

ZUSAMMENFASSUNG STUDIE ZUR CIRCULAR ECONOMY IM HINBLICK AUF DIE CHEMISCHE INDUSTRIE



Oberhausen, März 2017

© Fraunhofer UMSICHT

ZUSAMMENFASSUNG STUDIE ZUR CIRCULAR ECONOMY IM HINBLICK AUF DIE CHEMISCHE INDUSTRIE

**Vorgelegt
von:**

**Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-
und Energietechnik UMSICHT**

Institutsleiter
Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner
Osterfelder Straße 3
46047 Oberhausen

Für:

**Verband der Chemischen Industrie
e.V. (VCI)**

Landesverband NRW

Geschäftsführer
Hans-J. Mittelstaedt
Völklinger Str. 4
40219 Düsseldorf

Ein Beitrag zu

CHEMIE³

DIE NACHHALTIGKEITSINITIATIVE
DER DEUTSCHEN CHEMIE

Projektteam: Dr.-Ing. Markus Hiebel*, Jürgen Bertling, Jochen Nühlen, Dr.-Ing. Hartmut Pflaum, Annette Somborn-Schulz, Dr. Matthias Franke, Katharina Reh, Stephanie Kroop

**Projektleitung*

Zitierhinweis: Hiebel, M.; Bertling, J.; Nühlen, J.; Pflaum, H.; Somborn-Schulz, A.; Franke, M.; Reh, K.; Kroop, S.: Studie zur Circular Economy im Hinblick auf die chemische Industrie; Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT (Hrsg.), Studie im Auftrag des Verbands der Chemischen Industrie e.V., Landesverband NRW; Oberhausen, Februar 2017

In dieser Studie werden Namen von Unternehmen oder Namen von Produkten, Verfahren oder Dienstleistungen nur verwendet, um die Urheber- bzw. Herausgeberschaft von in der Studie zitierten und analysierten Informationsquellen und -bezügen eindeutig zuordnen zu können. Die Namensnennung stellt insbesondere keine Wertung, Rangliste oder sonstige Hervorhebung sowie keinerlei Empfehlung für das Angebotsspektrum eines bestimmten Unternehmens dar.

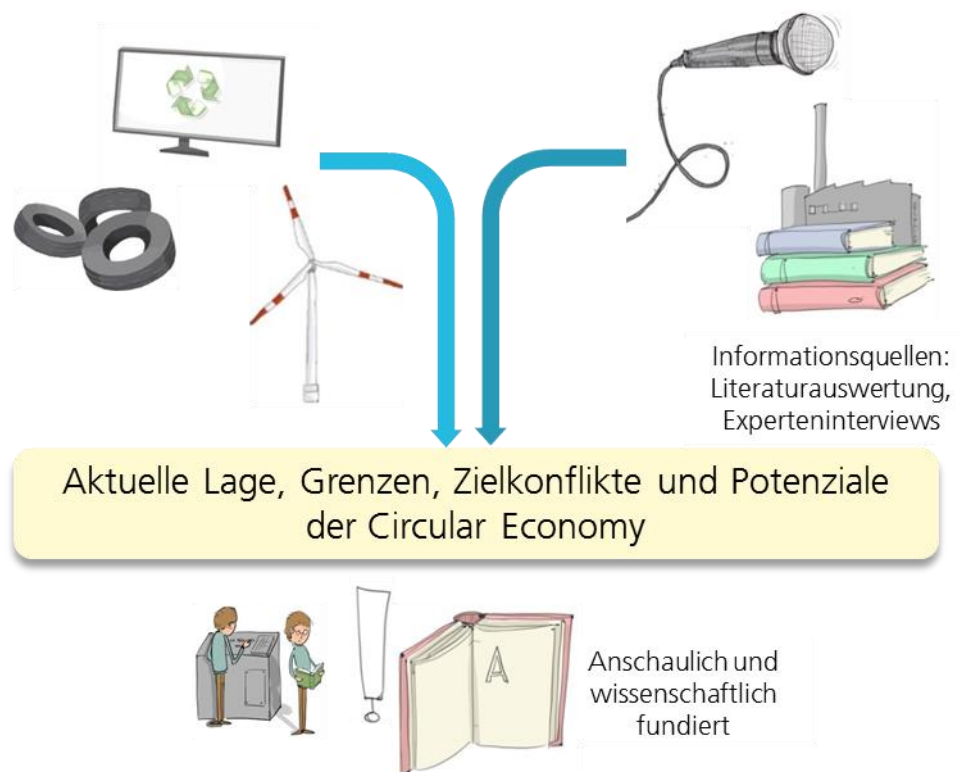
Oberhausen, März 2017

Zusammenfassung (Management Summary)

Zielstellung der Studie Der Verband der Chemischen Industrie e.V., Landesverband NRW hat das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT beauftragt, eine Studie zur Circular Economy (zirkulären Wirtschaft) zu erstellen. Im Rahmen der Studie (Laufzeit Juni bis Dezember 2016) wurden Chancen, aber auch Grenzen der Circular Economy im Hinblick auf die chemische Industrie in Deutschland herausgearbeitet.

Vorgehensweise Basis der Arbeiten stellt eine umfangreiche wissenschaftliche Literaturrecherche dar. Bereits vorhandenes institutseigenes Know-how ging mit in die Darstellung ein. Aus den zusammengestellten Informationen wurden anschließend Leitfragen herausgearbeitet, die in Experteninterviews diskutiert wurden, um so Drittexpertise mit in das Projekt einzubeziehen. Die Interviews wurden insbesondere dafür genutzt, identifizierte Wissenslücken in der Literatur zu schließen und um Erkenntnisse der Studie durch die Experten zu untermauern. So wurde eine fundierte Aufstellung über die Grenzen und die Potenziale der Circular Economy sichergestellt.

Bild 1:
Vorgehen in der Studie



Definition der Circular Economy für diese Studie

Unter Berücksichtigung der Entwicklung des Konzepts der Circular Economy hat Fraunhofer UMSICHT für diese Studie folgende Definition entwickelt und verwendet:

Definition der Circular Economy von Fraunhofer UMSICHT

»In einer Circular Economy verbleiben die eingesetzten Stoffe über den Lebenszyklus von Waren hinaus in einem Stoffkreislauf. Abfälle, Emissionen, dissipative Verluste und damit auch die Entnahme von Rohstoffen aus der Umwelt sollen dabei soweit möglich verringert werden.

Wichtige Elemente zur Umsetzung einer Circular Economy sind die Wieder- und Weiterverwendung von Waren, das Recycling von Materialien und Stoffen sowie eine Gestaltung der Waren, die eine Kreislaufführung ohne Verluste in der Qualität ermöglicht. Gleichzeitig muss eine Anreicherung von Stoffen, die eine Kreislaufführung erschweren und die Akkumulation von Schadstoffen vermieden werden. Dabei soll die Nutzungsdauer von Waren möglichst lang und ihre Rückführung in den Kreislauf zum Ende der Nutzungsdauer möglichst schnell sein.

Eine Nebenbedingung, die die Qualität einer Circular Economy wesentlich mitbestimmt, ist ein möglichst geringer Energiebedarf – der idealerweise aus erneuerbaren Ressourcen gedeckt wird – zur Aufrechterhaltung des Kreislaufs. Stoffe, die nicht im Kreis geführt werden können, sollten einer energetischen Verwertung zugeführt werden.

Materialien, bei denen sich dissipative Verluste nicht vermeiden lassen, sollten abbaubar sein.

Das Konzept der Circular Economy kann auf Regionen, Branchen, Unternehmen oder einzelne Waren gleichermaßen angewandt werden.«

Betrachtete Stoffströme

Um Potenziale und Grenzen der Circular Economy anschaulich darzustellen, wurden drei Stoffströme detailliert untersucht: Reifen, Rotorblätter aus Windkraftanlagen und LCD-Bildschirme.

Grenzen und Potenziale für Reifen

Reifen sind ein komplexes Verbundbauteil, dessen werkstoffliches Recycling durch Vielfalt und Haftung der Komponenten und vor allem durch die irreversible Vernetzung des Matrixmaterials Gummi erschwert wird. Die heutige stoffliche Verwertung von Altreifen ist daher durch eine Kaskadennutzung geprägt, bei der zahlreiche Sekundärprodukte entstehen wie elastifizierter Asphalt, Fallschuttmatten, Einstreugranulate für Kunstrasen etc. In Bezug auf Bruttowertschöpfung und Beschäftigungszahlen erreicht der Sekundärmarkt für altreifenbasierte Produkte zum heutigen Stand ca. 1/6 des Primärmarktes.

Zur Steigerung der Zirkularität wären vor allem die beiden folgenden Ansätze zielführend:

1. Deutliche Steigerung des »recycled content« durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen oder Karkassen (oder anderen Elementen des Reifens) in der Neuproduktion von Reifen.
2. Intensivierung der Forschung und Entwicklung zu neuen Konzepten für die Runderneuerung und Devulkanisation von Gummi (inkl. der Entwicklung neuer Reifenwerkstoffe, die sich reversibel vernetzen lassen) sowie zur Schadstoffentfrachtung (z. B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle) von Reifen.

Eine Anhebung der End-of-Life (EoL)-Recyclingraten hingegen wäre gerade bei einem Material wie Gummi, dessen Herstellungsprozess sich weder einfach umkehren noch wiederholen lässt, nicht zielführend, sondern würde zur »Erfindung« neuer Sekundäranwendungen führen. Man kann aber davon ausge-

hen, dass vieles von dem, was aus heutiger Sicht mit Altreifen und insbesondere Gummigranulat wirtschaftlich sinnvoll gemacht werden kann, bereits geschieht. Ansonsten würden die Anteile der energetischen Verwertung deutlich schneller schrumpfen, als sie es zurzeit tun.

Grenzen und Potenziale für Rotorblätter von Windenergieanlagen

Rotorblätter für Windenergieanlagen bestehen zu unterschiedlichen Anteilen aus Harzen, Balsaholz, Glas- oder Carbonfasern, Hartschaum, Eisen- und Nicht-eisenmetallen und Lacken). Die Rotorblätter sind wichtige Elemente der Energiewende: Sie müssen bei geringem Gewicht hohe werkstoffliche Anforderungen erfüllen und ermöglichen damit große Rotordurchmesser. Nach dem Ende ihrer Nutzungsdauer sollten die Rotorblätter möglichst hochwertig verwertet werden. Einige der Altanlagen werden heute komplett rückgebaut und an anderen Standorten wieder montiert und weiterbetrieben. Dieser Pfad wird aufgrund eines Sättigungseffekts in Zukunft schwieriger. Weitere Restriktionen sind die steigenden Größen der Anlagen und damit die steigenden Logistikkosten und die Abnahme von geeigneten Anlagenstandorten. Aus Sicht der Circular Economy ist der Weiterbetrieb von Anlagen über einen Zeitraum von 20 Jahren hinaus unter Einhaltung aller Sicherheitsrichtlinien ein denkbarer Ansatz, solange noch keine zufriedenstellenden stofflichen Verwertungswege existieren und ein Weiterbetrieb den Ausbauzielen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes nicht im Wege steht.

Zurzeit werden Rotorblätter aus Altanlagen häufig gelagert, da geeignete hochwertige Verwertungswege fehlen. Die Nutzung der zerkleinerten Rotorblätter (mit allen Problemen des Arbeitsschutzes bei der Zerkleinerung) im Zementwerk ist eine Möglichkeit, den Energiegehalt der Rotorblätter zu nutzen und die Grundbestandteile der Glasfasern in den Zement einzubinden.

Das hochwertige Recycling von Rotorblättern, die Wiedernutzung der identischen Glasfasern in neuen Rotorblättern, ist technisch zur Zeit nicht realisierbar. Es fehlen aber auch Anwendungen für die Wiedernutzung. Potenzielle Anwendungsmöglichkeiten wären die Nutzung von Glasfasermehl als Substitut für Primärmaterial (»Glasfaser zu Glas«) oder der Einsatz »Glasfaser zu Füllstoff« in der Bauchemie und der Kunststoffindustrie.

Die Forschung zum zirkulären Design, zu geeigneten Recyclingverfahren und alternativen Materialien zur Substitution der glasfaserverstärkten Kunststoffe der Rotorblätter muss jedoch weitergeführt werden. Dabei ist auf mögliche Zielkonflikte hinsichtlich Energieausbeute im Anlagenbetrieb und Recyclingfähigkeit zu achten. Es muss darauf geachtet werden, dass weiterhin große Rotordurchmesser realisierbar sein müssen.

Grenzen und Potenziale für LCD-Bildschirmgeräte

Bei Flachbildschirmen handelt es sich um komplex aufgebaute Produkte, die einen hohen Wertstoff- aber teilweise auch relevanten Schadstoffgehalt aufweisen. In der Erstbehandlung der Geräte, deren Ausgestaltung stark von der Notwendigkeit zur Schadstoffentfrachtung bestimmt ist, wird eine Vielzahl an für ein hochwertiges Recycling geeigneter Fraktionen wie Eisen- und Aluminiummetalle oder Leiterplatten erzeugt. Für die Kunststofffraktion ist ein Recycling durch die Belastung mit Flammschutzmitteln nur für einen Teilstrom sinnvoll. Enthaltene strategisch wichtige Metalle, bei LCD-Bildschirmen besonders Indium, werden aufgrund fehlender Verwertungsstrukturen und ökonomischer Anreize derzeit nicht zurückgewonnen. Indium wird neben LCD-Bildschirmen

auch in Legierungen und Loten, Photovoltaik-Modulen sowie Leucht- und Laserdioden eingesetzt [Christman-2014], [EC-2016], und ist daher als Rohstoff für die europäische Industrie relevant, auch wenn in der EU keine Produktionsstandorte für LCD-Computerbildschirme angesiedelt sind.

Auch bezüglich der Vorbereitung zur Wiederverwendung bestehen relevante Hemmnisse, beispielsweise durch die Beschädigung bei der Erfassung oder Ersatzteilmangel. Durch Maßnahmen wie ein recyclingfreundlicheres Produktdesign und eine verbesserte Produktkennzeichnung könnten bestehende Hemmnisse abgebaut und die Circular Economy für LCD-Computerbildschirme weiterentwickelt werden.

Übersicht und Übertragbarkeit der drei Stoffströme

Die drei Stoffströme wurden in der folgenden Tabelle zueinander in Bezug gesetzt.

Tabelle 1: Betrachtete Produkte/Stoffströme

Merkmal	Fahrzeugreifen	Rotorblätter von Windenergieanlagen	LCD-Bildschirme
Aufbau, Zusammensetzung	Komplexer Materialverbund	Eher einfacher Materialverbund	Komplexes Produkt aus vielen verschiedenen Komponenten und Materialien
Umlaufzeit/ Lebensdauer	Bis zu 8 Jahre, bestimmt von der Restprofiltiefe	I.d.R. nach 20 Jahren; je nach anlagenspezifischer Situation auch 15 – 25 Jahre; bestimmt von Materialermüdung oder Maßnahmen zur Effizienzsteigerung (Repowering)	Ca. 6,6 Jahre (Erst- und Zweitnutzung) [Buchert-2012]; bestimmt von Moden und Trends
Anfallstellen und Logistik	Deutschlandweite kostenpflichtige Abgabe in Werkstätten und auf Recyclinghöfen	Ungeregelt, zeitlich- und räumlich stark schwankend; an Standorten der WEA; generell deutschlandweit, aktuell Schwerpunkt Norden	Erfassung durch öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger und den Handel (gesetzlich im ElektroG geregelt) [ElektroG-2015]
Anfallmengen in Deutschland pro Jahr	568 000 t/a (2015)	Durchschnittlich 3 000 t/a zwischen 2012 und 2016	Ca. 17 000 t/a, 3 Millionen Stück. (2013), Schätzung nach [Sellin-2016] und [Elektrocycling-2015]
Stand der Zirkularität	Kaskadennutzung und Sekundäranswendungen sind etabliert	Recyclingverfahren zur Trennung von Glasfaserverbundwerkstoffen nicht existent; energetisch-stoffliche Verwertung in Zementwerken	Recycling für Massen- und Edelmetalle sowie ausgewählte Kunststoffe; Recycling kritischer Metalle nicht wirtschaftlich (z. B. für Indium)
Potenzielle Zielkonflikte (Trade-offs)	Fahrsicherheit, Kraftstoffverbrauch,	Weiterbetrieb; Export von Altanlagen ins Ausland;	Geheimhaltungsbedarf der Hersteller bzgl.

Merkmal	Fahrzeugreifen	Rotorblätter von Windenergieanlagen	LCD-Bildschirme
offs)	Lärmemission	mögliche Performanceverluste durch andere Rotorblattmaterialien	Aufbau und Zusammensetzung im globalen Wettbewerb; Produktsicherheit
Übertragbarkeit auf andere Stoffströme	Elastomerprodukte wie Dichtungen, Schwingungsdämpfer; Silikonprodukte für die Küche, elastische und geschäumte Polyurethanbauteile	Klassische glasfaserverstärkte Kunststoff (GFK)-Anwendungen wie Boote, Carports, Wohnwagen, Spielgeräte, andere carbonfaserverstärkte Werkstoffe wie CFK im Flugzeug- und Fahrzeugbau	Andere Elektro- und Elektronikgeräte bzw. -bauteile

Mögliche Trade-offs | Zielkonflikte

Bei der Optimierung des Gesamtsystems müssen alle Lebenszyklusphasen berücksichtigt werden, da das Optimum einer einzelnen Phase nicht das Gesamtoptimum für ein Produkt sein muss. Bei vielen Optimierungen müssen Trade-offs (Zielkonflikte) betrachtet werden, d. h. dass durch wechselseitige Abhängigkeiten häufig gegenläufige Effekte in Bezug auf ein gegebenes Zielsystem entstehen: Wird z. B. eine Produkteigenschaft optimiert, kann zugleich eine andere schlechter werden.

Konkrete Beispiele für Trade-offs (siehe Tabelle 1) sind bei Reifen ein möglicherweise höherer Kraftstoffverbrauch, verminderte Haftungseigenschaften oder erhöhte Lärmemissionen durch den Einsatz recyclingfreundlicherer Materialien. Bei Rotorblättern könnte die Substitution von GFK durch Metallbleche oder Holz zu Performanceverlusten hinsichtlich geringerer Windausbeuten der Anlagen in der (für die Energiewende entscheidenden) Nutzungsphase führen. Diese theoretisch möglichen Materialalternativen wären zwar in gut etablierten Verwertungsverfahren rezyklierbar, würden jedoch nach aktuellem Kenntnisstand nicht die gleichen Rotorblattlängen bei identischen Materialkennwerten erreichen. Bei LCD-Bildschirmen steht beispielsweise der Geheimhaltungsbedarf der Hersteller bezüglich Aufbau und Zusammensetzung im globalen Wettbewerb dem Informationsbedarf entgegen, der für die Entwicklung und vor allem großtechnische Implementierung von innovativen Recyclingverfahren erforderlich wäre. Dies gilt insbesondere für den Aufbau von Recyclingverfahren für nur in geringen Konzentrationen in den Altgeräten vorhandene, kritische Metalle. Ein weiterer Zielkonflikt kann im Bereich der Produktsicherheit bestehen. So ist es beispielsweise erforderlich, in bestimmten Bauteilen flammgeschützte Kunststoffe zu verwenden. Dies steht, je nach Art der für den Flammschutz eingesetzten Substanzen, zum Teil der Recycelbarkeit dieser Bildschirmbestandteile entgegen. Der Einsatz anderer Materialien muss sorgfältig auf Performance, Umweltfreundlichkeit und Kosten geprüft werden.

Bei allen Entscheidungen zur Circular Economy sollten daher alle Lebenszyklusphasen berücksichtigt werden, um unerwünschte Trade-offs zu erkennen und soweit wie möglich zu vermeiden.

EU-Kreislaufwirtschaftspaket und Circular Economy

In der Studie werden Forderungen und Entwicklungen, die sich aus dem EU-Kreislaufwirtschaftspaket für die Circular Economy ergeben können, beschrieben. Diese betreffen Produktion und Produktgestaltung, Verbrauch, Abfallbe-

wirtschaftung, Sekundärrohstoffe, Kunststoffe und Kunststoffabfälle, kritische Rohstoffe, Bau- und Abbruchabfälle, Biomasse und biobasierte Produkte und Innovation und Investition. Eine Folge des Kreislaufwirtschaftspakets könnte z. B. sein, dass dem Verbraucher produktbezogene Umweltinformationen zur Verfügung gestellt werden, damit er diese sowohl bei der Kaufentscheidung als auch während der Nutzungsphase berücksichtigen kann (z. B. Reparierbarkeit, recycled content). Ziel ist es dabei, langlebige, kreislauffähige und innovationsoffene Produkte im Markt zu etablieren.

Notwendigkeit und Argumente für eine Circular Economy

Das Konzept der Circular Economy wird in der vorliegenden Studie unter Berücksichtigung unterschiedlicher Perspektiven eingeordnet. Wenn die Circular Economy als langfristiges Ziel wünschenswert ist, so muss der Pfad zu ihrer Umsetzung über wettbewerbsfähige Zwischenschritte erfolgen, wenn man eben dieses Ziel nicht gefährden will. Für die Circular Economy können unterschiedliche Argumente sprechen, wie die Wertschöpfung durch Recycling, die Ressourcenverknappung, die Reduzierung von Flächenkonkurrenzen und die Emissionsminderung, die Versorgungssicherheit und die Minderung struktureller Risiken bei der Rohstoffversorgung.

Systemischer Blick und mögliche Zielkonflikte einer Circular Economy

Durch einen systemischen Blick auf die Circular Economy lassen sich grundsätzliche Zielkonflikte aufzeigen. Im Resultat lassen sich sieben Punkte als zentrale Herausforderungen für die Umsetzung einer zirkulären Ökonomie zusammenfassen:

Zentrale Herausforderungen für die Transformation zu einer Circular Economy

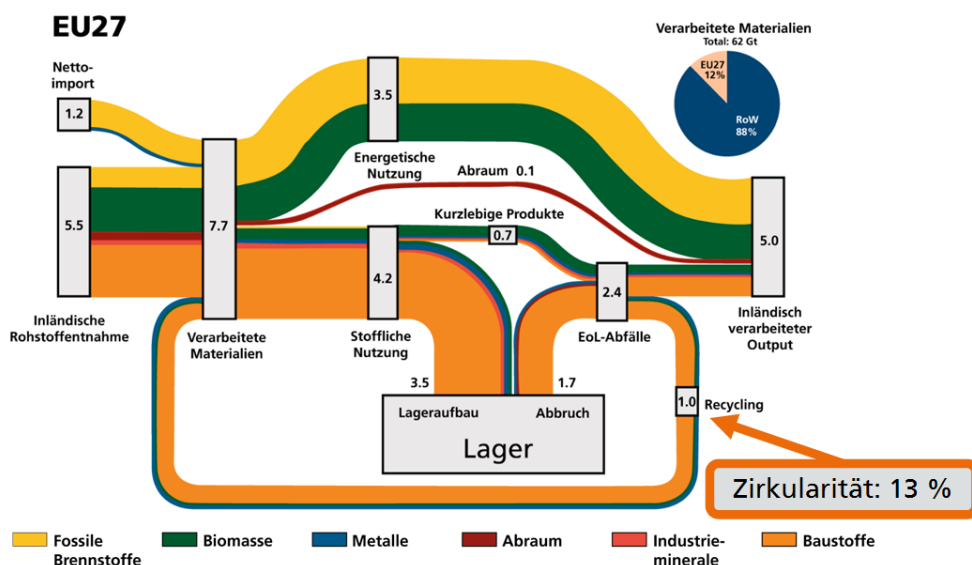
- 1) Eine Schlüsselrolle für die Umsetzung einer Circular Economy spielt die Entwicklung von kreislauffähigen Produkten. Ihre Durchsetzung erfordert es, dass sie gegenüber nicht kreislauffähigen Produkten wettbewerbsfähig sind. Die Wettbewerbsfähigkeit muss dabei insbesondere auch die Effizienz und Performance der Produkte bei Herstellung und Nutzung in den Blick nehmen.
- 2) Der zirkuläre Anteil in der Warenproduktion (recycled content) in Form von reparierten oder überholten Produkten, wiederverwerteten Komponenten und rezyklierten Werk- und Rohstoffen muss gesteigert werden. Gleichzeitig müssen als Grundvoraussetzung die Produktsicherheit und Umweltstandards gewährleistet werden.
- 3) Allgemein müssen bestehende Vorgehen zum Produkt- und Abfallmanagement berücksichtigt werden. Sortier-, Trenn- und Aufbereitungstechnologien inklusive Systemen zur lebenszyklusweiten Logistik und Materialidentifikation müssen weiterentwickelt werden. Dabei spielt eine enge Abstimmung mit der Entwicklung kreislauffähiger Produkte eine wichtige Rolle.
- 4) Der teilweise sehr große zeitliche Unterschied zwischen Rohstoffbedarf und Verfügbarkeit der Sekundärrohstoffe und die damit verbundenen Mengen-, Qualitäts- und Akzeptanzprobleme erfordern neue Methoden zur Prognose und langfristigen Rohstoffstrategie.
- 5) Die Materialverluste bei dissipativen und umweltoffenen Anwendungen¹ müssen vermindert werden. Materialien, deren Verluste unvermeidbar sind oder deren Verlust intendiert ist, sollten eine ausreichend schnelle Abbaubarkeit besitzen.
- 6) Rohstoffbedarfe, die durch eine Kreislaufführung nicht gedeckt werden können oder die zur Deckung des Energiebedarfs einer Circular Economy erforderlich sind, müssen zunehmend aus regenerativen Quellen nachhaltig gewonnen werden (Flächenkonkurrenzen zur Nahrungsmittelproduktion müssen berücksichtigt werden).
- 7) Eine Circular Economy und ihre Ausgestaltung dürfen anderen wichtigen gesellschaftlichen Zielen wie der Bewältigung des Klimawandels, der Energiewende oder der Verringerung von Armut nicht entgegenwirken.

¹ Dies sind z. B. Materialien, die in der Umwelt verbleiben sollen, wie Pflanztopfe oder Bodengitter.

Status der Transformation zu einer Circular Economy

Die Betrachtung des Stands der Transformation zu einer Circular Economy ist ernüchternd. Bezogen auf die gesamte eingesetzte Materialmenge von 62 Milliarden Tonnen beträgt der Recyclinganteil weltweit ca. 6,5 % und in der EU-27 13 % (vgl. Bild 2) [Haas-2015]. Dies ist zugleich das Maß der *Zirkularität* der weltweiten Wirtschaft bzw. der EU. Die Zirkularität in Deutschland beträgt nach diesem Modell im Jahr 2014 ca. 17 %; bezieht man die nicht verwertete inländische Entnahme mit ein nur 7,6 % (Daten aus [DESTATIS-2016]).

Bild 2: Materialflüsse und Zirkularität in der EU im Jahr 2005 – alle Werte in Milliarden Tonnen, nach [Haas-2015]



EU-weit werden nur 13 % des Materials im Kreis geführt

Als Fazit gilt damit, dass nur ein kleiner Teil des *insgesamt* verarbeiteten Materials aktuell im Kreis geführt wird. Weder die Welt, noch die EU, noch Deutschland befinden sich in Sichtweite einer realisierten Circular Economy, wenn man *alle* eingesetzten Materialien als Bezugsgröße wählt. Etwa 45 % dieser Materialien werden heute für die energetische Nutzung verwendet und sind damit nicht zirkulär. Der zunehmende Verzicht auf fossile Energieträger im Energiesystem verbunden mit dem gesteigerten Einsatz von erneuerbaren Energien (z. B. nach dem Vorbild der deutschen Energiewende) würde daher die Zirkularität auch ohne stoffliches Recycling deutlich steigern helfen. Für die Transformation hin zu einer Circular Economy ist Recycling ein zusätzlicher Baustein, wenn es wirtschaftlich, ökologisch und wettbewerbsgerecht erfolgen kann. Recycling wird es aber nicht allein richten können, weil erstens der Materialverbrauch an fossilen Energieträgern nach wie vor sehr groß ist und zweitens die globalen Materialbestände in langlebigen Produkten und Gebäuden stetig und schnell ansteigen (und dieses Material erst zeitverzögert zurückgewonnen werden kann). Der Zugriff auf Materialbestände (anthropogene Lager) kann nur erfolgen, wenn zum einen zu jedem Zeitpunkt genügend Informationen über den verbauten Materialmix und die zugehörigen Materialmengen vorhanden sind und zum anderen Weiterverwendungsfähigkeit, Modularisierung, Komponentenertüchtigung, ein recyclingfreundliches Design und eine ökonomische Recyclingtechnologie zusammenkommen.

Hemmnisse bei der Umsetzung einer Circular Economy

Bild 3 zeigt technologische, ökonomische und ökologische Herausforderungen und Grenzen, um von einer »Linear Economy« zu einer Circular Economy zu gelangen. Technische Herausforderungen liegen z. B. in der Produktgestaltung

oder bei dissipativen Verlusten. Ökologische Herausforderungen sind z. B. die spezifischen Energie- und Rohstoffbedarfe des Recyclings oder auch kritische Emissionen. Ökonomische Herausforderungen sind u. a. die Preise von Sekundärrohstoffen im Vergleich zu Primärrohstoffen und der Umgang mit Kuppelprodukten.

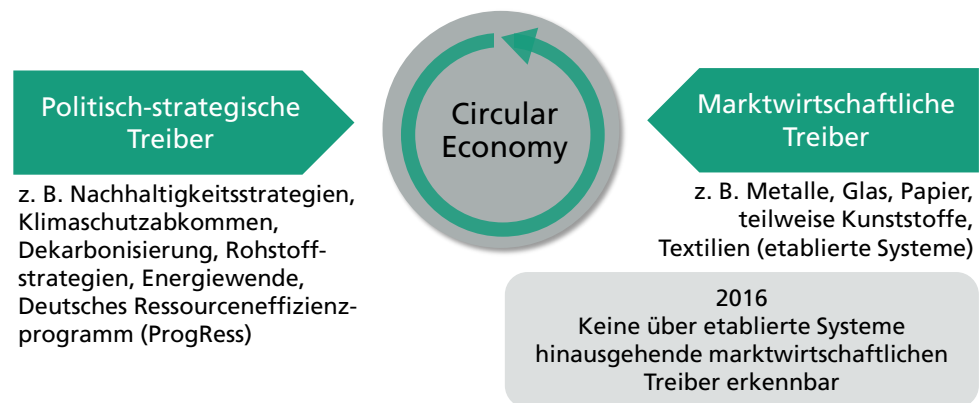
Bild 3: Grenzen und Herausforderungen einer Circular Economy, eigene Darstellung



Innovationsprozesse und Innovationen – Impulse

Die Circular Economy erfordert Innovationsprozesse und Innovationen, die gleichzeitig auch eine Basis für neue Geschäftsmodelle bieten. Dazu werden Triebkräfte bzw. Treiber benötigt, die aus dem marktwirtschaftlichen und/oder politisch-strategischen Bereich kommen können (siehe Bild 4).

Bild 4: Treiber für die Transformation zu einer Circular Economy, eigene Darstellung

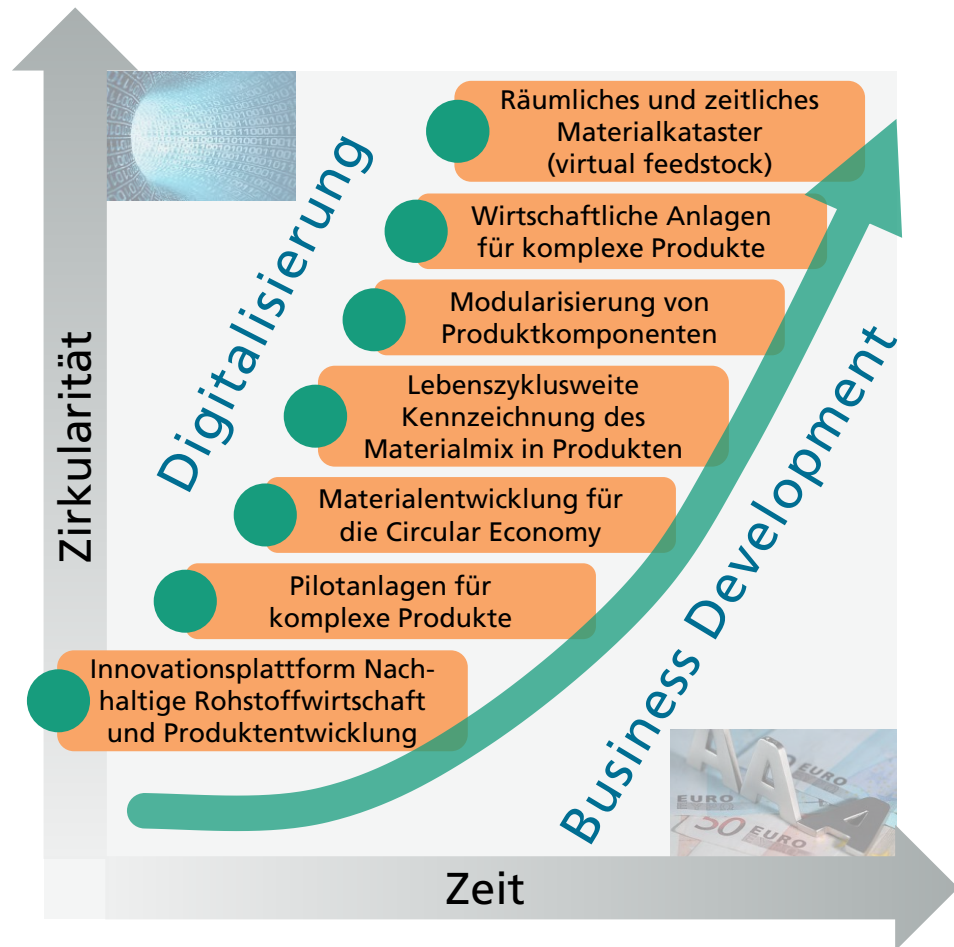


Transformationsprozess zur Circular Economy

Bild 5 fasst den Transformationsprozess zu einer Circular Economy zusammen. Der Prozess wird von der Digitalisierung und intelligenten Geschäftsmodellen eingerahmt. Um eine Circular Economy umzusetzen, ist es wichtig, den Austausch und die Synergien zwischen Akteuren zu verbessern (Idee der Innovationsplattform). Weiter sind öffentlich oder über öffentlich-private Partnerschaften finanzierte Pilot- und Demonstrationsanlagen für heute nicht (wirtschaftlich) recycelbare Stoffströme wichtig, um Kompetenzen und Wissen zu erwerben. Forschungsprogramme für Material- und Produktentwicklung sowie Krite-

rien zur Messung von Zirkularität sind relevant, um Erfolge zu messen und um den Informationstransfer zwischen Produktion und Verwertung zu gewährleisten. Hierzu gehört auch die lebenszyklusweite Kennzeichnung. Das Produktdesign kann zur Circular Economy durch eine Modularisierung von Produktkomponenten (Austausch, Reparierbarkeit, Refurbishment) beitragen. Schlussendlich ist der Aufbau eines digitalen, zeitlichen und räumlichen Katasters des Inhalts von langlebigen Produkten wichtig, um durch die Digitalisierung der Circular Economy neue Geschäftsmodelle zu realisieren.

Bild 5:
Maßnahmen zur Steigerung der Zirkularität von Industrieländern, eigene Darstellung



Circular Economy als Zukunftsoption für NRW?

Abschließend wird in der Studie analysiert, ob die Circular Economy eine Zukunftsoption für Nordrhein-Westfalen darstellt. Im Ergebnis könnten mit der Innovationsstrategie und dem Klimaschutzplan des Landes synergetisch wirkende, ökonomisch sinnvolle Innovationsprojekte entstehen. Hierdurch könnte Nordrhein-Westfalen in Bezug auf die nachhaltige Entwicklung eine Vorreiterrolle nicht nur in Deutschland, sondern auch in Europa übernehmen.

Quellenverzeichnis

- [Buchert-2012] Buchert, M.; Manhart, A.; Bleher, D.; Pingel, D. (2012): Recycling kritischer Rohstoffe aus Elektronik-Altgeräten: Fachbericht 38 des Öko-Instituts im Auftrag des LANUV Nordrhein-Westfalen. Recklinghausen. Zuletzt geprüft am: 28.10.2016. https://www.lanuv.nrw.de/uploads/tx_commercedownloads/30038.pdf
- [Christman-2014] Christman et al. (Mai 2014): Report on critical raw materials for the EU. Zuletzt geprüft am: 08.11.2016. http://www.catalysiscluster.eu/wp/wp-content/uploads/2015/05/2014_Critical-raw-materials-for-the-EU-2014.pdf
- [DESTATIS-2016] Statistisches Bundesamt DESTATIS (2016): Statistisches Jahrbuch 2016 – Teil 18 Umwelt. Wiesbaden
- [EC-2016] Europäische Kommission (19. Juli 2016): EU geht rechtlich gegen Ausfuhrbeschränkungen für chinesische Rohstoffe vor: Pressemitteilung. Zuletzt geprüft am: 10.08.2016. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-16-2581_de.htm?locale=en
- [Elektrocycling-2015] Elektrocycling GmbH (30.11.2015): Verbundprojekt »InAccess«: Entwicklung eines ressourceneffizienten und wirtschaftlichen Recyclingprozesses für LCD-Bildschirmgeräte unter besonderer Berücksichtigung der Rückgewinnung des Indium-Inhalts. Abschlussbericht
- [ElektroG-2015] ElektroG (2015): Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten: Elektro- und Elektronikgerätegesetz – ElektroG. Zuletzt geprüft am: 30.08.2016. http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/elektrog_2015/gesamt.pdf
- [Haas-2015] Haas, W.; Krausmann, F.; Wiedenhofer, D.; Heinz, M. (2015): How Circular is the Global Economy?: An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. In: *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), S. 765–777
- [Sellin-2016] Sellin, G.; Fröhlich, H.; Rasenack, K. (2016): InAccess – Rückgewinnung von Indium durch effizientes Recycling von LCD Bildschirmen. In: Thomé-Kozmiensky, K.-J. (Hrsg.): *Recycling und Rohstoffe. Band 9*; 2016. Berlin: TK-Verlag, S. 163–176