH (Hrsg.). Wuppertal.
- [35] Brother (2017): Toner Recycling. URL: <http://recycling.brother.eu/de/> – Abgerufen am 10.10.2017.
- [36] Samsung (2017): S.T.A.R. Programme. URL [https://support-prc.samsung.com/star\\_b2b/pages/home.aspx](https://support-prc.samsung.com/star_b2b/pages/home.aspx) – Abgerufen am 10.10.2017.
- [37] Otto, B. et al. (2016): White Paper Industrial Data Space. Digitale Souveränität über Daten, URL: <http://www.industrialdataspace.org/publications/ids-whitepaper/> – Abgerufen am 10.10.2017.
- [38] Schlatt, V. et al. (2016): Blockchain: Grundlagen, Anwendungen und Potenziale. URL: [https://www.fit.fraunhofer.de/content/dam/fit/de/documents/Blockchain\\_WhitePaper\\_Grundlagen-Anwendungen-Potentiale.pdf](https://www.fit.fraunhofer.de/content/dam/fit/de/documents/Blockchain_WhitePaper_Grundlagen-Anwendungen-Potentiale.pdf) – Abgerufen am 12.10.2017.
- [39] Clausen, U.; Dörmann, J.; Kopka, J.-P. (2017): Konzepte für die Kreislaufwirtschaft: Aktuelle Entwicklungen im Bereich des Baustoffrecyclings. In Wolf-Kluthausen, H. (Hrsg.): Jahrbuch Logistik 2017, S. 22-24. Wuppertal.
- [40] Ford, S.; Despeisse, M. (2016): Additive Manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. In: Journal of Cleaner Production 137, S. 1573-1587. Elsevier.
- [41] ten Hompel, M.; Henke, M. (2014): Logistik 4.0. In Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer Vieweg. Wiesbaden.
- [42] Bauernhansl, T. (2014): Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Springer Vieweg. Wiesbaden.
- [43] Tüllmann, C.; ten Hompel, M.; Nettsträter, A.; Prasse, C. (2017): Whitepaper Social Networked Industry ganzheitlich gestalten. In ten Hompel, M.; Henke, M.; Clausen, U. (Hrsg.): Schriftenreihe Future Challenges in Logistics and Supply Chain Management. Dortmund.

IN KOOPERATION MIT



EffizienzCluster  
LogistikRuhr

LEISTUNGSZENTRUM  
LOGISTIK UND IT



INNOVATIONSLABOR  
Hybride Dienstleistungen  
in der Logistik

GEFÖRDERT VOM

Ministerium für Innovation,  
Wissenschaft und Forschung  
des Landes Nordrhein-Westfalen



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung