8 Zirkuläre Wertschöpfungsnetzwerke: Gestaltung der Wertschöpfung und Supply Chain in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft

Wolfgang Boos, Gerrit Hoeborn, Lars Klapper, Tobias Schröer, Martin Perau, Sebastian Junglas und Jokim Janßen

8.1 Einleitung

Angesichts der akuten globalen Herausforderungen, die durch den Klimawandel und wachsende Ressourcenknappheit hervorgerufen werden, stehen traditionelle lineare Formen der Wertschöpfung verstärkt in der Kritik und Überprüfung (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Ghisellini et al., 2016). Die Kreislaufwirtschaft erscheint in diesem Kontext als vielversprechende Alternative und repräsentiert einen deutlichen Paradigmenwechsel im Vergleich zum herkömmlichen Take-Make-Dispose-Modell (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Trotz des enormen Potenzials, das dieser umweltfreundlichen Wirtschaftsweise zugeschrieben wird, verläuft der Übergang zu einer Kreislaufwirtschaft und der damit einhergehenden kreislauffähigen Wertschöpfung nur zögerlich (European Court of Auditors, 2023). Zentrale Hindernisse liegen dabei nicht nur in technologischen Herausforderungen, sondern auch in einem mangelnden Interesse und Bewusstsein auf Seiten der Konsumentinnen und Konsumenten sowie einer zögerlichen Anpassung der Unternehmenskultur (Kirchherr et al., 2018). Im Zentrum der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft stehen die Kundinnen und Kunden mit ihren wahrgenommenen Werten (Schuh et al., 2023b). Eine konsequent an diese angepasste Produktarchitektur, das Innovationsmanagement und die Wertschöpfung ermöglichen ein nicht nur ökologisch nachhaltiges, sondern auch ökonomisch attraktives Geschäftsmodell für Produkthersteller. Im Folgenden wird die Transformation des Wertschöpfungsnetzwerkes hin zu einer wertsteigernden und kreislauffähigen Wertschöpfung beschrieben.

W. Boos · G. Hoeborn (✉) · L. Klapper · T. Schröer · M. Perau · S. Junglas · J. Janßen
FIR e. V. an der RWTH Aachen, Aachen, Deutschland
E-Mail: wolfgang.boos@fir.rwth-aachen.de; gerrit.hoeborn@fir.rwth-aachen.de; lars.klapper@fir.rwth-aachen.de; tobias.schroeer@fir.rwth-aachen.de; jokim.janssen@fir.rwth-aachen.de

© Der/die Autor(en) 2026

A. Sauer et al. (Hrsg.), *Handbuch Kreislauffähige Wertschöpfung*, Perspektiven zur Zukunft der Wertschöpfung, https://doi.org/10.1007/978-3-658-46549-0_8

8.2 Herausforderungen linearer Wertschöpfung

Über 90 % aller Rohstoffe werden derzeit nach den Prinzipien der linearen Wirtschaft verarbeitet (Circle Economy, 2023). Insbesondere Erstausrüster (engl. Original Equipment Manufacturer, kurz OEM) konzentrieren sich auf die Produktion und den Vertrieb ihrer Produkte, während Wartung und Service nicht zwingend die gleiche Aufmerksamkeit erhalten (Lay et al., 2010). Demgegenüber werden Wartung und Reparatur zunehmend als zentrale Elemente einer kreislauffähigen Wirtschaft wahrgenommen (Kirchherr et al., 2017; Llorente-González & Vence, 2020). Diese Entwicklung geht mit der zunehmenden Verbreitung dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle einher, die durch die Digitalisierung ermöglicht werden. Sie führen dazu, dass sich Unternehmen von reinen Produktanbietern zu Lösungsanbietern entwickeln (Schnürmacher et al., 2015). Services werden dabei häufig im Rahmen multilateraler Wertschöpfungsnetzwerke, sogenannter Ökosysteme, realisiert, deren Relevanz insbesondere durch große Digitalunternehmen stetig zunimmt. Wertschöpfungsnetzwerke unterscheiden sich von Wertschöpfungsketten durch die Komplexität der Austauschbeziehungen zwischen den beteiligten Akteurinnen und Akteuren. Diese können nicht sinnvoll zu Wertschöpfungsstufen zusammengefasst werden, da sie verschieden zufließende Inputs von multiplen Akteurinnen und Akteuren umfassen (Schuh et al., 2010).

Neben technologischen Trends und der Transformation des güterbasierten Angebotsportfolios – hin zu einer Kombination aus physischen Gütern und Dienstleistungen – stehen Unternehmen, angesichts des Klimawandels, veränderter Kundinnen- und Kundenbedürfnisse, politischer Rahmenbedingungen und unsicherer Lieferketten, vor der Herausforderung, ihren Umgang mit Ressourcen nachhaltiger zu gestalten. Die lineare Logik des Ressourcenmanagements gerät demzufolge zunehmend unter Druck (McDonough & Braungart, 2002).

- Produktanbietende stehen zunehmend unter Druck, sich zu Lösungsanbietenden weiterzuentwickeln.

8.3 Wertsteigernde Kreislaufwirtschaft

Das Konzept der Kreislaufwirtschaft adressiert das Spannungsfeld zwischen ökonomischen und ökologischen Interessen (Heshmati, 2016). Es zielt darauf ab, die systemische Ressourceneffizienz durch Maßnahmen zu verbessern, die den Wert von Materialien und Ressourcen erhöhen, um die Menge der zu entnehmenden natürlichen Ressourcen zu verringern (Aarikka-Stenroos et al., 2021). Der systemische Charakter der Kreislaufwirtschaft wird durch die Ideen des industriellen Metabolismus und der geschlossenen Ressourcenkreisläufe verdeutlicht. Der industrielle Metabolismus konzentriert sich auf alle physischen Prozesse und die Arbeit, die zur Umwandlung von Materialien und Energie in Endprodukte und „Abfall" verwendet werden (Ayres, 1994). In der Kreislaufwirtschaft

wird der „Abfall“ selbst als „Nährstoff“ für die industrielle Nahrungskette betrachtet, wodurch sowohl die Erzeugung von Abfällen, die den Kreislauf verlassen, als auch die Verwendung neuer Materialien minimiert wird (Ghisellini et al., 2016).

Das Ziel der Kreislaufwirtschaft, Ressourceneinsatz, Abfälle und Emissionen zu minimieren, kann durch drei Kreislaufstrategien unterstützt werden: Verlangsamung, Schließung und Verengung von Stoffströmen (Bocken et al., 2016). Die Umsetzung der Strategie der Schließung von Stoffströmen bedeutet, die Produktion effizienter zu gestalten und letztlich weniger Ressourcen pro Einheit zu verbrauchen, um so die Ökoeffizienz der Produktion zu erhöhen (Bocken et al., 2016; Ghisellini et al., 2016). Dieses Ziel kann bereits in linearen Wirtschaftsformen durch einen effizienteren Produktionsprozess oder durch ein verändertes Konsum- und Nachkonsumverhalten erreicht werden (Bocken et al., 2016; Zeiß, 2021). Die Strategie der Verlangsamung von Stoffströmen zielt darauf ab, die Nutzungsdauer von Produkten oder Komponenten zu verlängern oder zu intensivieren (Bocken et al., 2016). Ziel der Strategie der Schließung von Stoffkreisläufen ist es, die Lücke zwischen der Wiederverwendung und der Herstellung eines neuen Produkts zu schließen, um Materialverluste zu vermeiden (Bocken et al., 2016). Um die praktische Anwendbarkeit der Kreislaufstrategien zu erhöhen, werden die Kernstrategien der Kreislaufwirtschaft als Maßnahmenbündel, sogenannte R-Strategien, operationalisiert (Kirchherr et al., 2017).

Kritisch anzumerken ist in diesem Zusammenhang, dass sämtliche bestehenden Methoden der Produktgestaltung und R-Strategien den Kundinnen- und Kundenwert des Produkts maximal auf das Niveau des initial in Verkehr gebrachten Produkts heben können. Dieser Umstand führt zu einer natürlichen Begrenzung des Produktlebenszyklus durch langfristig abnehmenden Nutzen komparativ zur technologischen Weiterentwicklung des Marktes. Eine unendliche Kreislaufführung von Produkten, ohne Anhebung des Kundinnen- und Kundenwerts, ist somit nicht in deren Sinn.

Auch wenn die Umsetzung der Kreislaufstrategien einen wertvollen Beitrag zur Reduktion von Emissionen und zum Ressourcenverbrauch leisten können, sind insbesondere bei technischen Konsumgütern das Recycling und die Wiederaufbereitung (Remanufacturing) aufgrund ihrer Komplexität mit hohem Aufwand verbunden (Schuh et al., 2023b). Für derartige Verfahren muss das betrachtete Produkt zunächst bis auf die niedrigsten Stufen der Wertschöpfung heruntergebrochen werden, bevor erneut mit dem Wertaufbau begonnen werden kann (vgl. Abb. 8.1). Die einhergehenden Arbeitsschritte für die dafür notwendigen Prozessen verursachen häufig hohe Kosten, die nicht durch zusätzlichen Mehrwert gerechtfertigt werden können.

▶ Eine Kreislaufwirtschaft, die die Bedürfnisse der Kundinnen und Kunden nicht in den Mittelpunkt stellt, wird niemals das volle ökologische und ökonomische Potenzial ausschöpfen können.

Aus diesem Grund bedarf es neben den oben beschriebenen Kreislaufstrategien einer weiteren Strategie zur kontinuierlichen Weiterentwicklung eines Produkts. Das Konzept einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft adressiert das Kundinnen- und Kundenbedürfnis,

Produkte auf dem neuesten Stand der Technik zu besitzen. Durch Upgrades können neue Funktionen in ein bestehendes Produkt integriert und der wahrgenommene Kundinnen- und Kundennutzen kann erhöht werden (vgl. Abb. 8.1). So erreicht ein Produkt in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft mit seinen regelmäßigen Upgrades mit neuen Produkttechnologien den gleichen wahrgenommenen Nutzwert wie ein zum jeweiligen Upgrade-Zeitraum neu auf den Markt gebrachtes Produkt (vgl. Abb. 8.2). Ein solches Verfahren zur Aufwertung und Wiederverwendung ermöglicht eine Reduktion von bis zu

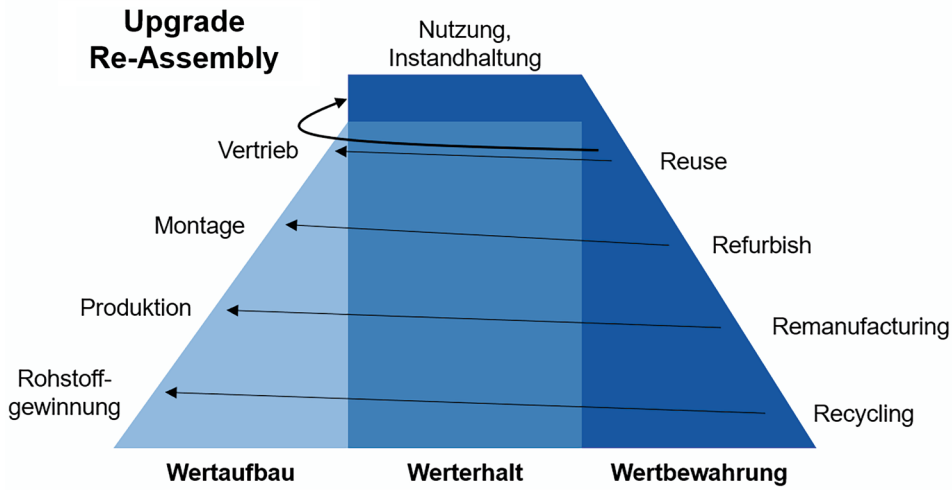

Abb. 8.1 Upgrade-Value-Hill-Modell**,** in Anlehnung an Achterberg et al. (2016)

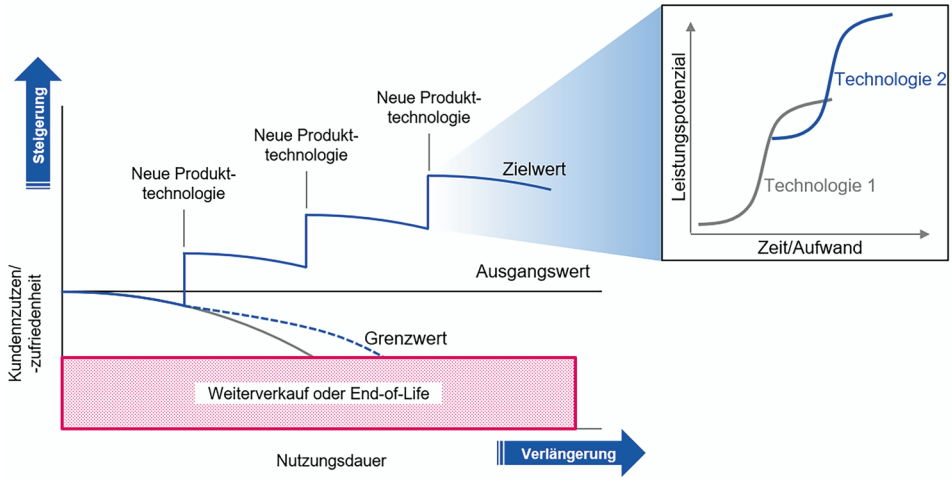

Abb. 8.2 Wertsteigerung während der Nutzungsdauer durch die Einbringung neuer Produkttechnologien, in Anlehnung an Schuh et al. (2023a)

90 % der Material- und Umweltbelastungen bei gleichzeitiger Steigerung der Wertschöpfung pro Mitarbeitendem um 30 bis 60 % im Vergleich zur Herstellung von Neuprodukten (Schuh et al., 2023b).

Die Fokussierung auf Modularität in der Produktentwicklung und -gestaltung ermöglicht die sukzessive Aufwertung bereits im Umlauf befindlicher Produkte durch den Austausch einzelner Komponenten (Bonvoisin et al., 2016). Die Verlängerung des Produktlebenszyklus reduziert den Ressourcenverbrauch und ist somit aus ökologischer Sicht begrüßenswert (Grunwald & Schwill, 2022). Sie hat langfristig positive Auswirkungen auf die Umwelt, ohne die Innovationskraft eines Unternehmens zu hemmen oder dessen Marktposition zu gefährden (Khan et al., 2018).

Eine auf regelmäßige Wertsteigerung ausgerichtete Produktarchitektur bietet auch aus ökonomischer Sicht erhebliche Potenziale: Sie ermöglicht Margen- und Umsatzsteigerungen im zweistelligen Prozentbereich und reduziert gleichzeitig Treibhausgasemissionen durch einen geringeren Bedarf an Produktionsfaktoren (Schuh et al., 2023b). Geschlossene Kreisläufe können durch höhere Materialeffizienz den Ressourcenbedarf senken und somit die Preisvolatilität und Ressourcenknappheit mildern (Hazen et al., 2021; Tura et al., 2019).

Ein längerer Produktlebenszyklus, der mit einer kontinuierlichen Wertsteigerung einhergeht, führt zu höherer Kundenzufriedenheit und -bindung (vgl. Abb. 8.2). Unternehmen, die diesen Ansatz verfolgen, profitieren von einem verbesserten Image als nachhaltiges Unternehmen (Schuh et al., 2023b).

▶ Der Ansatz einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft ist für alle Anspruchsgruppen eines Produkts attraktiv und realisierbar.

Der Wandel von der traditionellen linearen Produktion hin zu einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft erfordert jedoch strukturelle Veränderungen in Wertschöpfungsnetzwerken und Unternehmen. Er verändert die Art und Weise, wie Produktionsprozesse ablaufen, Produkte entwickelt werden und Stakeholder interagieren (Schuh et al., 2023b). Die Herausforderungen reichen von der technischen Umsetzung über soziale und kulturelle Aspekte bis hin zu politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen. Der erfolgreiche Übergang zu einer wertsteigernden und kreislauffähigen Wertschöpfung erfordert daher eine integrierte Betrachtung und Lösungsansätze, die diese Vielfalt an Faktoren berücksichtigen.

Schwer abzuschätzende Übergangskosten, wie Investitionen in Technologieprojekte, die Weiterbildung von Beschäftigten für neue Tätigkeiten oder die Umstellung der Produktion, halten Unternehmen bisher davon ab, eine wertsteigernde Kreislaufwirtschaft zu etablieren (Badhotiya et al., 2022; Hina et al., 2022; Nygaard, 2022). Insbesondere die vier Handlungsfelder Produktarchitektur, Innovationsstrategie, Geschäftsmodell und Wertschöpfungsstrategie stehen dabei im Mittelpunkt der Betrachtung (Schuh et al., 2023b):

1. **Produktarchitektur:** Eine konsequente Produktentwicklung nach dem Paradigma der Modularität ist erforderlich. Die Produktarchitektur muss von einer integralen zu einer differenzierten Architektur weiterentwickelt werden, um das kontinuierliche Einbringen von Funktionserweiterungen durch den Austausch von weiterentwickelten standardisierten Komponenten zu ermöglichen. Der Nutzwert eines Produkts wird kontinuierlich über den Lebenszyklus durch inkrementelle Verbesserungen gesteigert (Schuh et al., 2023b).
2. **Innovationsstrategie:** Es sollten inkrementelle Innovationen und weitere Innovationszyklen durch Funktionserweiterungen möglich sein. Ziel ist ein Produktwert, der einem Neuprodukt der neuesten Generation entspricht und einen inkrementell gesteigerten Nutzwert bietet (Schuh et al., 2023b). Dies erfordert neben inkrementeller Innovation auch die Fähigkeit, zentrale Grundprinzipien zu planen und Entwicklungspfade zu antizipieren. Das Technologie-Roadmapping zur Antizipation zukünftiger technologischer Veränderungen und Bedarfe der einzelnen Module gemeinsam mit den Zulieferfirmen ist dabei ein zentraler Erfolgsfaktor.
3. **Geschäftsmodell:** Das Geschäftsmodell muss eine effiziente Ressourcennutzung ermöglichen und fördern, z. B. durch Shared-Use, also gemeinsame Nutzung, und Subskriptionsansätze (Schuh et al., 2023b).
4. **Wertschöpfungsstrategie:** Dem Konzept der Servitization zufolge ist eine entsprechende Verlagerung bzw. Refokussierung auf das Dienstleistungsgeschäft und die damit verbundenen Aktivitäten notwendig. Dies erfordert eine Transformation der grundlegenden Wertschöpfungsaktivitäten im Unternehmen (Schuh et al., 2023b). Nicht mehr die Produktion, sondern der operative Betrieb der Produkte steht hierbei im Fokus.

8.4 Wertschöpfung in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft

Im Zuge der Transformation hin zu einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft auf Produktebene wird jedes Unternehmen vom reinen Inverkehrbringer zum Verantwortlichen für den gesamten Produktlebenszyklus. Der Wertsteigerungsprozess kaskadiert entlang der gesamten Produktionskette. Je nach Produkt erfolgt dies vom OEM zu den Endkundinnen und -kunden, vom Tier-1-Zuliefernden zum OEM und vom Tier-2-Zuliefernden zum Tier-1-Zuliefernden. Zur Umsetzung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft muss jedes Unternehmen seine Produkte zurücknehmen und die Rückführung der Komponenten zum herstellenden Unternehmen sicherstellen (vgl. Abb. 8.3). Dies erfordert eine einfache Zerlegbarkeit der Produkte in ihre Module resultierend aus einer konsequent modular ausgerichteten Produktarchitektur. Anschließend erfolgen die Instandsetzung, Prüfung und Aufwertung vor dem Einsatz im gleichen oder einem neuen Produkt mit geringerem Kundinnen- bzw. Kundennutzen.

Das Recht auf Reparatur (engl. Right to Repair) und die Rücknahmeverpflichtung für Elektrogeräte können als erste Schritte auf diesem Weg angesehen werden.

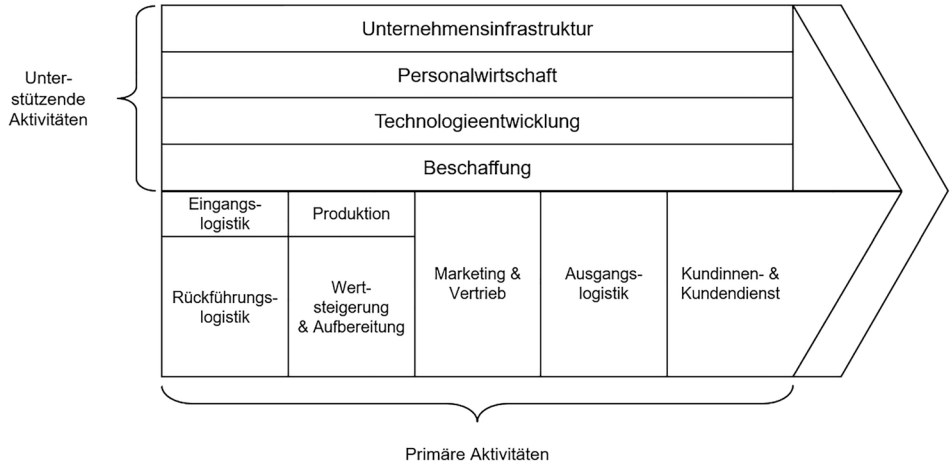

Abb. 8.3 Materialflüsse in einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft

Ordnungspolitisch kann die Transformation zu einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft durch eine gesetzliche Rücknahmeverpflichtung für verkaufte Produkte auf allen Ebenen, wie den Baugruppen und Produktkomponenten, gefördert werden. Die als R-Strategien bekannten Ansätze zur Operationalisierung der Kreislaufwirtschaft verschwinden dabei nicht gänzlich aus der Betrachtung, sondern dienen als Rückfallebene, wenn eine effiziente Weiterverwendung aufgrund von Beschädigungen, Obsoleszenz oder radikal veränderten Kundinnen- und Kundenbedürfnissen nicht möglich ist.

Das Grundnarrativ des Materialflusses, definiert als die Summe der Zu- und Abflüsse von Materialien, wird durch die Prinzipien Abfluss = Zufluss und Zufluss = Abfluss ergänzt. Der Großteil der Produkte fließt zum herstellenden Unternehmen oder Montagebetrieb zurück. Dieser Wandel zur wertsteigernden Kreislaufwirtschaft hat nicht nur Auswirkungen auf die unternehmensinterne Wertschöpfung selbst (vgl. Abschn. 8.5.1 und 8.5.2), sondern auch auf die Form des Wertschöpfungssystems, in dem das Unternehmen seine Werte schafft (vgl. Abschn. 8.5.3).

- In der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft werden Wertschöpfungsketten zu Kreisläufen.

8.5 Wertschöpfungsnetzwerke in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft

Auf Unternehmensebene bringt die Einführung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft verschiedene Veränderungen mit sich. Die Wertschöpfung wird komplexer, da neue Elemente hinzukommen, aber keine wegfallen. Stattdessen werden die bestehenden Elemente lediglich priorisiert und transformiert (vgl. Abb. 8.4).

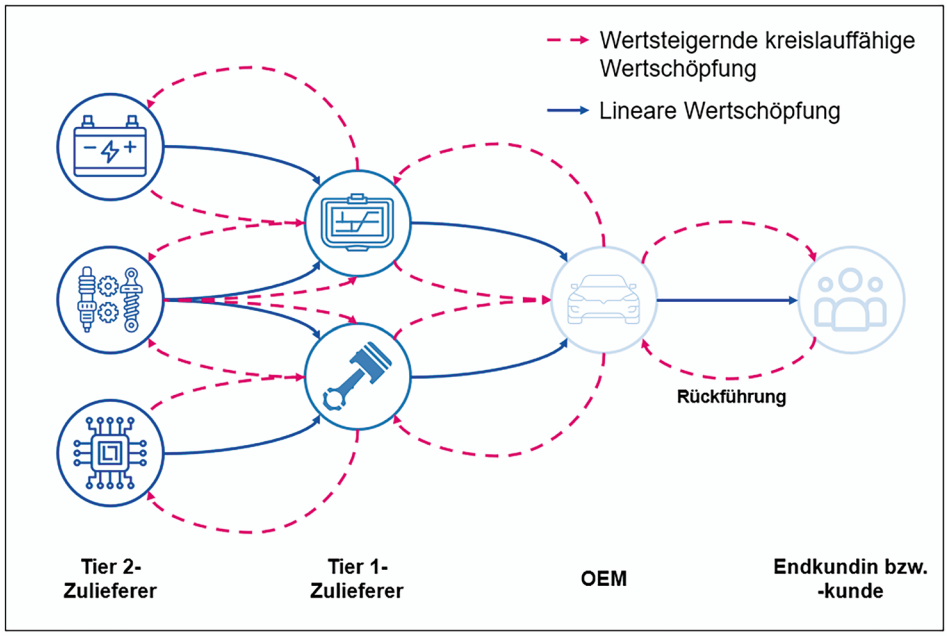

Abb. 8.4 Value Chain von Akteurinnen und Akteuren in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft, in Anlehnung an Porter (1985)

Im Folgenden werden die genauen Auswirkungen dieser Transformation entlang der unternehmensinternen Wertschöpfungskette nach Porter (1985) erläutert: Sie besteht aus primären Aktivitäten (Eingangslogistik, Operation, Marketing und Vertrieb, Ausgangslogistik, Kundinnen- bzw. Kundendienst) und unterstützenden Aktivitäten (Unternehmensinfrastruktur, Personalmanagement, Technologieentwicklung, Beschaffung). Der Fokus liegt dabei auf den spezifischen Konsequenzen des Wertschöpfungsansatzes und ergänzt damit Ausführungen zur Wertschöpfung in der Kreislaufwirtschaft, wie z. B. von Eisenreich et al. (2022).

- Die Kernaufgaben eines Unternehmens im eigentlichen Sinne bleiben größtenteils identisch, ihre Gewichtung und Positionierung verschiebt sich.

8.5.1 Primäre Aktivitäten

Primäre Aktivitäten umfassen die grundlegenden Funktionen, die direkt zur Herstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung beitragen. Sie sind das Herzstück der Wertschöpfungskette und beinhalten alle wesentlichen Prozesse von der Materialbeschaffung über die Produktion bis hin zum Vertrieb und Kundinnen- bzw. Kundendienst. In einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft werden diese Aktivitäten neu gedacht und transformiert, um nicht nur neue Produkte, sondern auch die Aufarbeitung und Wiederverwendung bestehender Produkte zu integrieren.

Eingangslogistik

Im Gegensatz zu den allgemeinen Ausführungen von Eisenreich et al. (2022) wird die Rücknahmelogistik im Kontext der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft nicht als separates Element der unternehmerischen Wertschöpfungskette betrachtet, sondern vielmehr als zentraler Bestandteil der Eingangslogistik, da sie als Beschaffungskanal für den Produktionsfaktor „Gebrauchte Produkte" dient. Sie kann sowohl intern als auch in Partnerschaft mit externen Unternehmen wie Speditionen, Händlern oder Wartungsanbietern durchgeführt werden (Kant Hvass & Pedersen, 2019; Pedersen et al., 2019; Ranta et al., 2018). Die Beschaffung von Altprodukten auf dem Sekundärmarkt ist in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft hingegen keine Option, da die Produkte in der Zielvorstellung das Eigentum des herstellenden Unternehmens nie verlassen.

Für eine effiziente und kundenzentrierte Rückführung von Altprodukten in den Kreislauf ist die Zusammenarbeit mit allen Akteurinnen und Akteuren der Reverse Supply Chain unerlässlich (Campbell-Johnston et al., 2020; Hazen et al., 2021; Shahbazi et al., 2016). Eine Reverse Supply Chain beschreibt dabei den umgekehrten Weg von Waren und Produkten entlang der Wertschöpfungsstufen, beginnend bei den Endverbrauchenden bis hin zu den Lieferanten. Dabei müssen Kundinnen und Kunden durch geeignete Anreizsysteme und vertragliche Verpflichtungen motiviert werden, ihre Produkte nach Gebrauch oder zu einem bestimmten Zeitpunkt zurückzugeben (Pedersen et al., 2019).

Eine wesentliche Herausforderung im Zusammenhang mit der Rücknahmelogistik ist die Unsicherheit über die Menge der zurückgenommenen Altprodukte, die eine der größten Herausforderungen für die Realisierung einer wirtschaftlich tragfähigen, wertsteigernden Kreislaufwirtschaft darstellt. Geeignete Prognoseverfahren sind daher notwendig, um den Rückfluss von Altgeräten antizipieren und planen zu können (Kurilova-Palisaitiene et al., 2018).

Operationen

Die operative Tätigkeit in einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft umfasst zwei unterschiedliche Teilbereiche: die Herstellung neuer Produkte sowie die Aufarbeitung und Wertsteigerung bestehender Produkte. Da jedes Produkt qua Konzeption der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft beide Elemente enthält, wird es zwangsläufig zu einem Produkt-Service-System, kurz PSS (Tukker, 2015).

Der Fokus auf die Wertsteigerung deklassiert die Herstellung von Neuprodukten gegenüber der Aufwertung von Bestandsprodukten. Die zentrale Wertschöpfung wird mehrheitlich durch die Aufwertung bestehender Produkte erzielt. Dies erfordert eine Industrialisierung von Wartung und Service. Wie Tukker (2015) feststellt, wächst der Service in Systemlösungen über seine traditionelle Rolle hinaus und wird zu einem integralen Bestandteil des Geschäftsmodells, der die gesamte Wertschöpfung beeinflusst. Der Service selbst unterteilt sich in den klassischen Infield-Kundenservice während der Nutzung sowie die Produktion von aufgewerteten Produkten.

Eine wesentliche Herausforderung besteht daher in der Etablierung industrialisierter Strukturen, um komplexe Produkte systematisch für ein zweites, drittes oder viertes Leben

aufzurüsten. Operativ erfordert die Industrialisierung von Aufarbeitungs- und Aufwertungsprozessen eine umfassende Überarbeitung der Produktionsplanung, der Prozessoptimierung, der Organisation und der IT-Systeme (Schuh et al., 2023b). Dies ist notwendig, um eine effiziente und skalierbare Produktion von wiederaufbereiteten Produkten unter Berücksichtigung von Upgrades im Wiederaufbereitungsprozess zu ermöglichen.

Marketing und Vertrieb

Im Rahmen einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft übernehmen Marketing und Vertrieb neben der traditionellen Absatzfokussierung (Porter, 1985) eine entscheidende Funktion als Enabler für Upgrading-Aktivitäten. Sie fungieren als Schnittstelle zwischen Eingangslogistik und Beschaffung und stellen damit sicher, dass die heute verkauften Ressourcen morgen wieder als Input für die Wertschöpfung zur Verfügung stehen. Dies erfordert entsprechende Anreizsysteme, um die Rückführung der Produkte zu gewährleisten.

Die Beziehung zu den Kundinnen und Kunden wird durch regelmäßige Upgrades des Produkts bzw. des Produkt-Service-Systems (PSS) im Gegensatz zu linearen Produkten verlängert (Aboulamer, 2018). Gleichzeitig kann durch das PSS ein Gefühl des Eigentumsverlustes entstehen, das den wahrgenommenen Produktwert schmälert, obwohl die Kundinnen und Kunden durch die reduzierte Verantwortung und die Nutzung hochwertiger Produkte mit geringen Anschaffungskosten Vorteile haben. Hier ist es entscheidend, die Vorteile klar zu kommunizieren und für die Kundschaft transparent zu machen (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Schallehn et al., 2019; Tukker, 2015).

Darüber hinaus werden die Kundinnen und Kunden aktiv in die Wertschöpfung eingebunden, indem sie sich zumindest an der Rückführung des Produkts in den Kreislauf beteiligen müssen (Hazen et al., 2021; Salvador et al., 2021). Dies unterstreicht die zentrale Rolle der Kundinnen und Kunden in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft und macht die Bedeutung langfristiger, vertrauensvoller Kundschaftsbeziehungen noch deutlicher.

Kundinnen- und Kundendienst

In einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft werden auch Reparatur- und Wartungsdienstleistungen immer wichtiger, um die Lebensdauer von Produkten zu verlängern (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Dies stellt die zweite Komponente des Dienstleistungsmoduls dar und ist insbesondere relevant, um die Nutzung von Produkten im Störungsfall zu gewährleisten. Es ist möglich, dass die Anzahl der notwendigen Infield-Wartungsarbeiten zukünftig abnehmen wird, da der Fokus zunehmend auf den Austauschprozessen liegt. So bleibt der Kundinnen- und Kundendienst verstärkt auf die Rücknahme und den Austausch von Produkten konzentriert, da defekte Geräte im Gegensatz zum bisherigen Vorgehen im rückwärtigen Bereich industriell aufbereitet werden können.

Ausgangslogistik

In einem gut organisierten Aufarbeitungs- und Wiederverwertungsprozess sollte die Ausgangslogistik nahtlos mit der Eingangslogistik verbunden sein. Dies bedeutet, dass die

Prozesse der Anlieferung neuer oder aufgerüsteter Produkte und der Rücknahme alter Produkte möglichst gleichzeitig und durch die dieselben Akteurinnen und Akteure durchgeführt werden sollten.

8.5.2 Unterstützende Aktivitäten

Unterstützende Aktivitäten spielen eine wesentliche Rolle bei der Implementierung und Aufrechterhaltung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft. Sie bilden das Rückgrat des Unternehmens und gewährleisten, dass die primären Aktivitäten reibungslos ablaufen können. Diese Aktivitäten umfassen Unternehmensinfrastruktur, Personalwirtschaft, Technologieentwicklung und Beschaffung, die alle entscheidend zur Anpassung und Transformation der unternehmerischen Prozesse beitragen.

Unternehmensinfrastruktur
Bei der Transformation zu einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft spielt die Unterstützung durch das Management eine elementare Rolle. Es gilt, den Wandel von Geschäftsmodellen und Kompetenzen zu fördern und zu begleiten. Dies erfordert neben strategischen Überlegungen auch zusätzliche finanzielle und technische Ressourcen, um die Herausforderungen der infrastrukturellen Transformation bewältigen zu können (Chauhan et al., 2021; Govindan & Hasanagic, 2018; Kazancoglu et al., 2022). Darüber hinaus werden neue rechtliche Kompetenzen benötigt, um mögliche Haftungs- und Kaskadierungsrisiken zu vermeiden. Solche Risiken könnten unter Umständen den Erfolg der Kreislaufwirtschaft beeinträchtigen oder sogar verhindern (Rosa et al., 2019). Die Kombination aus Managementunterstützung, Ressourcenallokation und rechtlichen Kompetenzen schafft somit die Grundlage für einen erfolgreichen Übergang zur Kreislaufwirtschaft.

Personalwirtschaft
Im Personalmanagement müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, um die Transformation zu einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft erfolgreich zu gestalten. Die Einführung systemischer Lösungen beeinflusst das Selbstverständnis der Beschäftigten, da sich die Unternehmenskultur von einer produkt- hin zu einer dienstleistungsorientierten wandeln muss (Frishammar & Parida, 2019). Dieser Wandel erfordert eine umfassende Anpassung der Organisationsstruktur sowie der Denkmuster der Beschäftigten. Darüber hinaus müssen die Qualifikationen der Beschäftigten an die spezifischen Aufgaben der Kreislaufwirtschaft angepasst werden. Dazu gehören die technische Expertise, das Systemdenken aus einer Ökosystemperspektive sowie regulatorisches, umweltbezogenes, Industrie-4.0- und Kreislaufwirtschaftswissen (Chauhan et al., 2021; Chiappetta Jabbour et al., 2019; Ellen MacArthur Foundation, 2013; Guldmann & Huulgaard, 2020). Derartige Kompetenzen ermöglichen es Unternehmen, effektive und effiziente Lösungen im Einklang mit den Prinzipien der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft zu entwickeln und umzusetzen.

Technologieentwicklung

Die Technologieentwicklung spielt eine Schlüsselrolle bei der Transformation zur Kreislaufwirtschaft. Eine standardisierte und differenzierte Produktarchitektur ermöglicht eine sukzessive Wertsteigerung und kann für die beteiligten Akteurinnen und Akteure einen Paradigmenwechsel in der Produktentwicklung darstellen. Systemische Lösungen, wie sie von Tukker (2015) vorgestellt werden, unterstreichen die Bedeutung der Anwendung eines modularen Designs im PSS-Innovationsprozess und schlagen ein iteratives und angepasstes Prozessdesign vor. Konietzko et al. (2020) identifizieren die Zusammenarbeit zwischen Stakeholdern, das Experimentieren durch Trial-and-Error-Prozesse sowie die Schaffung und Nutzung digitaler Plattformen als zentrale Prinzipien zur Förderung von Innovationen im Kreislaufökosystem. Auch Hofmann und Jaeger-Erben (2020) sehen die Zusammenarbeit mit externen Stakeholdern als unerlässlich an. Unternehmen sollten gemeinsam mit allen an der Wertschöpfung beteiligten Partnern kreislauforientierte Lösungen entwickeln (Angelis et al., 2018; Pinheiro et al., 2019; Prieto-Sandoval et al., 2019): Dies trägt nicht nur zu Innovationen und Effizienz bei, sondern führt auch zur Akzeptanz und Unterstützung für kreislauforientierte Lösungen.

Des Weiteren ist Roadmapping ein elementares Instrument zur Strukturierung und Planung von Prozessen. Es unterstützt die langfristige Planung zur Erreichung von Zielen. So ist die Umsetzung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft nur möglich, wenn Produkte bereits mit mehreren Lebenszyklen im Kopf entworfen werden (Farooque et al., 2019; Franco, 2017; Lieder & Rashid, 2016). Dies erfordert einen tiefgreifenden Wandel in der Produktentwicklung und eine langfristige Planung, die über den üblichen Produktlebenszyklus hinausgeht.

Beschaffung

Der Vertrieb von heute ist der Input von morgen und erfordert daher eine gezielte Gestaltung von Anreizsystemen, die sowohl die Rücknahme als auch die Wiederverwendung von Produkten fördern. Die Beschaffung wird sich anders positionieren und neue Fähigkeiten benötigen, um effektiv auf die Anforderungen der Kreislaufwirtschaft reagieren zu können. Es ist von entscheidender Bedeutung, die Nachfrage nach wiederaufbereiteten Produkten genau zu prognostizieren. Nur so kann sichergestellt werden, dass genügend gebrauchte Produkte zur Verfügung stehen, um den Produktionsbedarf zu decken (Schuh et al., 2023b). Dies erfordert eine gründliche Kenntnis des Markts sowie die Fähigkeit, Angebot und Nachfrage effektiv aufeinander abzustimmen.

Darüber hinaus ist es notwendig, Lieferfirmen für die Kreislaufwirtschaft zu gewinnen. In der Praxis scheitern Veränderungen in der Materialauswahl häufig daran, dass Lieferanten nicht kooperationsbereit sind oder nicht die erforderliche Qualität liefern können (Shahbazi et al., 2016). Es bedarf daher gezielter Maßnahmen, um Lieferanten von Anfang an in neue Strukturen und Prozesse einzubinden.

8.5.3 Ökosysteme als Imperativ für die Wertschöpfung in der Kreislaufwirtschaft

Die Realisierung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft erfordert die enge Zusammenarbeit verschiedenster Rollen, die nur selten von einem bzw. einer Akteurin vereinigt werden. Die einzelnen Akteurinnen und Akteure sind dabei als Gesamtsystem und nicht als Summe Einzelner zu verstehen (Tate et al., 2019). Als dynamische Struktur verschiedener autonomer und zugleich voneinander abhängiger Akteurinnen und Akteure, die ihre Aktivitäten auf ein gemeinsames Ziel hin koordinieren, ermöglichen es Business Ecosystems, ein gemeinsames Wertversprechen zu schaffen (Betz und Jung, 2021; Conrad et al., 2022). Durch ihren branchenübergreifenden Ansatz ermöglichen Ökosysteme die Integration von Akteurinnen und Akteuren von außerhalb des Rahmens etablierter Wertschöpfungsprozesse (Kanda et al., 2021)

Als ein Subtyp etablierter Business Ecosystems fokussiert sich das zirkuläre Business Ecosystem (engl. Circular Business Ecosystem, kurz CBE) besonders auf die Schaffung von zirkulären Werten, die sowohl zur wirtschaftlichen als auch zur ökologischen Nachhaltigkeit beitragen (Trevisan et al., 2022). Es umfasst den Aufbau von Beziehungen zwischen Akteurinnen und Akteuren in einem Wertschöpfungsnetzwerk, das darauf abzielt, den Lebenszyklus eines Produkts zirkulär zu gestalten (Lacy et al., 2020). Die dabei eingenommene Ökosystemperspektive ist erforderlich, um Kreislaufwirtschaft als systemische Eigenschaft in der Wertschöpfung zu verankern (Konietzko et al., 2020). Somit können zirkuläre Business Ecosystems als ein erster Schritt zur Skalierung und nachhaltigen Wirkung von Produkten gesehen werden (Lacy et al., 2020).

► „Ein **zirkuläres Business Ecosystem** ist ein System von voneinander abhängigen und heterogenen Akteuren, die über industrielle Grenzen hinausgehen und ihre kollektiven Bemühungen auf ein zirkuläres Wertversprechen ausrichten, das Chancen für wirtschaftliche und ökologische Nachhaltigkeit bietet“ (Trevisan et al., 2022, S. 292–293).

Das zirkuläre Business Ecosystem basiert auf fünf Kernelementen: dem Wertangebot, den beteiligten Akteurinnen und Akteuren, den Daten, Materialien und Strömen, den zirkulären Aktivitäten und Strategien sowie der Governance, die das gesamte Ökosystem steuert (Trevisan et al., 2022).

Im Folgenden sollen ausgewählte Unterschiede und Ergänzungen zu den Merkmalen von Business Ecosystems in der linearen Wirtschaft (u. a. Adner, 2017; Jacobides et al., 2018; Aarikka-Stenroos et al., 2021) herausgestellt und erläutert werden: So unterscheidet sich etwa das Wertangebot für die Kundinnen und Kunden, das von einem zirkulären Ökosystem adressiert wird, vom Wertversprechen eines herkömmlichen Business Ecosystems durch seine dedizierte Kreislauffähigkeit (Trevisan et al., 2022). Die Realisierung eines zirkulären Ökosystems erfordert folglich die Aktivitäten mehrerer Akteurinnen bzw. Akteure in sogenannten Wertkreisläufen (Aminoff et al., 2017), da es verschiedene Wertkreisläufe umfasst und somit einen strukturierteren Ansatz für die Zusammenarbeit als ein lineares Wertnetzwerk benötigt (Trevisan et al., 2022).

Ein Ansatz zur Strukturierung der Zusammenarbeit und zur Unterstützung anderer Akteurinnen und Akteure ist die Implementierung einer Orchestratorenrolle. Orchestratoren überwachen und unterstützen u. a. die Umsetzung von Circular-Economy-Merkmalen, kurz CE-Merkmale (Parida et al., 2019), stellen die notwendige Infrastruktur bereit (Langen et al., 2020) oder sichern die Interessen kleinerer Unternehmen im Ökosystem (Hsieh et al., 2017). Dadurch gewinnen Orchestratoren im zirkulären Ökosystem zunehmend an Bedeutung (Trevisan et al., 2022), wobei die Rolle von privaten Unternehmen (Hakanen & Rajala, 2018; Parida et al., 2019) oder von öffentlichen Einrichtungen (Langen et al., 2020) übernommen werden kann (Trevisan et al., 2022). Darüber hinaus können Orchestratoren dafür verantwortlich sein, das Ökosystem im Hinblick auf zukünftige Entwicklungsoptionen, die ausgeführten Rollen und die damit verbundenen Verantwortlichkeiten zu evaluieren und eine Weiterentwicklung anzustoßen (Parida et al., 2019; Trevisan et al., 2022). Tate et al. (2019) erweitern dabei die archetypischen Rollen (Produzierende und Konsumierende) im zirkulären Ökosystem um sogenannte Aasfresser und Zersetzer. Die Namen leiten sie von bestimmten Tieren bzw. ihrer Funktion für das Ökosystem ab. So verteilen Aasfresser Abfallressourcen an Zersetzer, die sie dem System wiederaufbereitet oder recycelt zurückgeben und so eine Kreislaufwirtschaft ermöglichen (Tate et al., 2019).

Der Aufbau eines zirkulären Ökosystems erfordert, dass die Akteurinnen und Akteure ihr Verständnis von Daten und Ressourcen neu überdenken (Konietzko et al., 2020). Sie können als Anstoß für die Entwicklung und Umsetzung zirkulärer Strategien dienen, um die Zirkularität im Ökosystem zu erhöhen (Hakanen & Rajala, 2018; Trevisan et al., 2022). Um dies zu erreichen, müssen unterschiedliche Daten von verschiedenen Akteurinnen oder Akteuren integriert sowie materielle und immaterielle Ressourcen gemeinsam genutzt werden (Trevisan et al., 2022). Die Integration vorhandener Daten, z. B. über eine digitale Plattform, erfordert dabei geeignete Verwaltungsmaßnahmen (Konietzko et al., 2020), um das gegenseitige Vertrauen zwischen den Akteurinnen bzw. Akteuren zu stärken und den Datenschutz zu gewährleisten (Trevisan et al., 2022).

Grundlegend für die Wertschöpfung in einem zirkulären Business Ecosystem sind eine gemeinsame Vision und gemeinsame Ziele (Konietzko et al., 2020). Nur so können sich die Akteurinnen und Akteure im Ökosystem auf Kreislaufstrategien konzentrieren, die wiederum die Ziele ergänzen (Trevisan et al., 2022). Diese sollten sowohl wirtschaftliche als auch ökologische Vorteile bieten (Trevisan et al., 2022). Um Letztere zu berücksichtigen, können die Umweltauswirkungen in die Betriebskosten internalisiert werden (Stewart et al., 2018). Die Aktivitäten, die in der CBE für die Umsetzung von CE-Strategien erforderlich sind, können dabei über diejenigen hinausgehen, die für die Abbildung des Wertversprechens erforderlich sind (Trevisan et al., 2022) und somit zu einer nachhaltigen Transformation des Unternehmens beitragen.

Komplementäre Aktivitäten im Bereich CBE können durch Regeln und Standards geregelt werden (Jacobides et al., 2018): Entweder durch Vorschriften seitens der Regierung (Hsieh et al., 2017) oder von der Orchestratorrolle als Ergebnis eines individuellen Verhandlungsprozesses zwischen Akteurinnen und Akteuren (Parida et al., 2019). Abb. 8.5 fasst die Kernelemente eines zirkulären Business Ecosystems zusammen.

Abb. 8.5 Kernelemente eines zirkulären Business Ecosystems, in Anlehnung an Trevisan et al. (2022)

▶ Eine wertsteigernde Kreislaufwirtschaft ist nur in Ökosystemen realisierbar.

Ökosysteme zur Realisierung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft sind eine spezielle Form von zirkulären Business Ecosystems mit Auswirkungen auf alle Kernelemente von zirkulären Business Ecosystems. Das Nutzenversprechen, das von den Akteurinnen und Akteuren für die Kundinnen und Kunden erbracht wird, ist durch einen steigenden Nutzwert gekennzeichnet, der mit zunehmender Lebensdauer immer wieder ein Niveau erreicht, das dem Stand der Technik entspricht. Die Wertschöpfung wird durch die Bereitstellung technologischer Infrastrukturen und die differenzielle Produktarchitektur gesteuert, wobei die Orchestratorenrolle eine visionäre Führungsrolle einnimmt. Von dieser Rolle gehen zentrale Veränderungen in Marktangang und Wertschöpfungslogik aus. Um alle Wertbeiträge und Lebenszyklusphasen nahtlos zu verknüpfen, sind phasenübergreifende Datenstrukturen mit rollenspezifischen Zugriffsrechten, beispielsweise mittels des digitalen Produktpasses, erforderlich. Diese ermöglichen einen gemeinsamen Zugriff auf relevante Aspekte des Produkts, welche für die kontinuierliche Aufwertung und Weiterentwicklung erforderlich sind.

8.6 Auswirkungen der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft auf die Supply Chain

Die Etablierung einer zirkulären Supply Chain bedarf fünf zentraler neuer Aufgaben: Rückführung, Sortierung, Produktbehandlung, Wiedereinbringung sowie zirkuläre Supply-Chain-Planung. Die Aufgabe der Rückführung stellt sicher, dass Waren vom Endkunden in die zirkuläre Wertschöpfung zurückgeführt werden. Hierfür sind die zielgerichtete Akquisition, Sammlung, Zwischenlagerung und Transport des zurückgeführten

Gebrauchtprodukts vom Endkunden bis zum Ort der Sortierung oder Produktbehandlung erforderlich. Die Aufgabe der Sortierung kann dabei prozessual innerhalb der Aufgabe der Rückführung integriert sein oder an diese anschließen und umfasst die Sortierung sowie Teildemontage der eingesammelten Produkte. In der Aufgabe der Produktbehandlung erfolgt der wertsteigernde Schritt der Kreislaufwirtschaft durch die Demontage, Reinigung, Aufarbeitung und insbesondere das Upgrading der Produkte. Die anschließende Aufgabe der Wiedereinbringung umfasst die Tätigkeiten der Distribution der Waren in den ursprünglichen Absatzmarkt. Die zirkuläre Supply–Chain-Planung umfasst die Planung des Material- und Informationsflusses für die wettbewerbsfähige Durchführung der neuen Aufgaben der zirkulären Supply Chain (Novoszel, 2011).

Wettbewerbsfähige Supply Chains sind heutzutage komplexe Systeme mit verschiedenen Entitäten und vielfältigen Austauschbeziehungen. Typische Entitäten der linearen Supply Chain sind die Rohstoff-, Teile- und Komponentenlieferanten, die Endproduktthersteller (OEM), die Distributoren (Groß- und Einzelhandel) sowie die Endkundinnen und -kunden. Supply Chains existieren in verschiedenen Konfigurationstypen: Die hierarchisch-stabile Kette und das projektbasiert-temporäre Wertschöpfungsnetzwerk, das häufig auch als Projektnetzwerk bezeichnet wird, sind die am stärksten gegensätzlichen Typen und werden in diesem Beitrag auf Veränderungen durch die (wertsteigernde) Kreislaufwirtschaft untersucht (Schuh & Stich, 2013).

Hierarchisch-stabile Supply Chains zeichnen sich durch die Zentrierung und Richtung des OEM und durch mehrstufige Lieferantenbeziehungen (Tier 1, Tier 2 etc.) aus. Lineare Wertschöpfung bedeutet für hierarchisch-stabile Supply Chains, dass Waren stufenweise über die verschiedenen Hierarchieebenen hin zum OEM fließen. Wertsteigernde Kreislaufwirtschaft transformiert diese direktionalen Lieferanten-Kunden-Beziehungen hin zu einer bilateralen Beziehung, bei der der OEM auch Lieferant für Komponenten für seinen eigenen Lieferanten wird. Die Rückgabe technologisch veralteter Produkte für eine industrialisierte wertsteigernde Kreislaufwirtschaft ist eine neue zentrale Aufgabe innerhalb der Supply Chain. Diese Aufgabe umfasst die Akquisition, Sammlung, Zwischenlagerung und den Transport des zurückgeführten Gebrauchtprodukts von den Kundinnen und Kunden bis zum Ort der Produktbehandlung (Novoszel, 2011). Die klassische Aufgabe der physischen Sortierung innerhalb von Reverse-Supply-Chains wird in der Upgrade-Kreislaufwirtschaft durch datenbasierte Planungsmodelle substituiert. Verfügbare Sensordaten aus dem Nutzungszyklus werden für die zielgerichtete ökonomische und ökologische Planung der Rückführungsdistribution verwendet, sodass eine physische Sortierung entfällt. Das kaskadische Upgrading entlang der Supply-Chain-Stufen der hierarchisch-stabilen Ketten wird durch den OEM ausgelöst. Das Upgrading findet innerhalb der Aufgabe der Produktbehandlung statt, die neben dem Upgrading die Demontage, Reinigung und Aufbereitung umfasst (Novoszel, 2011). Wirtschaftliche Kreislaufwirtschaft fundiert auf einem flexiblen Produktionssystem, das eine hybride Fertigung zwischen Demontagetätigkeiten, Upgrading und Montage innerhalb gleicher Ressourcen ermöglicht. Demontierte Komponenten, die einem technologisch veralteten Stand entsprechen, werden den Lieferfirmen zurückgegeben. Die Rückgabe wird mit der Lieferung

technologisch neuer Komponenten verbunden, sodass ein kontinuierlicher, zyklischer Warenaustausch durchgeführt wird. Kaskadisches Upgrading bedeutet, dass das liefernde Unternehmen analog die Produktbehandlungsschritte durchführt und die vom OEM enthaltenen technologisch veralteten Komponenten upgraded und die demontierten Komponenten an seine Lieferanten weitergibt. Insgesamt wird der direktionale Materialfluss innerhalb der hierarchisch-stabilen Kette hin zum OEM bzw. den Kundinnen und Kunden zu einem bidirektionalen Materialfluss transformiert. Diese bidirektionale Verbindung zwischen OEM und Lieferanten ist ein Kernelement der kreislauffähigen Supply Chain. Strukturell bedarf es keiner Änderung, da dieselben Akteurinnen und Akteure miteinander arbeiten, wie zuvor in der linearen Wertschöpfung. Der Informationsfluss hingegen verändert sich signifikant bezüglich der Art und Richtung der Informationen. Wie auch bei der Planung sind neue Datenpunkte erforderlich, um die gemeinsame Arbeit systemisch abzubilden. Besonders durch den Ansatz der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft muss hier durch eine Feature-Roadmap frühzeitig festgehalten werden, welche Upgrades wann durchgeführt werden. Hierbei ist ein weiter Blick in die Zukunft notwendig, um den Markt auch frühzeitig über anstehende Updates zu informieren (ähnlich zu Software). Die Feature-Roadmap muss in den Sales- und Operations-Planning-Prozess integriert werden, sodass eine harmonische Gesamtplanung zwischen Sales, Engineering und Operation entsteht. Des Weiteren bedarf es hier der Bereitstellung umfangreicher Informationen des Produkts aus der Entwicklung, Produktion und Nutzung. Nur durch die Umsetzung eines Produktpasses inklusive Produktionsparameter sowie Demontageanleitungen ist sichergestellt, dass die Kreislaufwirtschaft durchgängig umgesetzt werden kann (vgl. Kap. 19).

Im Vergleich zu der hierarchisch-stabilen Kette zeichnet sich die projektbasiert-temporäre Kette durch die aktuell temporär beschränkte Beziehung zwischen dem Hersteller und den verschiedenen Lieferanten aus. Primär werden die Entwicklung und anschließende Produktion eines hochkomplexen Produkts oder einer Anlage mit Stückzahl 1 fokussiert. Die temporären Beziehungen entstehen durch die einmalige Notwendigkeit der Kollaboration verschiedener Entitäten mit unterschiedlichen Kompetenzprofilen. Die projektbasiert-temporäre Kette wird im Zuge der Transformation der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft insbesondere durch eine zukunftsgerichtete Vertriebsplanung bezüglich des Angebots des kontinuierlichen Upgrades des initialen Produkts verändert. Da der OEM in der projektbasiert-temporären Kette nur einen eingeschränkten Funktionsbereich des Produkts betreut, ist eine kollaborative Upgradeplanung mit Partnern erforderlich, sodass das Gesamtprodukt stets up to date bleiben kann. Dies impliziert, dass die temporären Beziehungen zwischen OEM und Lieferanten kontinuierlich ausgeprägt werden. Ziel der Beziehung ist die zyklische Planung möglicher Upgrades für das Gesamtprodukt des oder der Kundin der projektbasierte-temporären Kette. Je nach Produkteigenschaften kann das Upgrading vor Ort bei den Kundinnen und Kunden oder in Produktionsstätten einer oder mehrerer Partner stattfinden. Im Vergleich zur hierarchisch-stabilen Kette findet eine kaskadische Rückgabe von Produkten entlang einer Lieferkette statt, da die Partner in der projektbasiert-temporären Kette die Komponenten direkt von den Kundinnen und Kunden rückführen oder der OEM die Rückführung übernimmt.

8.7 Forschungsprojekt DiCES

Das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) geförderte Forschungsprojekt DiCES („Digital Transformation of Circular Economy for Industrial Sustainability“) beschäftigt sich mit der Umsetzung mehrerer, parallel ablaufender Kreislaufwirtschaftsstrategien – u. a. Remanufacturing und Refurbish – für die diskrete Fertigung. Dabei wird, basierend auf den Eigenschaften eines Produkts und des Wertschöpfungssystems, die ökologisch und ökonomisch optimale Kreislaufwirtschaftsstrategie ausgewählt. Die wettbewerbsfähige Umsetzung mehrerer paralleler Kreislaufwirtschaftsstrategien erfolgt durch eine datenbasierte Vernetzung der Produktions- mit den lebenszyklusumfassenden IT-Systemen. Dadurch soll ein nachhaltiger Kundinnen- bzw. Kundenmehrwert geschaffen werden.

Zentrales Element ist ein datenbasiertes Entscheidungsmodell, das die Auswahl der ökologisch und ökonomisch optimalen R-Strategie durch eine multikriterielle Bewertung realisiert. Die multikriterielle Bewertung erfolgt anhand von realen Daten aus bestehenden IT-Systemen. Mittels einer prädiktiven Vorhersage der Kreislaufaufwände durch ein KI-Modell, das auf einem digitalen Produktzwilling basiert, wird eine voraussagende Planung der optimalen R-Strategie befähigt. So können Unsicherheiten der Produktionsplanung und -steuerung, die in der Kreislaufwirtschaft aus Qualitätsschwankungen durch Produktrückläufer resultieren, eliminiert werden. Die Umsetzung einer multizirkulären Auftragsabwicklung, die eine Abwicklung mehrerer paralleler Kreislaufwirtschaftsstrategien ermöglicht, wird durch eine Transformation und eine Vernetzung bisher nicht kreislauffähiger IT-Systeme des Entwicklungs-, Produktions- und Nutzungszyklus ermöglicht. Bestehende IT-Systeme, wie z. B. Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP-Systeme) ermöglichen aktuell nur eine begrenzte Unterstützung der operativen Prozesse der Kreislaufwirtschaft. Es sind Anpassungen an Funktionalitäten von IT-Systemen notwendig, etwa bei der Beschaffungsplanung von Produktrückläufern. Zusätzlich erlaubt ein skalierbares hybrides Produktionssystem eine simultane Demontage, Produktaufbereitung und Montage an derselben Station sowie eine flexible Produktion. Mit der Berücksichtigung ökologischer und produktionsgerechter Faktoren in einer digitalen nachhaltigen Produktkonfiguration wird sowohl ein nachhaltigeres Wertschöpfen als auch – durch ein nachhaltigkeits- und serviceorientiertes Geschäftsmodell – die Incentivierung nachhaltigen Handels aufseiten der Kundinnen und Kunden ermöglicht.

8.8 Fazit und Ausblick

In diesem Kapitel wurde aufgezeigt, dass die lineare Wertschöpfung angesichts der aktuellen Herausforderungen, wie Klimawandel und Ressourcenknappheit, zunehmend an Grenzen stößt. Die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft bietet eine zukunftsweisende Alternative, die nicht nur ökologisch nachhaltiger, sondern auch wirtschaftlich attraktiver ist. Zentral ist dabei der Begriff der Wertsteigerung: Unternehmen müssen nicht nur bestehende Produkte recyceln oder wiederverwenden, sondern den Wert der Produkte durch

Upgrades und technologische Weiterentwicklungen kontinuierlich erhöhen. Dies erfordert jedoch tiefgreifende Veränderungen, sowohl in der internen Unternehmensstruktur als auch in den Wertschöpfungsnetzwerken.

Hierbei wird in den kommenden Jahren noch viel Forschungsarbeit notwendig sein. Ein zentraler Forschungsbereich ist die Integration von Digitalisierung und Künstlicher Intelligenz (KI). Dabei steht die Frage im Fokus, wie digitale Plattformen und KI-basierte Systeme zur Optimierung von Kreislaufstrategien und zur Prognose von Upgrade-Prozessen beitragen können. Insbesondere die Entwicklung funktionierender Rücknahmesysteme, inklusive der Anreizsysteme für Kundinnen und Kunden sowie der Optimierung von Prognosen und Logistikprozessen, ist entscheidend für den Erfolg der Kreislaufwirtschaft. Ohne eine Lösung bezüglich der von Produzenten gesteuerten Rückholprozesse werden zirkuläre Wertschöpfungssysteme nicht wirtschaftlich tragfähig.

Darüber hinaus erfordert die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft einen kulturellen Wandel und organisatorische Transformation. Unternehmen müssen eine Innovationskultur entwickeln, die auf ständige Weiterentwicklung und Zusammenarbeit mit externen Partnern ausgelegt ist. Dabei geht es auch um die Anpassung interner Strukturen, um die Kreislaufwirtschaft nachhaltig zu verankern. Modelle, wie solche Kooperationen symbiotisch funktionieren können, sind heute nicht existent. Gerade hier gilt es, einen Weg für Unternehmen aufzuzeigen.

Insgesamt hängt die erfolgreiche Umsetzung der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft von intensiver Forschung und enger Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis ab. Nur so können die Herausforderungen bewältigt und das volle Potenzial dieser nachhaltigen Wirtschaftsform ausgeschöpft werden.

Literatur

Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., & Thomas, L. D. W. (2021). Circular economy ecosystems: A typology, definitions, and implications. In S. Teerikangas, T. Onkila, K. Koistinen, & M. Makela (Hrsg.), *Research handbook of sustainability agency*. Edward Elgar Publishing. https://doi.org/10.4337/9781789906035.00024

Aboulamer, A. (2018). Adopting a circular business model improves market equity value. *Thunderbird International Business Review, 60*(5), 765–769. https://doi.org/10.1002/tie.21922

Achterberg, E., Hinfelaar, J., & Bocken, N. (2016). *Master circular business with the value hill*. https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/master_circular_business_with_the_value_hill.pdf. Zugegriffen am 20.05.2024.

Adner, R. (2017). Ecosystem as structure. *Journal of Management, 43*(1), 39–58. https://doi.org/10.1177/0149206316678451

Aminoff, A., Valkokari, K., Antikainen, M., & Kettunen, O. (2017). Exploring disruptive business model innovation for the circular economy. In G. Campana, R. J. Howlett, R. Setchi, & B. Cimatti (Hrsg.), *Smart innovation, systems and technologies. Sustainable design and manufacturing 2017* (Bd. 68, S. 525–536). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57078-5_50

de Angelis, R., Howard, M., & Miemczyk, J. (2018). Supply chain management and the circular economy: Towards the circular supply chain. *Production Planning & Control, 29*(6), 425–437. https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1449244

Ayres, R. U. (1994). Industrial metabolism: Theory and policy. In B. R. Allenby (Hrsg.), *The greening of industrial ecosystems* (S. 23–37). National Academy Press.

Badhotiya, G. K., Avikal, S., Soni, G., & Sengar, N. (2022). Analyzing barriers for the adoption of circular economy in the manufacturing sector. *International Journal of Productivity and Performance Management, 71*(3), 912–931. https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2021-0021

Betz, C., & Jung, R. (2021). Conceptualizing and analyzing business ecosystem service offerings. In T. Bui (Hrsg.), *Proceedings of the 54th Hawaii international conference on system sciences. Proceedings of the annual Hawaii international conference on system*. Hawaii International Conference on System Sciences. https://doi.org/10.24251/HICSS.2021.740

Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering, 33*(5), 308–320. https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124

Bonvoisin, J., Halstenberg, F., Buchert, T., & Stark, R. (2016). A systematic literature review on modular product design. *Journal of Engineering Design, 27*(7), 488–514. https://doi.org/10.1080/09544828.2016.1166482

Campbell-Johnston, K., Vermeulen, W. J., Reike, D., & Brullot, S. (2020). The circular economy and cascading: Towards a framework. *Resources, Conservation & Recycling: X, 7*, 100038. https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100038

Chauhan, C., Sharma, A., & Singh, A. (2021). A SAP-LAP linkages framework for integrating industry 4.0 and circular economy. *Benchmarking: An International Journal, 28*(5), 1638–1664. https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2018-0310

Chiappetta Jabbour, C. J., Sarkis, J., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Scott Renwick, D. W., Singh, S. K., Grebinevych, O., Kruglianskas, I., & Filho, M. G. (2019). Who is in charge? A review and a research agenda on the „human side" of the circular economy. *Journal of Cleaner Production, 222*, 793–801. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.038

Circle Economy. (Hrsg.). (2023). *Circularity gap report 2023*. https://www.circularity-gap.world/2023. Zugegriffen am 12.06.2024.

Conrad, R., Hoeborn, G., Neudert, P. K., & Betz, C. (2022). *Seizing the potentials of ecosystems: White paper*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13027.02083

Eisenreich, A., Füller, J., Stuchtey, M., & Gimenez-Jimenez, D. (2022). Toward a circular value chain: Impact of the circular economy on a company's value chain processes. *Journal of Cleaner Production, 378*, 134375. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134375

Ellen MacArthur Foundation. (Hrsg.). (2013). *Economic and business rationale for an accelerated transition* (Towards the circular economy Nr. 1). https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o. Zugegriffen am 13.06.2024.

European Court of Auditors. (2023, Juli 03). *Transition to circular economy behind schedule in EU countries*. https://www.eca.europa.eu/en/news/NEWS-SR-2023-17. Zugegriffen am 16.06.2024.

Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T., & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *Journal of Cleaner Production, 228*, 882–900. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303

Franco, M. A. (2017). Circular economy at the micro level: A dynamic view of incumbents' struggles and challenges in the textile industry. *Journal of Cleaner Production, 168*, 833–845. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.056

Frishammar, J., & Parida, V. (2019). Circular business model transformation: A roadmap for incumbent firms. *California Management Review, 61*(2), 5–29. https://doi.org/10.1177/0008125618811926

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production, 114*, 11–32. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007

Govindan, K., & Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: A supply chain perspective. *International Journal of Production Research, 56*(1–2), 278–311. https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402141

Grunwald, G., & Schwill, J. (2022). *Nachhaltigkeitsmarketing: Grundlagen – Gestaltungsoptionen – Umsetzung*. Schäffer-Poeschel.

Guldmann, E., & Huulgaard, R. D. (2020). Barriers to circular business model innovation: A multiple-case study. *Journal of Cleaner Production, 243*, 118160. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118160

Hakanen, E., & Rajala, R. (2018). Material intelligence as a driver for value creation in IoT-enabled business ecosystems. *Journal of Business & Industrial Marketing, 33*(6), 857–867. https://doi.org/10.1108/JBIM-11-2015-0217

Hazen, B. T., Russo, I., Confente, I., & Pellathy, D. (2021). Supply chain management for circular economy: Conceptual framework and research agenda. *The International Journal of Logistics Management, 32*(2), 510–537. https://doi.org/10.1108/IJLM-12-2019-0332

Heshmati, A. (2016). A review of the circular economy and its implementation. *SSRN Electronic Journal.* Vorab-Onlinepublikation. https://doi.org/10.2139/ssrn.2713032

Hina, M., Chauhan, C., Kaur, P., Kraus, S., & Dhir, A. (2022). Drivers and barriers of circular economy business models: Where we are now, and where we are heading. *Journal of Cleaner Production, 333*, 130049. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130049

Hofmann, F., & Jaeger-Erben, M. (2020). Organizational transition management of circular business model innovations. *Business Strategy and the Environment, 29*(6), 2770–2788. https://doi.org/10.1002/bse.2542

Hsieh, Y.-C., Lin, K.-Y., Lu, C., & Rong, K. (2017). Governing a sustainable business ecosystem in Taiwan's circular economy: The story of spring Pool glass. *Sustainability, 9*(6), 1068. https://doi.org/10.3390/su9061068

Jacobides, M. G., Cennamo, C., & Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. *Strategic Management Journal, 39*(8), 2255–2276. https://doi.org/10.1002/smj.2904

Kanda, W., Geissdoerfer, M., & Hjelm, O. (2021). From circular business models to circular business ecosystems. *Business Strategy and the Environment, 30*(6), 2814–2829. https://doi.org/10.1002/bse.2895

Kant Hvass, K., & Pedersen, E. R. G. (2019). Toward circular economy of fashion. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 23*(3), 345–365. https://doi.org/10.1108/JFMM-04-2018-0059

Kazancoglu, I., Kazancoglu, Y., Kahraman, A., Yarimoglu, E., & Soni, G. (2022). Investigating barriers to circular supply chain in the textile industry from stakeholders' perspective. *International Journal of Logistics Research and Applications, 25*(4–5), 521–548. https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1846694

Khan, M. A., Mittal, S., West, S., & Wuest, T. (2018). Review on upgradability – A product lifetime extension strategy in the context of product service systems. *Journal of Cleaner Production, 204*, 1154–1168. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.329

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling, 127*, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the circular economy: Evidence from the European Union (EU). *Ecological Economics, 150*, 264–272. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028

Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2020). Circular ecosystem innovation: An initial set of principles. *Journal of Cleaner Production, 253*, 119942. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119942

Kurilova-Palisaitiene, J., Sundin, E., & Poksinska, B. (2018). Remanufacturing challenges and possible lean improvements. *Journal of Cleaner Production, 172*, 3225–3236. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.023

Lacy, P., Long, J., & Spindler, W. (2020). Ecosystem. In P. Lacy, J. Long, & W. Spindler (Hrsg.), *Springer eBook collection. The circular economy handbook: Realizing the circular advantage* (S. 283–300). Palgrave Macmillan UK.

de Langen, P. W., Sornn-Friese, H., & Hallworth, J. (2020). The role of port development companies in transitioning the port business ecosystem; the case of port of Amsterdam's circular activities. *Sustainability, 12*(11), 4397. https://doi.org/10.3390/su12114397

Lay, G., Copani, G., Jäger, A., & Biege, S. (2010). The relevance of service in european manufacturing industries. *Journal of Service Management, 21*(5), 715–726. https://doi.org/10.1108/09564231011092908

Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production, 115*, 36–51. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042

Llorente-González, L. J., & Vence, X. (2020). How labour-intensive is the circular economy? A policy-orientated structural analysis of the repair, reuse and recycling activities in the European Union. *Resources, Conservation and Recycling, 162*, 105033. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105033

McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press. http://www.loc.gov/catdir/bios/hol051/2001044245.html. Zugegriffen am 15.05.2024.

Novoszel, T. (2011). *Gestaltung einer integrativen Reverse Supply Chain* [Dissertation, Technische Hochschule, Aachen]. Schriftenreihe Rationalisierung: Bd. 113. Apprimus-Verlag.

Nygaard, A. (2022). From linear to circular economy: A transaction cost approach to the ecological transformation of the firm. *Circular Economy and Sustainability, 2*(3), 1127–1142. https://doi.org/10.1007/s43615-022-00158-w

Parida, V., Burström, T., Visnjic, I., & Wincent, J. (2019). Orchestrating industrial ecosystem in circular economy: A two-stage transformation model for large manufacturing companies. *Journal of Business Research, 101*, 715–725. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.01.006

Pedersen, E. R. G., Earley, R., & Andersen, K. R. (2019). From singular to plural: Exploring organisational complexities and circular business model design. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal, 23*(3), 308–326. https://doi.org/10.1108/JFMM-04-2018-0062

Pinheiro, M. A. P., Seles, B. M. R. P., de Camargo Fiorini, P., Jugend, D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Da Silva, H. M. R., & Latan, H. (2019). The role of new product development in underpinning the circular economy. *Management Decision, 57*(4), 840–862. https://doi.org/10.1108/MD-07-2018-0782

Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage*. Free Press.

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., Santos, J., Baumgartner, R. J., & Ormazabal, M. (2019). Key strategies, resources, and capabilities for implementing circular economy in industrial small and medium enterprises. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management, 26*(6), 1473–1484. https://doi.org/10.1002/csr.1761

Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., & Mäkinen, S. J. (2018). Creating value in the circular economy: A structured multiple-case analysis of business models. *Journal of Cleaner Production, 201*, 988–1000. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.072

Rosa, P., Sassanelli, C., & Terzi, S. (2019). Circular business models versus circular benefits: An assessment in the waste from electrical and electronic equipments sector. *Journal of Cleaner Production, 231*, 940–952. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.310

Salvador, R., Puglieri, F. N., Halog, A., de Andrade, F. G., Piekarski, C. M., & de Francisco, A. C. (2021). Key aspects for designing business models for a circular bioeconomy. *Journal of Cleaner Production, 278*, 124341. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124341

Schallehn, H., Seuring, S., Strähle, J., & Freise, M. (2019). Customer experience creation for after-use products: A product – Service systems-based review. *Journal of Cleaner Production, 210*, 929–944. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.292

Schnürmacher, C., Hayka, H., & Stark, R. (2015). Providing product-service-systems – The long way from a product OEM towards an original solution provider (OSP). *Procedia CIRP, 30*, 233–238. https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.124

Schuh, G., & Stich, V. (2013). *Logistikmanagement: Handbuch Produktion und Management 6. Springer eBook Collection Computer Science and Engineering: Bd. 6*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-28992-7

Schuh, G., Kampker, A., & Rittstieg, M. (2010). Vernetzte Wertschöpfung und Kooperationsmanagement. In G. Schuh & A. Kampker (Hrsg.), *Strategie und Management produzierender Unternehmen: Handbuch Produktion und Management, Bd. 1* (S. 463–535). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14502-5_7

Schuh, G., Kuhn, M., Keuper, A., Patzwald, M., Schenk, L., Feucht, M., Kantelberg, J., Rossmair, G., Schroth, H., Viethen, U., Zeller, P., & Guo, D. (2023a). Neue Modularität und Technologie-Roadmapping. In R. H. Schmitt, T. Bergs, C. Brecher, & G. Schuh (Hrsg.), *Empower green production. Tagungsband* (S. 96–123). https://doi.org/10.24406/PUBLICA-939

Schuh, G., Schmitz, S., Lukas, G., Niwar, L., Welsing, M., & Calchera, R. (2023b). Ordnungsrahmen für eine zirkuläre Produktionswirtschaft. In R. H. Schmitt, T. Bergs, C. Brecher, & G. Schuh (Hrsg.), *Empower green production. Tagungsband* (S. 304–334). https://doi.org/10.24406/PUBLICA-939

Shahbazi, S., Wiktorsson, M., Kurdve, M., Jönsson, C., & Bjelkemyr, M. (2016). Material efficiency in manufacturing: Swedish evidence on potential, barriers and strategies. *Journal of Cleaner Production, 127*, 438–450. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.143

Stewart, R., Niero, M., Murdock, K., & Olsen, S. I. (2018). Exploring the implementation of a circular economy strategy: The case of a closed-loop supply of aluminum beverage cans. *Procedia CIRP, 69*, 810–815. https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.11.006

Tate, W. L., Bals, L., Bals, C., & Foerstl, K. (2019). Seeing the forest and not the trees: Learning from nature's circular economy. *Resources, Conservation and Recycling, 149*, 115–129. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.05.023

Trevisan, A. H., Castro, C. G., Gomes, L., & Mascarenhas, J. (2022). Unlocking the circular ecosystem concept: Evolution, current research, and future directions. *Sustainable Production and Consumption, 29*, 286–298. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.020

Tukker, A. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy – A review. *Journal of Cleaner Production, 97*, 76–91. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.049

Tura, N., Hanski, J., Ahola, T., Ståhle, M., Piiparinen, S., & Valkokari, P. (2019). Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. *Journal of Cleaner Production, 212*, 90–98. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.202

Zeiß, R. (2021). *Circular economy in the digital age – How information systems can advance sustainable consumption and production.* Dissertation, Universität zu Köln. Universitäts- und Stadtbibliothek Köln. https://kups.ub.uni-koeln.de/54253/1/Zeiss-2021-Circular_Economy_in_the_Digital_Age-vF.pdf. Zugegriffen am 19.05.2024.

Prof. Dr. Wolfgang Boos promovierte am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen mit Auszeichnung und wurde anschließend geschäftsführender Oberingenieur des dortigen Lehrstuhls für Produktionssystematik. Seit 2023 ist er Geschäftsführer des FIR an der RWTH Aachen.

Gerrit Hoeborn studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der RWTH Aachen und der Tsinghua University in Peking. Seit 2019 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter und seit 2022 Leiter des Bereichs „Business Transformation“ des FIR an der RWTH Aachen.

Lars Klapper studierte Betriebswirtschaftslehre in Bielefeld, Aachen und Stockholm. Seit 2023 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am FIR an der RWTH Aachen im Bereich „Business Transformation“ und seit 2025 Leiter der Gruppe „Ecosystem Design“. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Gestaltung von Ökosystemen in der Kreislaufwirtschaft sowie die servicebasierte Wertschöpfung.

Tobias Schröer arbeitet seit 2016 am FIR an der RWTH Aachen, zunächst als Projektleiter und seit 2020 als Bereichsleiter „Produktionsmanagement“. Neben anwendungsbezogenen Forschungs- und Beratungsprojekten konzentriert er sich in seiner Arbeit insbesondere auf praxisnahe Anwendungen von Unternehmenssoftware für den Betrieb in Produktion und Logistik.

Martin Perau studierte Produktionstechnik und Wirtschaftswissenschaften an der RWTH Aachen und an der Aalto-Universität in Helsinki. Von 2022 bis August 2025 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am FIR e. V. an der RWTH Aachen im Bereich Produktionsmanagement. Seitdem arbeitet und forscht er als Senior Researcher am Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie im Forschungsbereich Digitale Transformation der Abteilung Kreislaufwirtschaft.

Sebastian Junglas arbeitete von 2020 bis Ende 2024 am FIR an der RWTH Aachen, zunächst als Projektleiter und ab 2022 als Leiter der Gruppe „Produktionsregelung“. In seiner Forschung beschäftigte er sich mit der Modularisierung von IT-Systemlandschaften, insbesondere im Bereich der Produktions-IT.

Jokim Janßen arbeitet seit 2019 als Projektleiter in der Gruppe „Supply-Chain-Management“ am FIR an der RWTH Aachen. Sein Schwerpunkt liegt auf Forschungs-, Konsortial- und Beratungsprojekten im Kontext des digitalisierten Supply-Chain-Managements.

Open Access Dieses Kapitel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de) veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.