

Digitale Schlüsseltechnologien für eine kreislaufbasierte Produktion

DigiTech4CE

J. Berndorfer, A. Kurz,
Ch. Pecksteiner, J. Klinglmayr

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

28/2023

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

Digitale Schlüsseltechnologien für eine kreislaufbasierte Produktion

DigiTech4CE

Mag. Johanna Berndorfer, Mag. DI Andrea Kurz
Brimatech Services GmbH

Ing. Christian Pecksteiner, Dr. Johannes Klinglmayr
Linz Center of Mechatronics GmbH

Wien, Dezember 2022

Ein Projektbericht im Rahmen der



FTI-Initiative
Kreislaufwirtschaft

des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Das 21. Jahrhundert stellt die Menschheit vor enorme Herausforderungen. Klimakrise, Umweltverschmutzung, die Zerstörung von Ökosystemen und der damit einhergehende Biodiversitätsverlust sowie die zunehmende Verknappung endlicher Ressourcen zeigen die Grenzen linearen Wirtschaftens auf und machen ein Umdenken notwendig. Nachhaltigen Wirtschaftskonzepten, wie jenen der Kreislaufwirtschaft oder der Bioökonomie, wird zur Lösung der genannten Herausforderungen eine entscheidende Rolle zugesprochen.

In einer kreislauforientierten Wirtschaft etwa werden Rohstoffe sowie die daraus produzierten Güter möglichst ressourcenschonend hergestellt, die Lebensdauer der Erzeugnisse prolongiert sowie deren Nutzung intensiviert, um so Energie- und Ressourcenverbrauch, Abfallaufkommen und Schadstoffausstoß auf ein Minimum zu reduzieren. Erst wenn Produkte nicht mehr anderweitige Verwendung finden, werden diese dem Abfallstrom zugeführt, um daraus durch Recycling Sekundärrohstoffe zu gewinnen. Jene Abfälle, die sich – z.B. aufgrund ihres Schadstoffgehalts – nicht zur stofflichen Verwertung eignen, können unter anderem energetisch genutzt werden.

In Ergänzung dazu steht die Bioökonomie – ein Konzept, das in möglichst allen Bereichen und Anwendungen fossile Ressourcen durch nachwachsende Rohstoffe ersetzen soll. Aber auch biogene Ressourcen sind nicht unbegrenzt verfügbar. Daher ist es sowohl aus ökologischen als auch aus ökonomischen Gründen notwendig, Biomasse möglichst vollständig zu verwerten, beziehungsweise Konzepte zu entwickeln, die eine ressourceneffiziente Nutzung berücksichtigen und höhere Wertschöpfung erzielen. Zugleich soll auch hier eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft unterstützt werden, welche – neben der kaskadischen Nutzung – auf die Rückführung von biogenem Material in den Produktionskreislauf, die Verwertung von Reststoffen und eine vollständige Schließung des Kohlenstoffkreislaufs abzielt.

Für eine Transformation unseres linearen Wirtschaftssystems hin zur Kreislaufwirtschaft sind neue technologische Ansätze, innovative Geschäftsmodelle, systemisches interdisziplinäres Denken, enge Vernetzung der Akteure und verbessertes Informationsmanagement notwendig.

Um diese Umgestaltung zu unterstützen, fördert das Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) gezielt angewandte Forschungs- und Entwicklungsvorhaben im Schwerpunkt Kreislaufwirtschaft, mit dem Ziel Innovationen anzustoßen und die langfristige Wettbewerbsfähigkeit des österreichischen Wirtschaftsstandorts zu stärken.

Der vorliegende Bericht dokumentiert in umfassender Weise die Ergebnisse eines F&E-Projektes, gefördert im Rahmen der FTI Initiative Kreislaufwirtschaft der Sektion Innovation

und Technologie im BMK. Unsere Motivation ist es, kontinuierlich Ergebnisse geförderter Projekte zentral, themenübergreifend und öffentlich zugänglich zu machen. Damit wollen wir einen Anstoß zur Lösung unserer großen gesellschaftlichen Herausforderungen geben und folgen dem Ziel des BMK, unter der Initiative „open4innovation“ (www.open4innovation.at) die Basis für Vernetzung und für die Gestaltung von Neuem zu schaffen.

René ALBERT

Koordinator des FTI-Schwerpunktes Kreislaufwirtschaft

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
(BMK)

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	9
3	Ausgangslage	11
4	Studieninhalt und Methodik	13
5	Kreislaufbasierte Produktion und Datenkreisläufe	16
	5.1. Was Kreislaufwirtschaft für die diskrete Produktion bedeutet	16
	5.2. Welche Rolle digitale Schlüsseltechnologien für die Kreislaufwirtschaft spielen.....	24
	5.3. Wo Österreich steht.....	36
	5.4. Welche Rahmenbedingungen zu beachten sind	44
	5.5. Wo vielversprechende Anwendungsbereiche zu finden sind.....	46
6	Herausforderungen und Handlungsfelder	52
	6.1. Wertschöpfung neu denken	52
	6.2. Umsetzung beschleunigen.....	53
	6.3. Digitale Voraussetzungen schaffen.....	54
	6.4. Innovation ausrichten.....	55
7	Handlungsempfehlungen	57
	7.1. Bewusstsein bilden	57
	7.2. Rahmenbedingungen schaffen	58
	7.3. Digitalisierung vorantreiben	59
	7.4. FTI-Ausschreibungen gestalten.....	59
8	Verzeichnisse	63
9	Literaturverzeichnis	66
10	Anhang: Technologieprofile	68

1 Kurzfassung

Kreislaufwirtschaft zielt darauf ab, für die Herstellung von Produkten so wenig natürliche Ressourcen wie möglich zu verbrauchen, Produkte und Materialien so lange wie möglich und sinnvoll im Kreislauf zu halten, Abfall und Verschmutzung zu vermeiden und das natürliche Ökosystem zu schützen. Es handelt sich um eine ganzheitliche Betrachtung der Wertschöpfung, die durch die Verlängerung der Produktlebensdauer - durch beispielsweise Teilen, Wiederverwenden, Reparieren oder Wiederaufbereiten - und der Verlagerung von „Abfall“ vom Ende der Wertekette an den Anfang erreicht wird. Digitalisierung stellt dabei einen wesentlichen Treiber, wenn nicht gar einen Erfolgsfaktor dar. Denn digitale Technologien schließen Informationslücken, zeigen Verbesserungsmöglichkeiten im Prozess-, Produkt- und Komponentendesign und ermöglichen die Implementierung innovativer Geschäftsmodelle.

Die gegenständliche Studie DigiTech4CE wurde im Rahmen der nationalen FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft als F&E Dienstleistung „Digitale Schlüsseltechnologien für die kreislaufbasierte Produktion“ ausgeschrieben. Ziel ist es, digitale Schlüsseltechnologien für die industriellen Kreisläufe in der Produktion zu analysieren, Handlungsfelder darzustellen und Handlungsempfehlungen für eine kreislaufbasierte Produktion in Österreich abzuleiten.

Dabei werden Fragen beantwortet wie: Wer sind die an der Kreislaufwirtschaft teilnehmenden Akteur:innen? Was ist der Mehrwert für Produzierende und was sind die wettbewerblichen Nachteile einer kreislaufbasierten Produktion? Welche regulatorischen Rahmenbedingungen braucht es? Und welche Rolle spielt die Digitalisierung bei dieser Transformation; welche sind die Schlüsseltechnologien dabei und wie ist der Innovationsbedarf zu stemmen?

Die **an der Kreislaufwirtschaft Teilnehmenden** sind mannigfaltig. Neben den klassischen Rollen wie Material- oder Maschinenlieferant:in, Produzent:in und Nutzer:in gewinnen neue Akteur:innen wie Servicestellen, Reparaturdienste, Prosumenten oder Rückgewinnungsmanager an Bedeutung. Charakteristisch für die zirkuläre Wertschöpfung ist, dass die Teilnehmenden und ihre Geschäftsmodelloptimierungen nicht isoliert betrachtet werden können. Wertschöpfungsketten sind in Wertschöpfungskreisläufe umzuwandeln. Dadurch bilden sich zirkuläre Ökosysteme, wobei sich die Rollen der an der Wertschöpfung Teilnehmenden ergänzen, was wiederum eine ganzheitliche Betrachtung der Kreislaufwirtschaft unumgänglich macht.

Der wahrgenommene **Mehrwert für Produzierende** reicht von einem ökonomischen Mehrwert durch Ressourceneinsparung und Erschließung neuer Märkte durch neue Dienstleistungsmodelle, über eine höhere Resilienz durch die Reduzierung der Abhängigkeit von Primärrohstoffen und damit verbundenen Lieferkettenproblemen, bis hin zur Stärkung der Innovationskraft, was wieder zu einer höheren Attraktivität als Arbeitgeber und einer intensiveren Kundenbindung führt. Für österreichische Produktionsbetriebe liegt der größte Mehrwert im Beitrag zur Nachhaltigkeit, gefolgt von Ressourceneffizienz und dem wahrgenommenen Wettbewerbsvorteil durch Differenzierung.

Wettbewerbliche Nachteile, die die Umsetzung von zirkulären Geschäftsmodellen erschweren, sind hohe Investitionskosten für Infrastruktur, Personal und Vorleistungen, mögliche Kannibalisierungseffekte durch eigene preisgünstige wiederaufbereitete Produkte und der schnelle Preisverfall durch be-

schleunigte Innovationszyklen. Hinderlich wirken des Weiteren ein mangelndes Bewusstsein bei Unternehmen, was Kreislaufwirtschaft im Detail bedeutet, welche Strategien zu entwickeln sind und welche Wichtigkeit dem Produkt-Design beigemessen werden muss. Als erschwerend erweisen sich zusätzlich die Intransparenz der Lieferkette, der Aufbau von gegenseitigem Vertrauen zwischen den Partnern in der Lieferkette und das Entwickeln eines gemeinsamen Werteverständnisses.

Einheitliche **regulatorische Rahmenbedingungen** sowohl betreffend Kreislaufwirtschaft als auch Datenkreisläufe sind meist nur unzureichend vorhanden, würden jedoch eine große Orientierungshilfe für die teilnehmenden Akteur:innen geben. Es besteht ein Bedarf an Qualitätsstandards für Produkte und Prozesse, interoperablen Datenstandards, an Regulierung zu Datenschutz, Datensicherheit und Open Data.

Digitalisierung ist ein wichtiges Werkzeug für die Kreislaufwirtschaft, denn im Idealfall werden nicht nur Materialströme im Kreis geführt, sondern auch Informationsströme. Digitale Technologien bilden ein Bindeglied zwischen den an der Kreislaufwirtschaft Teilnehmenden, ermöglichen den Austausch von Daten und unterstützen Transparenz und Zusammenarbeit. Weiters werden neue Geschäftsmodelle und Produkt- und Prozessinnovationen unterstützt, Nutzungs- und Kundenverständnis verbessert, und die Entwicklung neuer Arbeitsweisen ermöglicht. Digitalisierung ermöglicht etwa Kontroll- und Standortverfolgungsdienste, Verfolgung von Nutzungszyklen und Leistungsdaten, oder vorausschauende Wartung, Vorhersage von Ausfällen und optimiertes Ersatzteilmanagement.

In einem Technologiecatalog werden 15 **digitale Schlüsseltechnologien** über Technologieprofile beschrieben und klassifiziert. Dazu gehören unter anderem Industrial IoT, Artificial Intelligence, Distributed Ledger Technology oder Cyber Security. Sie werden Informationskategorien, Akteuren und zirkulären Strategien zugeordnet; weiters werden Hindernisse und Handlungsfelder aufgezeigt, sowie Anwendungsbeispiele aus verschiedenen Branchen angeführt.

Die Transformation zur Kreislaufwirtschaft ist verbunden mit **hohem Innovationsbedarf** und mit weiter steigender Wichtigkeit von Forschung und Entwicklung beim Finden neuer Wege für nachhaltige Produkte und zirkuläre Wertschöpfung. Innovation ist der zentrale Hebel für Nachhaltigkeit; Kooperation, Design und Digitalisierung sind die wichtigsten Ingredienzien.

Daher zählt neben dem Neudenken von Wertschöpfung, der Beschleunigung der Umsetzung und der Schaffung digitaler Voraussetzungen, die Neuausrichtung der Innovation zu den vorrangigen **Handlungsfeldern**. Daraus resultieren **Handlungsempfehlungen** für die öffentliche Hand: Bewusstsein schaffen, Unsicherheit durch geeignete Rahmenbedingungen reduzieren, sowie Digitalisierung und Innovation vorantreiben. Gezielte, unterstützende Maßnahmen im Rahmen von nationalen FTI-Programmen können helfen, kreislaufbasierte Produktion in Österreich zu etablieren.

Die Politik steht in der Verantwortung, in den nächsten Jahren konsistente Zielbilder, verbindliche Vorgaben und attraktive Anreizsysteme sowohl für die digitale als auch die ökologische Transformation der Wirtschaft zu formulieren. Die Studie DigiTech4CE kann eine Basis für weitere strategiepolitische Maßnahmen seitens der öffentlichen Hand sein.

2 Abstract

Circular economy aims to use as few natural resources as possible for the production of products, to keep products and materials in circulation as long as possible and in a meaningful way, to avoid waste and pollution and to protect the natural ecosystem. It is a holistic form of value creation achieved by extending product life - through, for example, sharing, reusing, repairing or recycling - and by moving "waste" from the end of the value chain to the beginning. Digitalisation a significant driver, if not a key success factor, as digital technologies close information gaps, identify opportunities for improvement in process, product, and component design and enable the implementation of innovative business models.

The present study DigiTech4CE was commissioned as an R&D service "Digital key technologies for circular production" within the national FTI initiative Circular Economy. The aim is to analyse digital key technologies for industrial cycles in production, to present action fields and to provide recommendations for a circular production in Austria.

The study addresses questions such as: Who are the new participants in the circular economy? What is the value for producers and what are the competitive disadvantages of a circular-based production? What regulatory framework adjustments can be expected? And what role does digitalization play in this transformation, what are the key technologies and how is the innovation demand to be met?

Participants in a circular economy are diverse. In addition to traditional roles such as material or machine supplier, producer and user, new actors such as service providers, repair services, prosumers or recovery managers are becoming increasingly important. Characteristic of circular value creation is that the participants and their business model optimisations cannot be considered in isolation. Value chains need to be transformed into value cycles. This creates circular ecosystems where the roles of the value chain participants complement each other, making a holistic view of the circular economy essential.

The **perceived added value** for producers ranges from an economic benefit through resource savings and the development of new markets through new service models, to increased resilience through the reduction of dependence on primary raw materials and associated supply chain issues, to the strengthening of innovation power, which in turn leads to higher attractiveness as an employer and better customer loyalty. For Austrian production companies, the greatest added value is in contribution to sustainability, followed by resource efficiency and the perceived competitive advantage through differentiation.

Competitive disadvantages that make the implementation of circular business models more difficult include high investment costs in infrastructure, personnel and prerequisites, possible cannibalisation effects from own low-priced recycled products, and rapid price decline due to accelerated innovation cycles. Furthermore, a lack of awareness among companies of what circular economy means in detail, which strategies to develop and what importance must be given to product design, can be hindering. Additionally, the lack of transparency in the supply chain, the building of mutual trust and the development of a common understanding of values are also challenging.

Uniform **regulatory framework conditions** for both circular economy and data cycles are often inadequate, but would provide a great reference for the participating actors. There is a need for quality standards for products and processes, interoperable data standards, regulation on data protection, data security and open data.

Digitalisation is a key tool for circular economy, as ideally not only material flows are cycled, but also information flows. Digital technologies form a link between the participants in a circular economy, enable the exchange of data and support transparency and collaboration. Furthermore, they support new business models and product and process innovations, improve understanding of usage and customers, and enable the development of new work practices. Digitalisation enables, for example, control and location tracking services, tracking of usage cycles and performance data, or predictive maintenance, forecasting of failures, and optimised spare part management.

In a technology catalogue, 15 **digital key technologies** are described and classified through technology profiles. These include Industrial IoT, Machine Learning, Distributed Ledger Technology or Cyber Security. They are assigned information categories, actors and R-strategies, obstacles and action fields are highlighted, and examples of applications from various industries are listed. The transformation to a circular economy is associated with high innovation needs and increasing importance of research and development in finding new ways for sustainable products and circular value creation. Innovation is the central lever for sustainability; cooperation, design and digitalisation are the most important ingredients.

Therefore, in addition to rethinking value creation, accelerating implementation and creating digital prerequisites, reorienting innovation is one of the **priority action fields**. This results in **recommendations** for the public sector: creating awareness, reducing uncertainty through appropriate framework conditions, and driving digitalisation and innovation. Targeted, supportive measures within national R&D programs can help establish circular production in Austria. The government are responsible for formulating consistent target scenarios, binding guidelines and attractive incentive systems for both the digital and the ecological transformation of the economy in the coming years. The DigiTech4CE study can be a basis for further strategic measures by the public sector.

3 Ausgangslage

Gemäß dem Europäischen Green Deal soll Europa bis 2050 klimaneutral werden. Österreich will dieses Ziel bereits 2040 erreichen. Zur Verwirklichung dieses ambitionierten Vorhabens bedarf es einerseits einer Mobilisierung der wissenschaftlichen und unternehmerischen Innovationskraft. Andererseits fördert die Nachfrage nach innovativen Prozessen und Produkten mit einem geringeren ökologischen Fußabdruck die Entfaltung neuer Märkte. Auf dem Weg zur Dekarbonisierung und nachhaltigen Ressourcennutzung eröffnet die Entwicklung einer kreislaufbasierten Produktion in Verbindung mit intelligenten Technologien der österreichischen Wirtschaft neue Wertschöpfungspotentiale und Wachstumschancen.

Lineare Werteketten sind heute in der Industrie noch immer das dominierende Wirtschaftssystem. Hier liegt der Fokus auf der einmaligen Nutzung von Ressourcen, die es im Anschluss zu entsorgen gilt. Aufgrund eines zunehmenden Bewusstseins für künftige Ressourcenknappheit und Lieferengpässe, zusätzlich beschleunigt durch geopolitische Entwicklungen, gewinnen das Thema Nachhaltigkeit und das Prinzip der Kreislaufwirtschaft an Bedeutung.

Ziel der zirkulären Wertschöpfung ist es, in geschlossenen Kreisläufen Rohstoffe möglichst ressourcenschonend, abfall- und emissionsarm zu verwenden und die Nutzung von Produkten durch Service-Modelle oder Upcycling zu maximieren. Im Wesentlichen basiert die Kreislaufwirtschaft auf drei Prinzipien (Gahleitner Birgit, 2022, S. 5):

- Vermeidung von Abfall und Umweltverschmutzung
- Maximierung der Produktverwendung / Kreislaufhaltung der Materialien
- Schutz und Regeneration von Ökosystemen

Die Zirkulärwirtschaft (= Kreislaufwirtschaft, „circular economy“, im folgenden CE) ist ein Innovationsansatz um Wirtschaft, Umweltschutz und regionale Beschäftigung in Einklang zu bringen (Hansen Erik G., 2019, S. 418). Im Mittelpunkt stehen dabei Re-Design von Produkten zur Verlängerung der Produktlebenszeit, Produkt- und Materialrückflüsse, neue dienstleistungsorientierte Geschäftsmodelle und eine intensive Kooperation zwischen den Mitgliedern des Wertekreislaufs.

Digitale Technologien sind ein wichtiger Treiber für die Kreislaufwirtschaft. So verbessert etwa der Einsatz von Sensoren Mülltrennung und Recycling, unterstützt Künstliche Intelligenz Prozessoptimierung und Maintenance, und ermöglicht IoT (Internet-of-Things) die Entwicklung von kundenspezifischen Lösungen, die Sachgüter und Dienstleistungen intelligent verknüpfen. Produktbasierte Geschäftsmodelle werden durch wertbasierte Services ausgeweitet und differenziert, Stichwort „product-as-a-service“.

Durchgängige Datenkreisläufe sind für das Gelingen der Kreislaufführung von Produkten und Stoffen entscheidend. Ebenso hängen die Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft und die Implementierung

neuer Geschäftsmodelle von den vorherrschenden wirtschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen ab. Für nachhaltige Wertschöpfung braucht es systemische Innovationen, die sowohl für den Akteur als auch für das System als Ganzes einen Wert schaffen¹.

Doch wo steht die österreichische Produktion hinsichtlich Implementierung einer zirkuläre Wertschöpfung? Welchen Beitrag leisten digitale Technologien und was sind die Rahmenbedingungen?

Diese und weitere Fragen werden im Rahmen des gegenständlichen Studienvorhabens „Digitale Schlüsseltechnologien für eine kreislaufbasierte Produktion - DigiTech4CE“ untersucht. Daraus resultiert die folgende Aufgabenstellung.

- Erarbeitung eines **Bewertungsmodells für digitale Schlüsseltechnologien**, das den Mehrwert der Technologie für die einzelnen Kreislaufwirtschafts-Teilnehmer: innen, die adressierten Hürden, aber auch die österreichische Kompetenzlage und das Potential für nachhaltige disruptive Innovationen in der österreichischen Produktion und Produktentwicklung veranschaulicht;
- Aufzeigen von **Handlungsfeldern**, die auf das österreichische Ökosystem zugeschnitten sind und unterschiedliche in Literatur und Interviews genannte Einflussfaktoren abdecken, mit dem Ziel, eine umfassende Grundlage für den Aufbau einer kreislaufbasierten Produktion in Österreich zu schaffen;
- **Vernetzung** der relevanten österreichischen Akteure aus den Bereichen Kreislaufwirtschaft, Produktion, Anlagenbau und Digitalisierung (digitale Schlüsseltechnologien), um Bewusstsein aber auch Vertrauen zu schaffen und den Grundstein für künftige (F&E-) Kooperationen zu legen.

Das **Ergebnis** umfasst

- einen Technologiekatalog mit CE-relevanten digitalen Schlüsseltechnologien
- einen Endbericht und eine Endpräsentation mit Handlungsfeldern und -empfehlungen.

DigiTech4CE wurde als F&E Dienstleistung zum Thema „Digitale Schlüsseltechnologien für die kreislaufbasierte Produktion“ im Rahmen der 1. Ausschreibung der nationalen FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft gefördert.

Kreislaufwirtschaft ist eine Voraussetzung für eine klimaneutrale Industrie und einer Industrietransformation in Richtung Nachhaltigkeit. Die öffentliche Hand ist gefordert, durch zielgerichtete Maßnahmen diese Entwicklung zu unterstützen. DigiTech4CE kann eine Basis für weitere strategische Maßnahmen seitens der öffentlichen Hand bilden.

¹ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK): <https://nachhaltigwirtschaften.at/de/themen/kreislaufwirtschaft/>, abgerufen am 20.10.2022, 9:00

4 Studieninhalt und Methodik

Als Ausgangsbasis werden im Rahmen von DigiTech4CE folgende, im Ausschreibungsleitfaden zur 1. Ausschreibung der nationalen FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft vordefinierten Fragestellungen untersucht:

- Wer sind die **Teilnehmenden** an der Kreislaufwirtschaft und was sind ihre Rollen? Wo liegen die Grenzen einer Kreislaufwirtschaft? Mit welchen zusätzlichen Gewerken (Energie, öffentliche Stellen...) ist eine zukünftige Verknüpfung sinnvoll?
- Welcher **Mehrwert** entsteht für jeden Teilnehmenden an der Kreislaufwirtschaft? Der Mehrwert kann immateriell (z. B. neue Erkenntnisse oder Prozessoptimierungen) oder finanziell (z. B. neue Geschäftsfelder, Erhöhung des Umsatzes und des Gewinnes...) sein. Welche neuen Dienstleistungen sind notwendig?
- Welche **wettbewerblichen Nachteile** können für die Teilnehmenden an der Kreislaufwirtschaft entstehen? Wie können diese Nachteile durch technische oder andere Lösungen beseitigt werden? Können die notwendigen Lösungen z. B. mit der Infrastruktur jedes Teilnehmers durchgeführt werden, sodass keine internen Daten (Produktionsstandort etc.) weitergegeben werden müssen?
- Wie kann der **rechtliche Rahmen** für den Datenkreis und Daten, die von Quellen außerhalb des Datenkreises stammen, aufgesetzt werden? Sind alle rechtlichen Rahmenbedingungen erfüllt, wenn personenbezogene Daten vorkommen?
- Welche **Schnittstellen und technischen Lösungen** sind für die Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft notwendig? Wie sicher ist die Zusammenarbeit der einzelnen Teilnehmer (IPR, Datensicherheit...)?
- Welche **Technologien** sind unabdinglich für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft?

Aus den Ergebnissen werden Rahmenbedingungen nach den PESTEL-Kategorien (politisch, wirtschaftlich, organisatorisch, technisch, ökologisch und rechtlich) und vielversprechende Handlungsfelder herausgearbeitet und Handlungsempfehlungen abgeleitet.

Die methodische Herangehensweise von DigiTech4CE fasst Abbildung 1 zusammen.

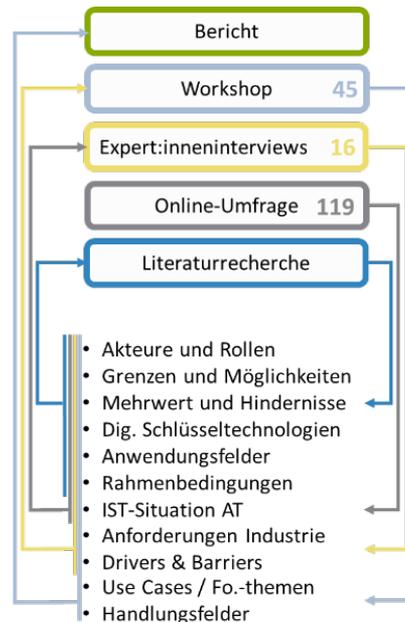
Eine eingehende Literaturrecherche zeigte auf, welche Gruppen von Akteur:innen in die Studie einbezogen werden sollen und lieferte Hintergrund für die Befragungen hinsichtlich wahrgenommener Grenzen und Möglichkeiten, Mehrwert der Kreislaufwirtschaft in der Produktion und Hindernissen bei ihrer Einführung. Die in der Literatur beschriebenen Anwendungsfelder für Digitalisierung in der CE und die Rahmenbedingungen werden mit Gegebenheiten in Österreich verglichen.

Zahlreiche Publikationen behandeln auf umfassende Weise das Thema Kreislaufwirtschaft und die daraus resultierenden Geschäftsmodelle. Manche davon konzentrieren sich zusätzlich auf digitale Technologien und ihren Einfluss auf die Entwicklung innovativer, zirkulärer Geschäftsmodelle. Zu den wichtigsten Hintergrunddokumenten für die vorliegende Studie zählen:

- Andres Alcayaga und Erik G. Hansen: Internet of Things Enabling the Circular Economy (Alcayaga Andres, 2022)

- Acatech/Circular Economy Initiative Deutschland/SYSTEMIQ: Zirkuläre Geschäftsmodelle: Barrieren überwinden, Potenziale freisetzen (Hansen Erik W. P., 2021)
- Eivind Kristoffersen et al.: The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies (Kristoffersen Eivind, 2022)

Abbildung 1: Methodik DigiTech4CE (eigene Darstellung)



Eine Online-Umfrage diente der Bestandsaufnahme der Situation in Österreich. 119 Teilnehmer: innen aus den Bereichen diskrete Produktion, digitale Technologien und Kreislaufwirtschaft beantworteten Fragen zu Einsatz und Potential digitaler Technologien in der kreislaufbasierten, diskreten Produktion, zu Mehrwert und Barrieren sowie vielversprechenden Anwendungsbereichen.

Expert:inneninterviews gaben Aufschluss darüber, wie die gegenwärtige Situation, die Herausforderungen und Trends hinsichtlich Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung wahrgenommen werden, und welche Rahmenbedingungen und Handlungsfelder gesehen werden. 16 Gespräche wurden mit Vertretern der Tätigkeitsfelder Kreislaufwirtschaft, Digitaltechnologien, Zertifizierung und Unternehmen der produzierenden Industrie in ausgewählten Branchen geführt: ATOS, Circular Economy Forum Austria, Circular Thinking, Digital Findet Stadt, FILL, FiWare, Fraunhofer Research Austria, Fronius, K1-MET (Low Carbon Energy), KTM, Montanuniversität Leoben, Porr, Quality Austria, Saubermacher, Walter Kunststoffe und Wolford.

Der Online-Workshop zielte auf die weitere Analyse vielversprechender Anwendungsfelder und der Identifikation von Forschungsthemen ab. Zusätzlich ermöglichte er eine Vernetzung der Communities aus Produktion, Digitaltechnologien und Kreislaufwirtschaft. Der Online-Workshop fand am 11. Oktober 2022 statt. 43 Personen nahmen daran teil. Als Keynote-Speaker konnte Birgit Gahleitner (Birgit Gahleitner ° nachhaltig. wirksam., Netzwerkpartnerin Quality Austria) gewonnen werden.

Die erhobenen Einschätzungen und Statements wurden zusammengefasst und Handlungsfelder abgeleitet. Die daraus entwickelten Handlungsempfehlungen dienen der Unterstützung der öffentlichen Hand bei der Auswahl von Maßnahmen zum Ausbau der kreislaufbasierten Produktion in Österreich.

Die Studie wurde in laufender Abstimmung mit dem BMK und der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) durchgeführt. Regelmäßige Statusbesprechungen dienten dem Abgleich der Vorgehensweise und der Kommunikation des Studienfortschrittes. Weiters wurden der Online-Fragebogen, Interviewleitfäden, die Auswahl der Gesprächspartner:innen und die Workshop-Keynote mit BMK und FFG abgestimmt.

Abgrenzung

Der Fokus von DigiTech4CE liegt auf der diskreten Produktion, das heißt, einer Fertigungsumgebung, in der Produkte als abzählbare Einheiten hergestellt werden. In der diskreten Produktion entstehen aus Rohstoffen und Materialien – aber auch zugelieferten Subkomponenten – neue Produkte.

Die Studie untersucht die Rolle von digitalen Technologien für die kreislaufbasierte Produktion. Für ein vollständiges Bild ist es notwendig, allgemeine Themen der Kreislaufwirtschaft, wie zirkuläre Strategien, Geschäftsmodelle und Herausforderungen bei deren Implementierung zu betrachten und miteinzubeziehen.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber konzentrieren sich die Untersuchungen in Anlehnung an die nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (Bundesministerium für Klimaschutz, 2022) auf folgende Branchen:

- Abfallmanagement
- Bauwirtschaft
- Elektro- und Elektronikgeräte
- Kunststoffe und Verpackungen
- Maschinen- und Anlagenbau
- Mobilität
- Textilwirtschaft

Der regionale Fokus der Studie liegt auf Österreich. Dies betrifft vor allem die Online-Umfrage, die Expert:inneninterviews und den Online-Workshop. Hinsichtlich Publikationen, Berichte, Strategiepapiere und Best-Practice-Beispiele wird keine regionale Einschränkung vorgenommen.

Die in diesem Bericht zusammengefassten Ergebnisse basieren auf bestehender Literatur (siehe Literaturverzeichnis Kapitel 9) und den durch Umfrage, Workshop und Experten:inneninterviews generierten Erkenntnissen für Österreich. Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

5 Kreislaufbasierte Produktion und Datenkreisläufe

Die Transformation zu einem zirkulären Wirtschaftssystem erfordert systemweite Innovationen, die es ermöglichen, das wirtschaftliche Wachstum vom Ressourcenverbrauch zu entkoppeln. Was dies für die diskrete Produktion bedeutet, welche Rolle Digitalisierung dabei spielt, wie die Situation in Österreich aussieht und welchen Rahmenbedingungen charakteristisch sind, wird in diesem Kapitel beantwortet.

5.1. Was Kreislaufwirtschaft für die diskrete Produktion bedeutet

Ziel dieses Kapitels ist es, eine allgemeine Einführung in die zirkuläre Wertschöpfung zu geben, um anschließend ihre Bedeutung für die Produktion zu beleuchten. Abschließend werden Treiber und Barrieren für die Implementierung der Kreislaufwirtschaft in der Produktion betrachtet.

Die Kreislaufwirtschaft ist ein regeneratives System, in dem Ressourceneinsatz und Abfallproduktion, Emissionen und Energieverschwendung minimiert werden² **Es ist eine ungültige Quelle angegeben..** Es umfasst Produktion und Konsumation und verlangt damit eine ganzheitliche Betrachtung. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel nicht nur jene Bereiche der Kreislaufwirtschaft beleuchtet, die eine unmittelbare Verbindung zur Produktion haben. Vielmehr gilt es, ein allgemeines Verständnis über die Zusammenhänge einer zirkulären Wertschöpfung zu schaffen, um in Anschluss einen Fokus auf die Produktion und die Digitalisierungskomponente zu legen.

5.1.1. Zirkuläre Wertschöpfung

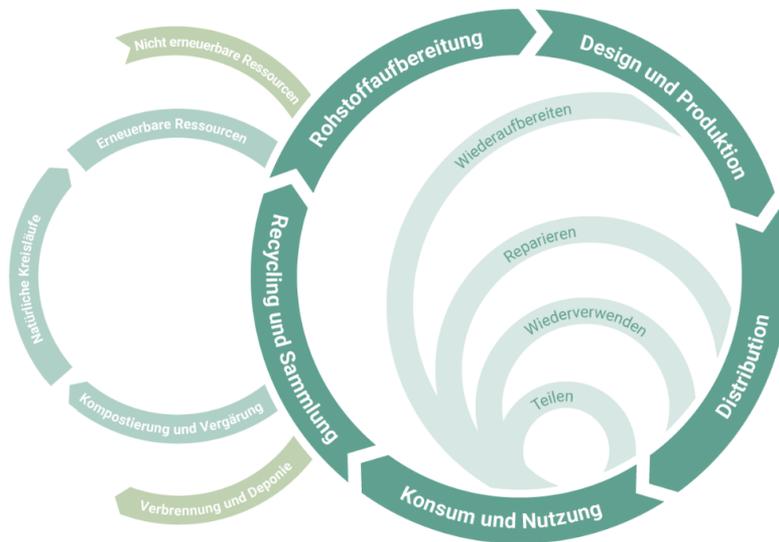
Zirkuläre Wertschöpfung zielt darauf ab, für die Herstellung von Produkten so wenig natürliche Ressourcen als möglich zu verbrauchen, Produkte und Materialien so lange als möglich und sinnvoll im Kreislauf zu halten, Abfall und Verschmutzung zu vermeiden und das natürliche Ökosystem zu schützen. Es handelt sich um eine ganzheitliche Art der Wertschöpfung, die durch die Verlängerung der Produktlebensdauer - durch beispielsweise Teilen, Wiederverwenden, Reparieren oder Wiederaufbereiten - und der Verlagerung von „Abfall“ vom Ende der Wertekette an den Anfang erreicht wird (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2 gibt einen groben Überblick über die an einer zirkulären Wertschöpfung beteiligten **Rollen**. Der Materiallieferant ist unter Einbeziehung erneuerbarer und nicht erneuerbarer Ressourcen für die Rohstoffaufbereitung zuständig. Der Materialeinsatz wird in den Designabteilungen der Produzenten festgelegt. Produktion bezieht sich auf Produzenten des Endprodukts und von Komponenten, Maschinen und Anlagen. Logistikunternehmen, Einzelhändler und Servicestellen kümmern sich um die Distribution der Ware, sodass diese vom Konsumenten/Nutzer gebraucht und/oder geteilt werden kann. Nach der ersten Nutzungsphase wird das Produkt in einem lebensverlängernden Prozess wiederverwendet, repariert oder gelangt zurück zum Produzenten, wo es wiederaufbereitet

² Wikipedia: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kreislaufwirtschaft>, abgerufen am 20.10.2022, 9:00

wird. Nach Ende der (verlängerten) Nutzungsphase wird das Produkt gesammelt, recycelt oder zur Energiegewinnung verbrannt.

Abbildung 2: Rollen in der zirkulären Wertschöpfung (Circular Globe, 2022)



Aus der Betrachtung der Rollen ergibt sich, dass in der Kreislaufwirtschaft folgende wertschöpfende **Akteur:innen** vertreten sind (Tabelle 1, in Anlehnung an Hansen (Hansen Erik W. P., 2021, S. 23-24)).

Tabelle 1: Akteur:innen in der Kreislaufwirtschaft, in Anlehnung an (Hansen Erik W. P., 2021, S. 23-24)

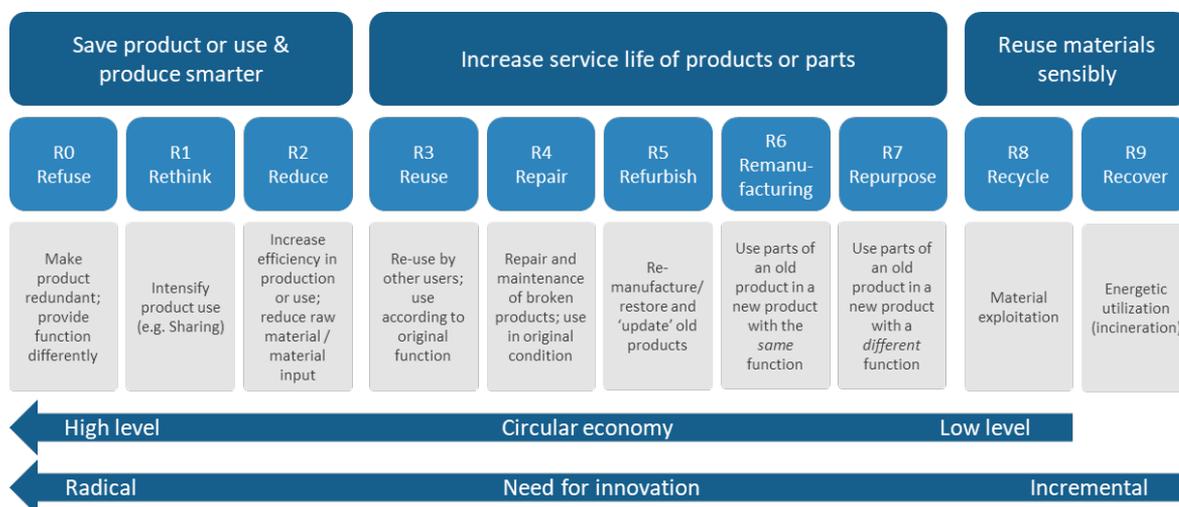
Akteur:innen	Beschreibung
Lieferant Material	Bereitsteller von Rohstoffen und anderen für Produktionsprozesse benötigten Stoffen
Lieferant Komponenten / Maschinen	Hersteller von Komponenten und Maschinen, die für Produktherstellung benötigt werden
Produzent	Organisationen, die eigene Materialien, Komponenten und Produkte herstellen
Einzelhändler und Service-stellen	Organisationen, die Produkte verkaufen und/oder warten
Nutzer	Personen oder Organisationen, die das Produkt nutzen
Reparaturdienstleister	Organisationen, die Reparaturdienstleistungen anbieten
Prosumenten	Nichtmarktakteure, die Do-It-Yourself (DIY) Wartung und andere informelle Aktivitäten organisieren

Akteur:innen	Beschreibung
Logistikanbieter	Organisationen, die Logistikdienstleistungen und Ersatzteilmanagement anbieten
Rückgewinnungsmanager	Organisationen, die Materialien verwerten, verwalten und sortieren
Vermittler	Betreiber von Plattformen für die Koordinierung von Recycling-, Altproduktnutzung- oder Sharing-Aktivitäten
Sonstige Organisationen	unterstützen Geschäftsmodelle (z.B. Finanzdienstleister) oder sind völlig neue Akteurstypen

Charakteristisch für die zirkuläre Wertschöpfung ist, dass die Akteur:innen und ihre Geschäftsmodelloptimierungen nicht isoliert betrachtet werden können. Wertschöpfungsketten sind in Wertschöpfungskreisläufe zu denken und umzuwandeln. Dadurch bilden sich zirkuläre Ökosysteme, die aus sich gegenseitig ergänzenden wertschöpfenden Akteur:innen bestehen und ganzheitlich betrachtet werden müssen (Hansen Erik W. P., 2021, S. 7). Ein Akteur oder eine Akteurin übernimmt dabei die Leitungsfunktion.

Für die Implementierung eines zirkulären Wertschöpfungssystems sind unterschiedliche **zirkuläre Strategien**, so genannte **R-Strategien**, bekannt. Sie bilden das Grundgerüst der zirkulären Wertschöpfung und spannen einen Bogen von Rethink und Reduce über Reuse, Repair und Remanufacture bis hin zu Recycle und Recover. Je nach Veröffentlichung schwankt deren Anzahl zwischen drei und 10.

Abbildung 3: Zirkuläre Strategien / R-Strategien (Mast Julian, 2022, S. 1)



Wie in Abbildung 3 dargestellt, lassen sich die R-Strategien absteigend nach ihrem Zirkularitätsgrad anordnen. Ein höherer Zirkularitätsgrad bei Materialien in der Produktkette bedeutet, dass diese für einen längeren Zeitraum im Kreislauf gehalten werden und nach der Entsorgung wiederverwendet

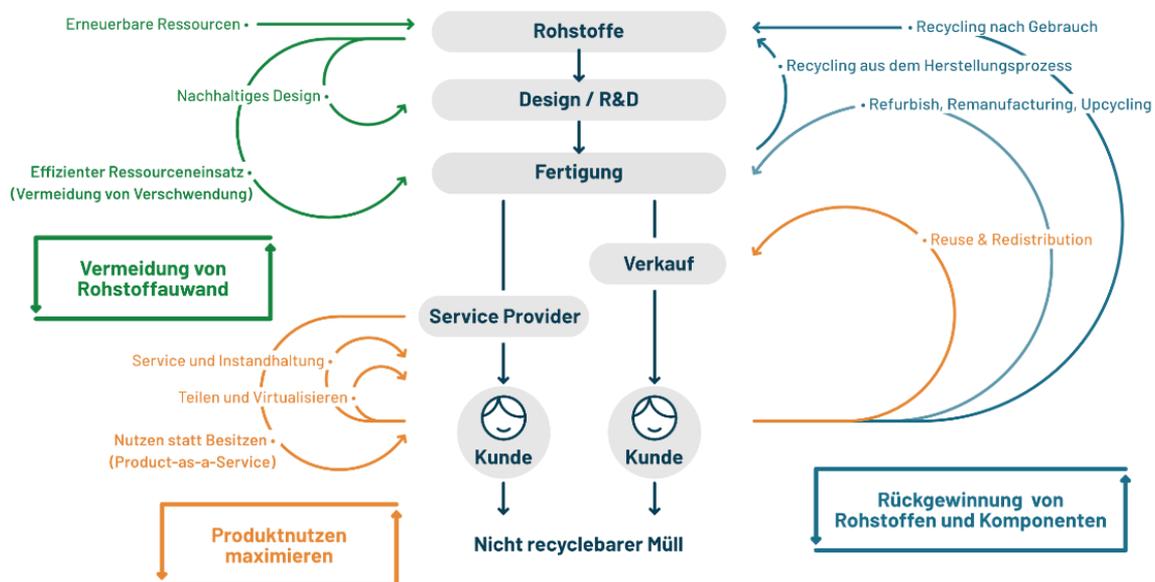
werden können - wenn möglich ohne Qualitätseinbußen. Folglich sind höher priorisierte Strategien mit einer niedrigeren Ordnungszahl versehen. Die R-Strategien können in drei Bereiche eingeteilt werden. Im Bereich „save product or use and produce smarter“ sollen Produkte neugestaltet, eingespart oder intelligenter genutzt bzw. hergestellt werden, um den Rohstoffaufwand der Produktion zu vermeiden oder zu senken (refuse, rethink, reduce). Im Bereich „increase service life of products or parts“ sind lebensverlängernde Strategien zu finden (reuse, repair, refurbish, remanufacture, repurpose), um durch Wieder- oder Weiterverwendung von Produkten oder Komponenten deren Nutzung ohne weiteren Rohstoffeinsatz zu ermöglichen. Die Verwertung der Materialien am Ende der Lebenszeit eines Produktes beinhaltet der Bereich „reuse materials sensibly“ (recycle, recover). Hier kann durch die Gewinnung von Sekundärrohstoffen der Bedarf an Primärrohstoffen gesenkt werden.

Kreisläufe und zirkuläre Strategien machen wirtschaftlich dann Sinn, wenn in systematischen Gesamtlösungen gedacht wird. Wird in der linearen Wertschöpfung das Produkt (vom Hersteller) mehrheitlich maximal bis zur Markteinführung betrachtet, beschreibt das zirkuläre Modell den Weg bis zum direkten Nutzungsende, oder darüber hinaus. Dies erfordert, wie bereits erwähnt, den Aufbau eines zirkulären Ökosystems, und folglich eine Transparenz der Lieferkette und eine enge Zusammenarbeit der „wertschöpfenden“ Akteure: innen.

5.1.2. Kreislaufwirtschaft in der Produktion

Für **Produktionsbetriebe** bedeutet die Kreislaufwirtschaft zunächst eine Intensivierung der Anstrengungen zur Vermeidung des Rohstoffaufwandes, zur Maximierung des Produktnutzens und zur Rückgewinnung von Rohstoffen und Komponenten. Abbildung 4 (Pliester Felix, 2022) zeigt aus Hersteller-sicht die Verschneidung dieser Zielsetzungen mit den R-Strategien.

Abbildung 4: Zirkuläre Wertschöpfung in der Produktion (Pliester Felix, 2022)



Durch die Kreislaufwirtschaft entsteht für Produzenten großer **Innovationsbedarf**, auf Produkt-, Prozess- und Geschäftsmodellebene. Welche Materialien oder Verfahren können verwendet werden, sodass das Produkt giftfrei und biologische abbaubar oder recycelbar wird? Wie lässt sich der Herstellungsprozess ressourcen- und energiesparend gestalten? Welche Geschäftsmodelle ermöglichen eine Maximierung des Produktnutzens bei gleichzeitiger Minimierung des ökologischen Fußabdrucks und sind ökonomisch sinnvoll? Weiters stellt sich die Frage, welche Rollen der zirkulären Wertschöpfung der Produzent selbst besetzen will und welche über externe Dienstleister.

Abbildung 5: Ziele, Zugang und Umsetzung von Kreislaufwirtschaft im Produktionsunternehmen (eigene Darstellung)



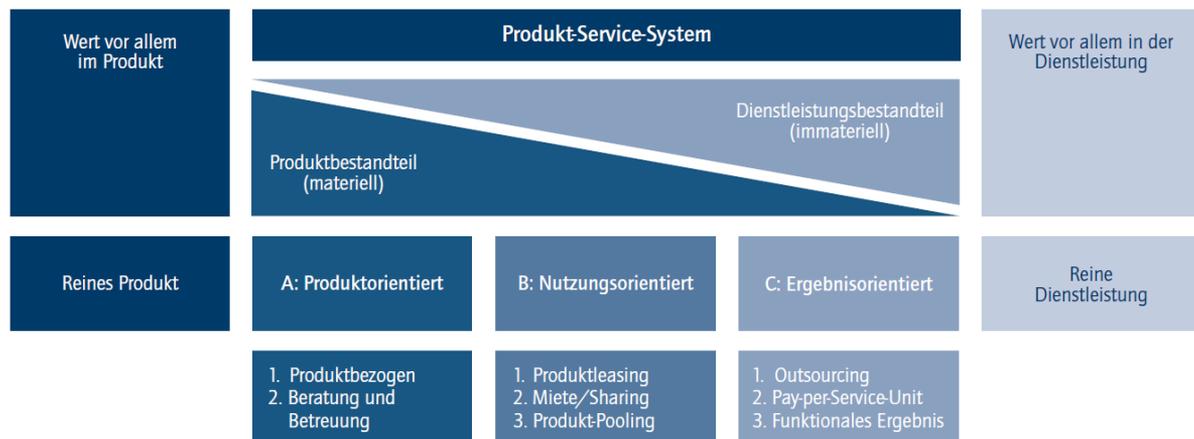
Für die Umsetzung von Produkt-, Prozess- und Geschäftsmodellinnovationen kommt dem **Produkt-design** eine große Bedeutung zu. Denn hier werden 80 % der Umwelteinflüsse eines Produkts festgelegt (Europäische Kommission, 2022, S. 1). Der Einsatz nachhaltiger Materialien setzt Materialtransparenz bzw. die Kenntnis der Produktzusammensetzung voraus. Neben der Materialzusammensetzung spielen die physische und emotionale Haltbarkeit sowie angestrebte zirkuläre Strategien (Wartbarkeit, Upgradefähigkeit, Schadstofffreiheit, Recyclatverwendbarkeit, biologische Abbaubarkeit) eine Rolle. Daher sind **Lieferkettentransparenz** und die Kenntnis und breite Einbindung der „wertschöpfenden“ Akteur:innen im zirkulären Ökosystem von großer Bedeutung und oft eine ebenso große Herausforderung. Die erfolgreiche Implementierung zirkulärer Wertschöpfung ist nur in enger, vertrauensvoller Zusammenarbeit mit den Akteur:innen des Werternetzes möglich. **Digitalisierung** stellt dabei einen wesentlichen Treiber, wenn nicht gar einen Erfolgsfaktor dar. Die Themen hier sind Datentransparenz und Datenkreisläufe.

Nachhaltige Geschäftsmodelle ermöglichen Produktionsbetrieben völlig neue Zugänge und bringen Marktchancen, aber auch Risiken mit sich. Die **Geschäftsmodellinnovationen** betreffen im Regelfall drei Dimensionen: CE-Akteur:innen (siehe Tabelle 1), zirkuläre Strategie (siehe Abbildung 3) und das Produkt-Service System (siehe Abbildung 6) (in Anlehnung an Hansen).

Produkt-Service Systeme, auch als „Product-as-a-Service“ bekannt, sind Modelle, bei denen Konsumenten kein Produkt, sondern vielmehr den Nutzen eines Produktes erwerben. Somit liegt der nachgefragte Wert vor allem in der verbundenen Dienstleistung und nicht mehr im Produkt selbst. Produkte und Verbrauchsmaterialien werden zu Kostenfaktoren in der Serviceerstellung. Dies führt zu einer Veränderung dahingehend, wie Unternehmen Wert schaffen, anbieten und lukrieren. Es wird

häufig zwischen produkt-, nutzungs- und ergebnisorientierten Produkt-Service-Systemen unterschieden. Bei produktorientierten Systemen wird das Produkt meist in Kombination mit einer Dienstleistung wie Beratung erworben, wohingegen bei nutzungsorientierten Systemen das Produkt nicht erworben, aber z.B. über Leasing oder Sharing genutzt wird. Bei ergebnisorientierten Systemen liegt der Fokus auf der Funktionalität des Produktes und weniger auf dem Produkt selbst (z.B. Chemicals-as-a-Service).

Abbildung 6: Produkt-Service-Systeme (Hansen Erik W. P., 2021, S. 31)



Ergebnisorientierten Produkt-Service-Systemen wird ein hohes Potenzial für die Kreislaufwirtschaft nachgesagt, sie erfordern aber eine radikale Änderung des Geschäftsmodells. Vor allem bei ergebnisorientierten Systemen liegt es im herstellereigenen Interesse, die Produktlebensdauer zu verlängern, das Produkt intensiv zu nutzen, auf eine kosten- und materialeffiziente Herstellung zu achten und Komponenten und Materialien nach Ende der Produktlebensdauer wiederzuverwenden. Laut Hansen besteht ein Zusammenhang zwischen dem Typ des Produkt-Service-Systems und der Digitalisierung bzw. ob und wie Unternehmen von digitalen Technologien profitieren können. Je dienstleistungsorientierter das Geschäftsmodell, desto mehr Verbindungen und Datenaustausch zwischen Herstellern, Nutzern und Produkten braucht es. (Hansen Erik G., 2019, S. 31)

Kreislaufwirtschaft bringt **neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen** hervor. Beispiele sind etwa im produktorientierten Bereich User-Support, Service oder Reparatur. Produkt-Abonnements oder Sharing-Plattformen betreffen nutzungsorientierte Modelle, wohingegen Materialbanken für Sekundär-Materialien, Software-as-a-Service oder Abrechnungsdienstleistungen in den Modelltyp „Ergebnisorientiert“ fallen. An dieser Stelle sei beispielhaft die Aktivitäten seitens Thomas Jakl, BMK, zur aktiven Unterstützung, Verbreiterung und Umsetzung von Chemical Leasing³, siehe auch (Jakl Thomas, 2007).

Expert:innen sehen in der zunehmenden **Digitalisierung** einen großen Treiber für die Kreislaufwirtschaft, denn im Idealfall werden nicht nur Materialströme im Kreis geführt, sondern auch Informati-

³ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK): https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/chemiepolitik/chemleasing.html%20abgerufen, abgerufen am 20.10.2022, 9:10

onsströme, wie etwa beim digitalen Produktpass. Dieser liefert beispielsweise Informationen zu Herkunft, Materialzusammensetzung und eine Reparatur- oder Demontageanleitung. Er schließt Informationslücken und erlaubt die Zusammenarbeit von nicht aktiv kooperierenden, sich möglicherweise unbekanntem Teilnehmenden des zirkulären Wertesystems. Kritisch aber notwendig sind zusätzlich dazu frei verfügbare, nutz- und modifizierbare technische Produktdokumentationen.

Smarte Produkte, Komponenten und Materialien, bei denen beispielsweise der Zustand des Produktes mittels Sensoren erfasst wird, ermöglichen die Erschließung neuer zirkulärer Wertangebote. Ihre Digitalisierung trägt im Sinne der Kreislaufwirtschaft bei zu:

- Kontroll- und Standortverfolgungsdiensten
- Entscheidungen zur Nutzungsoptimierung
- Optimierung von Wiederverwendungsaktivitäten
- Verfolgung von Nutzungszyklen und Leistungsdaten
- Vorausschauende Wartung, Vorhersage von Ausfällen und optimiertes Ersatzteilmanagement
- Abschätzung der Restnutzungsdauer
- Automatische Sortierung nach Materialzusammensetzung
- Optimierung von Recyclingprozessen

Smarte Produkte sind über eine IT-Infrastruktur mit dem Hersteller und/oder dem Dienstleister (z.B. bei Pay-per-Use Modellen) verbunden. Digitale Technologien schließen Informationslücken, zeigen Verbesserungsmöglichkeiten im Prozess-, Produkt- und Komponentendesign auf und ermöglichen die Implementierung innovativer Geschäftsmodelle. Doch sind potentielle Reboundeffekte von digitalen Technologien nicht zu unterschätzen. Das heißt, dass der Einsatz von digitalen Technologien zu einem erhöhten Ressourcenverbrauch führen kann, was wiederum die Effizienzsteigerung abgeschwächt oder sogar neutralisiert.

5.1.3. Treiber und Barrieren

Die in der Folge dargestellten Treiber und Barrieren entstammen den geführten Expert:inneninterviews. Die Basis für wettbewerbliche Nachteile auf Akteursebene hingegen bildet (Hansen Erik W. P., 2021).

Treiber der Kreislaufwirtschaft finden sich auf unterschiedlichen Ebenen:

- Wahrgenommener Wettbewerbsvorteil seitens des Herstellers
ökonomischer Mehrwert durch Ressourceneinsparung, Erschließung neuer Märkte durch neue Dienstleistungsmodelle, resilienter durch die Reduzierung der Abhängigkeit von Primärrohstoffen und damit verbundenen Lieferkettenproblemen, unabhängiger von geopolitischen Gegebenheiten, Vorreiterrolle durch verstärkte Innovationskraft, höhere Attraktivität als Arbeitgeber, bessere Kundenbindung
- Kundenseitige Nachfrage
Beginnend mit der Textilbranche erfahren auch in anderen Branchen nachhaltige Produkte eine immer stärkere Nachfrage. Öffentliche Hand als Pionier-Kunde von kreislauffähigen Lösungen (Stichwort: green procurement)

- **Rechtliche Rahmenbedingungen**
Regulierung und Verordnungen, die Hersteller und/oder Konsumenten zu nachhaltigem Verhalten verpflichten, Qualitätsstandards für Produkte und Prozesse, Anreize durch Subventionen/Steuerbefreiungen
- **Digitalisierung**
Bindeglied zwischen den Teilnehmenden einer Kreislaufwirtschaft, ermöglicht den Austausch von Daten und unterstützt Transparenz und Zusammenarbeit, ermöglicht neue Geschäftsmodelle und Produkt- und Prozessinnovationen, verbessert Nutzungs- und Kundenverständnis, erlaubt die Entwicklung neuer Arbeitsweisen

Zahlreiche **Hindernisse** erschweren die Umsetzung von zirkulären Geschäftsmodellen. Weit verbreitet ist ein mangelndes Bewusstsein bei Unternehmen, was Kreislaufwirtschaft konkret bedeutet, welche Strategien zu entwickeln sind und welche Wichtigkeit dem Produkt-Design beigemessen werden muss. Außerdem sind hohe Investitionskosten in Infrastruktur und Personal schwer abbildbar und oft wird der ökonomische Mehrwert nur unzureichend erkannt. Als erschwerend erweisen sich zusätzlich die Intransparenz der Lieferkette, der Aufbau von gegenseitigem Vertrauen und das Entwickeln eines gemeinsamen Werteverständnisses. Einheitliche regulatorische Rahmenbedingungen würden eine große Orientierungshilfe bedeuten, doch sind diese meist nicht oder nur unzureichend vorhanden. Auf technischer Seite sind es unzureichende Datenverfügbarkeit, fehlende Datentransparenz und Datensicherheit, die die Entwicklung von Datenkreisläufen erschweren. Weitere Einflussfaktoren finden sich im Kapitel 5.4.

Bei Betrachtung einzelner zirkulärer Strategien lassen sich **wettbewerbliche Nachteile** oder allgemeine Hindernisse auf Akteursebene identifizieren. Hansen hat ein Rahmenmodell für Barrieren in zirkulären Geschäftsmodellen entwickelt (Hansen Erik W. P., 2021, S. 39), bei dem die wechselseitigen Beziehungen zwischen Anbieter:innen (Lieferanten, Produzent, Einzelhändler, Reparaturanbieter, Logistikanbieter, etc.), Nutzer:innen und dem Produkt und den damit verbundenen Dienstleistungen dargestellt werden. Exemplarisch werden in der Folge die Hindernisse bei der Wiederproduktion beleuchtet (Hansen Erik W. P., 2021, S. 52).

Tabelle 2: Hindernisse Wiederproduktion (Hansen Erik W. P., 2021, S. 52)

Kategorie	Hindernisse Wiederproduktion
Anbietende	<ul style="list-style-type: none"> • Mögliche Kannibalisierungseffekte durch preisgünstige wiederaufbereitete Produkte • Fehlendes Wissen (Zeitpunkt, Qualität, Menge) über Produktrückflüsse • Zugang zu Ersatzteilen und Lagerkosten • Schwierigkeiten beim Zugang zu Finanzmitteln • Hohe Leistungserwartung
Produkt / Dienstleistung	<ul style="list-style-type: none"> • Produktdesign stark vom OEM beeinflusst (hat die Macht Wiederaufarbeitung und Weitervertrieb zu verhindern) • Produktdesign ist auf Anfangsnutzen von Nutzern sowie Preis und Bequemlichkeit optimiert, statt auf Wiederproduktion • Unvorhersehbare Produktleistung, Zustand, Qualität

Kategorie	Hindernisse Wiederproduktion
	<ul style="list-style-type: none"> • Schneller Preisverfall durch beschleunigte Innovationszyklen (z. B. Smartphones oder Produktionsmaschinen)
Nutzende	<ul style="list-style-type: none"> • In wettbewerbsintensiven und innovativen B2B-Märkten bieten neueste Produkte / Ausrüstungen die höchste Wettbewerbsfähigkeit • Erwarten einen signifikanten Preisunterschied im Vergleich zu neuen Produkten • Gebrauchte Produkte sind trotz angebotener Garantien und Qualitätsversprechen derzeit weniger attraktiv
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Fehlende Gesetzgebung, die Anreize zur Wiederproduktion schafft und diese durchsetzt • Machtasymmetrien zwischen den Akteur:innen des Unternehmensnetzwerks • Beschleunigte Innovationszyklen wirken langen Produktlebenszyklen entgegen

Für die Betrachtung der Hindernisse weiterer zirkulärer Geschäftsmodelle wie Wartung und Upgrading, Reparatur, Wiederverwendung und Recycling sei auf (Hansen Erik W. P., 2021), Kapitel 5, verwiesen.

Wie in der **Österreichischen Kreislaufwirtschaftsstrategie** (Bundesministerium für Klimaschutz, 2022) festgehalten, sind für eine Transformation des linearen Wirtschaftssystems hin zur Kreislaufwirtschaft völlig neue technologische Ansätze, innovative Geschäftsmodelle, systemisches interdisziplinäres Denken, enge Vernetzung der Akteure und verbessertes Informationsmanagement notwendig. Dies erfordert einen Paradigmenwechsel in Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und der Gesellschaft. Es ist ein breites Spektrum an politischen Lenkungsinstrumenten notwendig, um die Implementierung der Kreislaufwirtschaft aus einer Systemperspektive heraus voranzutreiben.

5.2. Welche Rolle digitale Schlüsseltechnologien für die Kreislaufwirtschaft spielen

In diesem Kapitel werden die Bedeutung von und das Verständnis für digitale Daten, digitale Schlüsseltechnologien und Datenkreisläufe in einer smarten Kreislaufwirtschaft behandelt.

Um für eine kreislaufbasierte Produktion den Einsatz von Ressourcen (z.B.: Primär- bzw. Sekundär-Rohstoffe, elektrische Energie, Maschinen, etc.) zu optimieren, müssen Daten und Informationen über alle Phasen des Produktlebenszyklus vorhanden sein. Um diese Information in großen Mengen interpretieren und verarbeiten zu können, ist die digitale Form dieser Daten unumgänglich.

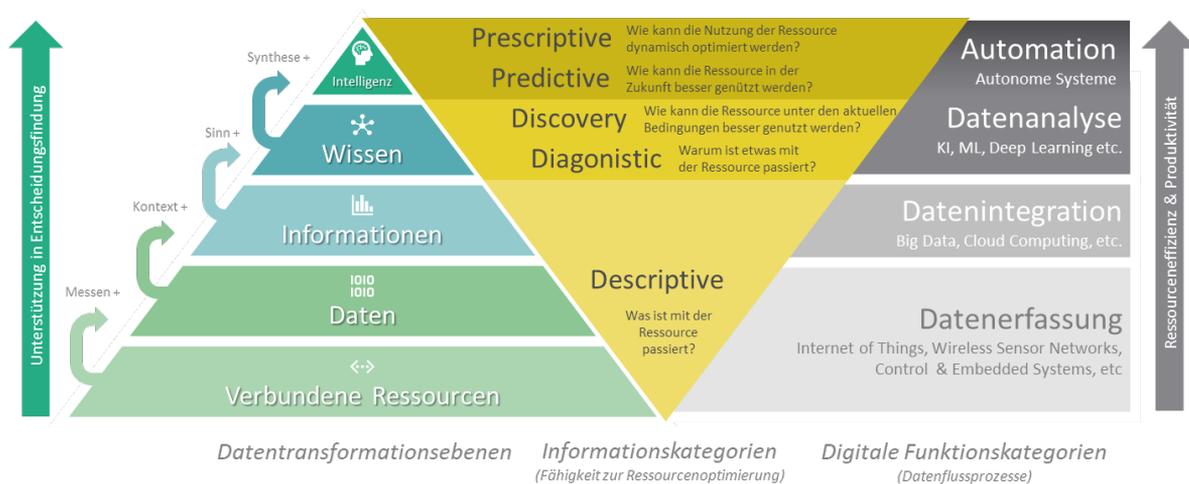
5.2.1. Digitale Daten

Eine wichtige Rolle bei der Umstellung der Linearwirtschaft auf Kreislaufwirtschaft spielt die Nutzung von digitalen Daten. Diese sind essenziell, um Design- und Produktionsprozesse zu optimieren, Materialströme zu verfolgen oder die Wiederverwendung von Materialien zu erleichtern.

Den Zusammenhang der Transformation von aufgezeichneten Daten in Informationen, Wissen oder gar Intelligenz mit Informations- und digitalen Funktionskategorien zeigt Abbildung 7. Verbundene Ressourcen wie etwa IoT fähige Maschinen oder Produkte ermöglichen die Datengenerierung bzw. -sammlung über den Produktlebenszyklus hinweg. Die dabei erfassten Rohdaten, können ohne Kontext nur geringfügig interpretiert werden. Ist dieser vorhanden, so kann von Informationen gesprochen werden. Wissen repräsentiert die Transformation von Informationen zu ausführbaren Anweisungen oder wertvollen Erkenntnissen. Die Kombination von Wissen mit interaktiven Entscheidungsfindungen und autonomen Handlungen kann als Intelligenz bezeichnet werden. Die digitale Sichtweise dieser Datentransformation kann in digitale Funktionskategorien gegliedert werden - Datenerhebung, Datenintegration, Datenanalyse und Automation. Während die Datenerfassung und -integration die Daten nur beschreiben und darstellen, ermöglicht die fortschreitende Datenanalyse einen immer tiefer werdenden Einblick in die Daten. Wird die Datenanalyse oder Handlungen, die darauf basieren automatisiert, so stellt die Automation die höchste Stufe der Datenverarbeitung dar.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Die Datentransformationsebenen (grün) zeigen, wie Daten in Informationen, Wissen und Intelligenz transformiert werden. Die digitalen Funktionskategorien (grau) bilden den entsprechenden digitalen Bereich ab (von Datenerfassung über Datenintegration und -analyse bis zur Datenautomation). Die Informationskategorien (gelb) beschreiben die Art und Weise des Einblicks in die Daten, welche in weiterer Folge zur Ressourcenoptimierung herangezogen werden (von Descriptive über Diagnostic und Discovery bis zu Predictive und Prescriptive).

Abbildung 7: Datentransformationsebenen und digitale Funktionskategorien, basierend auf (Kristoffersen Eivind, 2022, S. 248)



Im Folgenden werden die in Abbildung 7 dargestellten digitalen Funktionskategorien näher beschrieben und auf den Zusammenhang mit der Fähigkeit zur Ressourcenoptimierung (Informationskategorien) eingegangen werden. Diese Kategorisierung findet sich sowohl bei der in Kapitel 5.2.3 abgebildeten Technologiematrix sowie bei den Technologieprofilen in Kapitel 10 wieder.

Digitale Funktionskategorien

Die Verarbeitung digitaler Daten kann durch vier digitale Funktionskategorien beschrieben werden:

1. Datenerfassung (Erhebung)
2. Datenintegration (Organisieren, Teilen & Darstellen)
3. Datenanalyse (Überwachen, Verfolgen, Erkennen, Bewerten, Vorhersagen, Optimieren)
4. Automatisierung (Sortieren & Klassifizieren, automatisch Kontrollieren, automatisch Planen)

Die **Datenerfassung** (Data collection) liefert die Rohdaten, wie etwa Betriebsparameter wie Temperatur, Druck oder Stromverbrauch. Die Daten beschreiben, was gerade mit einer Ressource passiert. Sensoren spielen eine Schlüsselrolle bei der Generierung von Rohdaten.

Die **Datenintegration** (Data integration) extrahiert Informationen aus den Rohdaten durch Aggregation, Interpretation, Auswahl und Sortierung wie es z.B. bei Cloud-Computing der Fall ist. Die Darstellung dieser Informationen ist eine wesentliche Funktion der Datenintegration. Es ist möglich, mit den Informationen Abläufe zu beschreiben.

Die **Datenanalyse** (Data analysis) ist der nächste Schritt in der Datenverarbeitung, bei dem Methoden und Werkzeuge verwendet werden, um Muster, Trends und Zusammenhänge in den Daten zu erkennen. Das Trainieren von Künstlicher Intelligenz hilft das Erkennen dieser Muster deutlich zu beschleunigen. Die Erkenntnisse werden etwa verwendet, um Prognosemodelle zu erstellen und Entscheidungen, auf der Grundlage von zur Verfügung stehenden Daten, zu treffen. Die Datenanalyse ermöglicht es zu ergründen, warum etwas mit einer Ressource passiert ist. Mit Prognosemodellen ist es möglich, Trends und wahrscheinliche Ereignisse in der Zukunft zu identifizieren. Vorausschauende Fragestellungen wie „Was wäre, wenn...?“ können hier durch Simulationen z.B.: Digital Twins beantwortet werden.

Die **Automation** (Data automation) stellt die höchste Ebene der Datenverarbeitung dar, bestehend aus Technologien wie Automatisierung und Robotik. Sie bezieht sich auf den unabhängigen Prozess des Betriebs, des Handelns oder der Selbstregulierung ohne menschliches Eingreifen. Automatisierung ermöglicht unter anderem eine dezentrale Entscheidungsfindung, Selbstkonfiguration und Selbstoptimierung. Automatisierungsfunktionen (Sortieren und Klassifizieren, Selbstkontrolle und selbständiges Planen) sind eine Möglichkeit, die Ergebnisse der Datenanalyse anzuwenden, wenn Maschinen selbstständig Wissen in umsetzbare Anweisungen oder Aktionen umwandeln können. (Qinglan Liu, 2021, S. 2180-2181)

Informationskategorien

Je höher die Daten transformiert und je weiter die Daten im Datenflussprozess geführt werden, desto stärker wird der dadurch gewonnene Einblick und Informationsgehalt für die Entscheidungsfindung und damit die Fähigkeit zur Ressourcenoptimierung (Informationskategorien). Diese kann in folgende fünf Stufen gegliedert werden:

- **Descriptive:** Deskriptive Analytik ermöglicht Einsicht in Daten und zeigt, was mit einer Ressource passiert ist, aber nicht, warum es passiert ist. Es ist der Prozess des Beschreibens und Aggregierens der Daten, um sie danach in einen Kontext zu bringen und beispielsweise zu visualisieren.
- **Diagnostic:** Diagnostic baut auf den Informationen auf, die auf dem beschreibenden Niveau (descriptive) gesammelt wurden, um die Gründe hinter den Ereignissen und Verhaltensweisen aufzudecken. Es geht darum, die Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu identifizieren und bestehendes Wissen zu vertiefen.
- **Discovery:** Durch Trendanalysen und Clustering wird versucht ein tieferes Verständnis zu generieren, warum es zu bestimmten Ereignissen gekommen ist. Das Problem der großen Datenmengen im Bereich IoT und Big Data wird durch den Einsatz von Schlussfolgerungen und Extraktion von Wissen aus Informationen und Daten adressiert.
- **Predictive:** Prädiktive Analytik ermöglicht die Vorhersage und Wahrscheinlichkeit von zukünftigen Ereignissen und Trends. Auf Basis von historischen Daten und Domänen-Know-How können Modelle entwickelt werden, die Aussagen über die zukünftige Entwicklung von relevanten Parametern zulassen.
- **Prescriptive:** Präskriptive Analytik befasst sich mit der Vorhersage, wie sich verschiedene Handlungen auf ein Ergebnis auswirken. Es dient damit als Entscheidungshilfe, um gewünschte Ergebnisse zu erreichen. Mit Hilfe von Simulationen und Modellen können Was-wäre-wenn-Fragestellungen beantwortet werden, um so proaktiv Handlungsoptionen zu evaluieren.

Im folgenden Kapitel werden digitale Technologien eingeführt und den Funktionskategorien zugeordnet.

5.2.2. Digitale Schlüsseltechnologien

Als digitale Schlüsseltechnologien in der Kreislaufwirtschaft kommen jene digitalen Technologien in Frage, welche die Ziele der Kreislaufwirtschaft in ihrer Einsatzbreite und Wirksamkeit am weitreichendsten unterstützen. Der Einsatzbereich erstreckt sich einerseits über die Akteure der Kreislaufwirtschaft (z.B. Rohstofflieferant:in, Produzent:in, Nutzer:in, etc.) und andererseits über die wesentlichen Phasen der Kreislaufwirtschaft (intelligentes Design und Herstellung, verlängerte Lebensdauer von Produkten, Wiederverwendung von Materialien).

Das Studienteam identifizierte 20 digitale Schlüsseltechnologien. In Tabelle 3: werden diese aufgelistet und den entsprechenden digitalen Funktionskategorien (siehe Kapitel 5.2.1) zugeordnet. Nach einer Kurzbeschreibung der einzelnen Technologien folgt in Kapitel 5.2.3 eine Bewertung hinsichtlich ihres Einsatzes zur Unterstützung und Verbesserung von zirkulären Strategien.

Tabelle 3: 20 digitalen Schlüsseltechnologien mit Kategorisierung in digitale Funktionskategorien (eigene Darstellung)

Digitale Funktionskategorien	Digitale Technologie
Datenerfassung Data collection	<ul style="list-style-type: none"> • Industrial Internet of Things (IIoT) • Edge Computing
Datenintegration	<ul style="list-style-type: none"> • RFID

Digitale Funktionskategorien	Digitale Technologie
Data integration	<ul style="list-style-type: none"> • NFC • Digital Product Passport • Big Data • Cloud Computing • Distributed Ledger Technologies (DLT) • Industrial Blockchains • Cyber Security • Augmented Reality (AR) • Virtual Reality (VR)
Datenanalyse Data analysis	<ul style="list-style-type: none"> • Data Analytics • Artificial Intelligence • Machine Learning • Predictive Systems • Digital Twin
Automation Data automation	<ul style="list-style-type: none"> • Robotics Automation • Autonomous Systems • Online Platforms & Matchmaking Systems

Datenerfassung – Erheben von Daten:

- **Industrial Internet of Things (IIoT)** – Industrielle IoT-Sensoren können zur Überwachung der Nutzung und Leistung von Produkten, Geräten und Anlagen eingesetzt werden, um die Ressourcennutzung zu optimieren, Fernwartung zu ermöglichen und Möglichkeiten zur Reparatur oder Wiederverwendung zu ermitteln.
- **Edge Computing** – Edge Computing ist ein Konzept für Internet of Things - Umgebungen, bei dem IT-Ressourcen wie Speicherkapazität und Rechenleistung so nah wie möglich an den datenerzeugenden Geräten und Sensoren bereitgestellt werden. Es wird bei hohen Datenübertragungsbedarf, geringen Bandbreiten, schlechter Konnektivität, oder bei hohen Datensicherheitsanforderungen eingesetzt. Das Konzept ist eine Alternative zu Cloud-Lösungen mit zentralen Servern.

Datenintegration – Kuratieren von Daten:

- **NFC** – Near Field Communication (NFC) ermöglicht eine Zwei-Wege-Kommunikation über eine kurze Distanz von ca. 10 cm und erfordert eine Aktion des Benutzers. NFC wird z. B. für kontaktlose Zahlungen, Zugangskontrollen und Datenübertragung eingesetzt.
- **RFID** – Radio Frequency Identification (RFID) ist eine kontaktlose Einweg-Kommunikationsmethode. Aktive RFID-Tags eignen sich, aufgrund ihrer großen Lesereichweite, für viele Branchen, in denen die Ortung oder das Tracking von Objekten wichtig ist, z.B. in der Logistik.

- **Digital Product Pass** – Der digitale Produktpass ist eine eindeutige Produktkennzeichnung und enthält Informationen über die Schöpfung von Rohstoffen, verwendeten Materialien und Chemikalien, Produkteigenschaften, Herstellungsinformationen, Lebenszyklusinformationen, sowie Reparatur- und Demontageanleitungen eines bestimmten Produktes, um die Informationstransparenz für Kunden und Wertschöpfungsakteure zu erhöhen.
- **Big Data** – „Big Data“ (Massendaten) umfasst Datenmengen, die zu groß, zu komplex, zu schnelllebig, oder zu schwach strukturiert sind, dass man sie mit herkömmlicher Soft- und Hardware auf den klassischen Wegen und Methoden der Datenverarbeitung nicht mehr auswerten kann.
- **Cloud Computing** – Bei Cloud Computing werden Applikationen nicht mehr auf lokalen Geräten ausgeführt, sondern laufen als Applikationen im Internet. Cloud-Computing erlaubt es Unternehmen ihren Anforderungen entsprechende Rechenleistung in Anspruch nehmen zu können und diese zu mieten. Hierbei werden folgende drei Service-Modelle verwendet: Infrastructure-as-a-Service (IaaS), Platform-as-a-Service (PaaS) oder Software-as-a-Service (SaaS).
- **Distributed Ledger Technology** – Distributed Ledger Technologien (DLT) sind digitale Systeme, die es mehreren Parteien ermöglichen, Daten auf sichere und transparente Weise aufzuzeichnen und auszutauschen. Mit Hilfe von Distributed Ledger-Technologien lassen sich Herkunft und Bewegung von Materialien in Lieferketten verfolgen. Sie ermöglichen hohes Vertrauen in die Datenqualität sowie eine hohe Datenverfügbarkeit durch ihre dezentrale Speicherstruktur.
- **Industrial Blockchains** – Industrial Blockchains sind eine spezielle DLT mit verteilten Datenregistern, die auf eine bestimmte Gruppe von Teilnehmern, z. B. ein Konsortium von Unternehmen, beschränkt und nicht öffentlich zugänglich ist. Die Daten werden dabei chronologisch aneinandergereiht und verkettet gespeichert. Die Verifikation der Daten durch jeden Teilnehmer des Datennetzwerks schafft hohes Vertrauen in die Datenintegrität.
- **Cyber Security** – Cyber Security bezieht sich auf die Maßnahmen, die ergriffen werden, um Computersysteme, Netzwerke und Geräte vor digitalen Angriffen, Datenverletzungen und anderen Arten von Cyber-Bedrohungen zu schützen. Im Gegensatz zu Cyber Security bezieht sich Cyber Safety auf den Schutz von Einzelpersonen und deren persönlichen Daten.
- **Augmented Reality (AR)** – AR ist eine Technologie, die es ermöglicht, digitale Inhalte in der realen Welt zu betrachten und mit ihnen zu interagieren. Dabei werden digitale Informationen oder Grafiken über die Sicht einer Person auf die reale Welt gelegt. AR kann zur Bereitstellung von Wartungs- und Reparaturanweisungen verwendet werden, wodurch der Bedarf an physischem Training verringert und die Reparatur von Produkten anstelle ihres Austauschs ermöglicht wird.
- **Virtual Reality (VR)** – VR ermöglicht es den Menschen, vollständig in eine rein fiktive virtuelle Welt einzutauchen. Dabei wird eine spezielle Ausrüstung verwendet, um die sensorischen Erfahrungen einer Person so zu simulieren, als wäre die virtuelle Welt real. VR kann zur digitalen, virtuellen Produktentwicklung eingesetzt werden und so den Materialeinsatz für Prototypen und Produktionsfehlern minimieren.

Datenanalyse – Analysieren von Daten

- **Data Analytics** – Unter Data Analytics versteht man die Untersuchung von Daten, um Muster und Trends zu erkennen, die für die Entscheidungsfindung von Bedeutung sind. Dabei werden Tools und Techniken wie statistische Analysen, Datenvisualisierung und maschinelles Lernen eingesetzt, um große Datensätze sinnvoll zu nutzen. Big Data Analytics hilft Unternehmen fundiertere Entscheidungen zu treffen, Geschäftsprozesse zu optimieren und sich Wettbewerbsvorteile auf ihren jeweiligen Märkten zu verschaffen.

- **Artificial Intelligence** – Künstliche Intelligenz (KI) ist ein übergreifender Begriff und befasst sich mit Computermodellen und -systemen, die menschenähnliche kognitive Funktionen wie logisches Denken und Lernen ausführen. KI-Software ist in der Lage, aus Erfahrungen zu lernen, was sie von herkömmlicher Software unterscheidet, die vorprogrammiert und deterministisch ist.
- **Machine Learning** – Maschinelles Lernen (ML) ist eine Form der künstlichen Intelligenz, die es Computern ermöglicht, zu lernen und ihre Leistung bei einer bestimmten Aufgabe zu verbessern, ohne ausdrücklich programmiert zu werden. Es wird damit ein Softwaremodell trainiert, um z.B. nützliche Vorhersagen für bestimmte Datensätze zu treffen.
- **Predictive Systems** – Prädiktive Systeme sind computergestützte Systeme, die Daten, statistische Algorithmen und Techniken des maschinellen Lernens nutzen, um Vorhersagen über zukünftige Ergebnisse zu treffen. Diese Vorhersagen beruhen auf Mustern und Trends in den Daten. Das Ziel ist es, diese Informationen zu nutzen, um Entscheidungen zu treffen oder Maßnahmen zu ergreifen, die die Ressourcennutzung optimieren und Möglichkeiten zur Abfallreduzierung, Reparatur und Wiederverwendung ermitteln.
- **Digital Twins** – Digitale Zwillinge sind virtuelle Abbilder von realen Maschinen, Produkten oder Prozessen. Digitale Zwillinge können das tatsächliche Verhalten von Anlagen simulieren, vorausrechnen oder in Echtzeit parallel zum Fertigungsprozess nicht messbare Prozessgrößen erfassen und Abweichungen vom Sollwert ermitteln. Ein aktiver digitaler Zwilling ermöglicht darüber hinaus bi-direktionalen Datenaustausch zwischen realem Prozess und virtuellem Modell.

Automation – Automatisierung des Datenflusses

- **Robotic Automation** – Unter Robotic Automation versteht man den Einsatz von Robotern zur Automatisierung von Aufgaben, die normalerweise von Menschen ausgeführt werden. Automatisierungsroboter können auch so programmiert werden, dass sie Entscheidungen treffen und sich an veränderte Bedingungen anpassen, was sie für eine Vielzahl von Anwendungen nützlich macht.
- **Autonomous Systems** – Autonome Systeme sind Systeme, die in der Lage sind, selbstständig zu arbeiten und Aufgaben auszuführen, ohne dass ein Mensch eingreifen oder sie überwachen muss. Diese Systeme treffen Entscheidungen und passen sich an veränderte Bedingungen an. Sie werden häufig zur Ausführung von Aufgaben eingesetzt, die für Menschen gefährlich, schwierig oder unpraktisch sind. Autonome Systeme kommen in einer Vielzahl von Anwendungen zum Einsatz, unter anderem im Transportwesen oder in der Fertigung.
- **Online Platforms** – Online-Plattformen sind Websites oder Anwendungen, in denen Informationen oder Waren und Dienstleistungen ausgetauscht werden können. Beispiele dafür sind Soziale Medien, Online-Marktplätze, E-Commerce-Websites, und Plattformen zur gemeinsamen Nutzung von Ressourcen. Hierfür werden oft auch Matchmaking-Methoden eingesetzt, z.B. Recommender-Systeme, um Nachfrage und Angebot zusammen zu führen.

Die Datenspeicherung und Datenübertragung ist Bestandteil aller digitalen Funktionskategorien, weshalb sie nicht separat behandelt werden. Im Sinne der Informationskategorien liefern weder die Datenspeicherung noch die Datenübermittlung einen höheren Informationsgehalt der Daten.

Grundsätzlich ermöglicht der Einsatz von digitalen Technologien (DT), analoge Unternehmensprozesse, Produkte und Dienstleistungen digital abzubilden, standardisiert zu speichern und zu verwen-

den oder automatisiert weiterzuverarbeiten. Die digitalisierte Arbeitswelt erlaubt es den Unternehmen, nicht nur die Effizienz und Profitabilität ihrer Produktionsprozesse zu steigern, sondern bietet gleichzeitig die Möglichkeit zur Einführung von ergebnisorientierten Produkt-Service-Systemen, eines der Hauptziele der Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft. (Chetna Chauhan, 2022, S. 10)

5.2.3. Digitale Technologien in der Kreislaufwirtschaft

Werden digitale Schlüsseltechnologien den R-Strategien der Kreislaufwirtschaft gegenübergestellt, so erhält man eine Technologiematrix (siehe Abbildung 8). Jedes dieser Schnittfelder stellt ein Anwendungsfeld der Technologie für die zirkuläre Strategie dar. Das Potential eines Anwendungsfeldes wurde über die Ergebnisse der Workshops sowie den recherchierten Anwendungsfällen bewertet. Beispielsweise hat die Technologie Predictive Systems hohen Einfluss auf Reparatur und Instandhaltung von Produkten, während sie für die Materialrückgewinnung des selbigen Produktes weniger nützlich ist. Umgekehrt ist ein Digitaler Produktpass sehr gut geeignet am Ende eines Produktlebenszyklus wichtige Informationen für das Recycling bereitzustellen. Er hilft jedoch weniger, wenn es darum geht den Produktnutzen anders oder neu zu gestalten.

Abbildung 8: Technologiematrix (eigene Darstellung)

	Data collection		Data integration							Data analysis / Automation						
	Industrial IoT	Edge Computing	RFID / NFC	Digital Product Passport	Big Data	Cloud Computing	DLT & Industrial Blockchain	Cyber Security	AR / VR	Data Analytics	AI & Machine Learning	Predictive Systems	Digital Twin	Robotic Automation	Autonome Systeme	Online Plattformen & Matchmaking Technologien
Refuse (Vermeiden)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Rethink (Neudenken)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Reduce (Reduzieren)	○	○	○	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○
Re-use (Wiederverwenden)	○	○	●	○	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	●
Repair (Reparieren, Instandhalten)	●	●	○	●	○	○	○	○	●	○	○	●	●	○	○	●
Refurbish (Auffrischen)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Remanufacturing (Neufertigen)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	●
Repurpose (Umfunktionieren)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Recycle (Wiederverwerten)	○	○	●	●	○	○	○	○	○	●	●	○	○	●	●	○
Recover (Rückgewinnung)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Potential

- hoch
- mittel
- niedrig

Die Potentialbewertung einer Technologie auf eine R-Strategie zeigt dabei die Fähigkeit einer digitalen Technologie die Ziele der Kreislaufwirtschaftsstrategie (Reduktion des Ressourcenverbrauchs, Steigerung der Ressourcenproduktivität, Steigerung der Zirkularitätsrate, Reduktion des materiellen Konsums) (Bundesministerium für Klimaschutz, 2022) zu erreichen bzw. zu ermöglichen.

Die Technologiematrix sowie das Potential der digitalen Technologien auf Kreislaufwirtschaftsbestrebungen sind zentrale Ergebnisse dieser Studie und ausführlich in Technologieprofilen zusammengefasst. Exemplarisch wird in der Folge ein Technologieprofil dargestellt. Die übrigen Technologien mit zahlreichen Anwendungsbeispielen sind im Anhang (Kapitel 10) enthalten.

Technologieprofile

Die identifizierten Schlüsseltechnologien wurden in die Bereiche Informationskategorie, Kreislaufwirtschaftsakteure, Zirkuläre Phasen und Strategien, Anwendungsbereiche, Barrieren, Handlungsfelder, Verwendung und aktuelle Fallbeispiele gegliedert. Exemplarisch ist das Technologieprofil der Künstlichen Intelligenz (KI) und Maschinelles Lernen (ML) angeführt (siehe Abbildung 9).

- **Informationskategorie:** Künstliche Intelligenz wird vor allem in der Datenanalyse eingesetzt und kann für diagnostische (Warum ist etwas passiert?) bis hin zu präskriptiver Analytik (Was wird passieren, wenn?) eingesetzt. Die Informationen, die durch den Einsatz von KI erzeugt werden, können dafür verwendet werden um z.B. Vorschläge für eine optimale Produktnutzung zu liefern.
- **Technologiezuordnung:** Die Akteure der Kreislaufwirtschaft können Künstliche Intelligenz einsetzen, um die Gestaltung, Herstellung, Nutzung oder Wiederverwendung von Produkten im Sinne der Kreislaufwirtschaft zu optimieren. Die dreistufige Potentialbewertung (strichlierter Kreis = niedrig, Kreis = mittel, Punkt = hoch) erfolgte durch das Studienteam auf Basis der jeweiligen Anwendungsfälle. Sie stellt dar, wie hoch der Einfluss einer Technologie, bezogen auf die Kreislaufwirtschaftsphasen, für einen Kreislaufwirtschaftsakteur ist.
- **Anwendungsbeispiele:** Die Anwendung der Technologie, innerhalb der zirkulären Phasen bezogen auf die R-Strategien, bietet jedem Akteur die Möglichkeit seinen Einfluss auf weniger Ressourceneinsatz, längere Nutzung oder Wiederverwendbarkeit der Materialien zu leisten. Ein Maschinenhersteller könnte, durch Erkenntnisse aus der Nutzungsphase, dynamische Preismodelle anbieten und so einen Anreiz für ein mietbasiertes Geschäftsmodell schaffen. Dies reduziert nicht nur den Materialeinsatz in der Produktion, sondern den damit verbundenen Aufwand des Wertschöpfungsnetzwerkes. Im Recyclingbereich können autonome Robotersortieranlagen mit KI-unterstützter Bilderkennung ein schnelleres und besseres und Sortierergebnis erzielen und dabei die Gefahren für Menschen reduzieren.
- **Hindernisse:** Die Entwicklung einer speziellen KI erfordert Expertenwissen in der Anwendungsdomäne, die Entwicklung von mathematischen Modellen und Algorithmen, Softwaretools und Programmierkenntnisse, leistungsstarke Hardware sowie ausreichend Trainingsdaten, um die Modelle zu trainieren. Sind in Unternehmen derartige Ressourcen nicht vorhanden, so stellt dies eine Hürde für den Einsatz dar.
- **Handlungsfelder:** Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz ist nicht unumstritten und wirft Fragestellungen auf, zu denen es weiteren Handlungsbedarf gibt. Wie stellt man sicher das trainierte KI-Modelle keinen Bias (Vorurteile), aufgrund einseitiger Trainingsdaten, aufbauen? Dürfen KI-Modelle mit geschützten Trainingsdaten (z.B.: Bildmaterial) trainiert und verwendet werden? Sind Unternehmen auf die Umbrüche durch den Einsatz von KI ausreichend vorbereitet?
- **Verwendung:** Der Einsatz von digitalen Technologien wurde in der Online-Umfrage abgefragt und ist hier grafisch dargestellt, um einen Eindruck über die Technologieverwendung innerhalb der Studienteilnehmer:innen zu geben. Die Höhe des Potentials ergibt sich aus der Bewertung der dreistufigen Technologiezuordnung der einzelnen Akteure.

- **Beispiel:** Ein Erfolgsbeispiel, für den Einsatz von Einsatz von Künstlicher Intelligenz für die Kreislaufwirtschaft, ist das Projekt Accelerated Metallurgy. Darin werden KI-Algorithmen mit großen Datenmengen von bestehenden Materialien und deren Eigenschaften trainiert, um damit neue Legierungsrezepturen zu entwickeln. Durch die schnellen Feedbackschleifen bei der Datenanalyse können umweltfreundliche Legierungsdesigns verbessert werden.

Der gesamte Technologiekatalog mit allen Technologieprofilen ist in Kapitel 10 enthalten. Der Katalog besteht aus 15 verschiedenen Einzeltechnologien bzw. Technologiefeldern.

Abbildung 9: Technologieprofil Künstliche Intelligenz / Maschinelles Lernen (eigene Darstellung)

KI / ML

Künstliche Intelligenz ist ein übergreifender Begriff und befasst sich mit Computermodellen und -systemen, die menschenähnliche kognitive Funktionen wie logisches Denken und Lernen ausführen. KI-Software ist in der Lage, aus Erfahrungen zu lernen, was sie von herkömmlicher Software unterscheidet, die vorprogrammiert und deterministisch ist. Maschinelles Lernen bedeutet das Trainieren eines Softwaremodells, um nützliche Vorhersagen für bestimmte Datensätze zu treffen.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	○	Optimierung des Produktionsprozesses
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Dynamische Preismodelle
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	○	Schnellere, bessere, einzigartige und hocheffektive Produktdesigns, Entscheidungshilfe, Produkt-Service-Systeme
Einzelhandel und Servicestellen	●	●	○	Empfehlungssysteme, Zustand-Bewertungssysteme, Dynamische Preismodelle
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Predictive Maintenance
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Intelligente Assistenzsysteme, Entscheidungshilfen
Logistikdienstleister:in	●	●	○	Logistik und Reverse-Logistik Vorhersagen, Autonome Systeme
Recycler	○	○	●	Autonome Sortieranlagen mit Bilderkennung und Robotik
Vermittler:in	●	●	○	Matching Algorithmen für Sharing- oder Second-Hand-Plattformen, Zustandsbewertung von Second-Use Gütern

Hindernisse

Organisatorisch: Mangelnde KI-Kompetenzen, Fehlerhaftes Verständnis über KI-Fähigkeiten, Widerstand gegen die Einführung neuer Technologien, Risiko vorhandene Vorurteile zu verstärken

Technisch: Fehlende oder schlechte Trainingsdaten

Ökonomisch: Hohe Implementierungskosten für KMUs

Rechtlich: Erfüllung der Richtlinien und Regulierungen

Handlungsfelder

Politisch: Ethische Fragestellungen - Fairness und Inklusion von KI-Entscheidungen, Awareness-Bildung für Mächtigkeit von KI

Technologisch: Verstärkung unfairer Vorurteile (Bias), Nachweis der Entscheidungsfindung, Transfer Learning

Rechtlich: Datenschutz, Schutz des geistigen Eigentums, Verantwortung und Haftung

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus Europa

Accelerated Metallurgy nutzt KI-Algorithmen zur systematischen Analyse riesiger Datenmengen über bestehende Materialien und deren Eigenschaften, um neue Legierungsrezepturen zu entwickeln und zu testen. Durch die Erfassung von Details der chemischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften dieser unerforschten Legierungen können die Algorithmen wichtige Trends in Struktur, Prozess und Eigenschaften abbilden, um ein umweltfreundliches Legierungsdesign durch schnelle Feedbackschleifen zu verbessern.

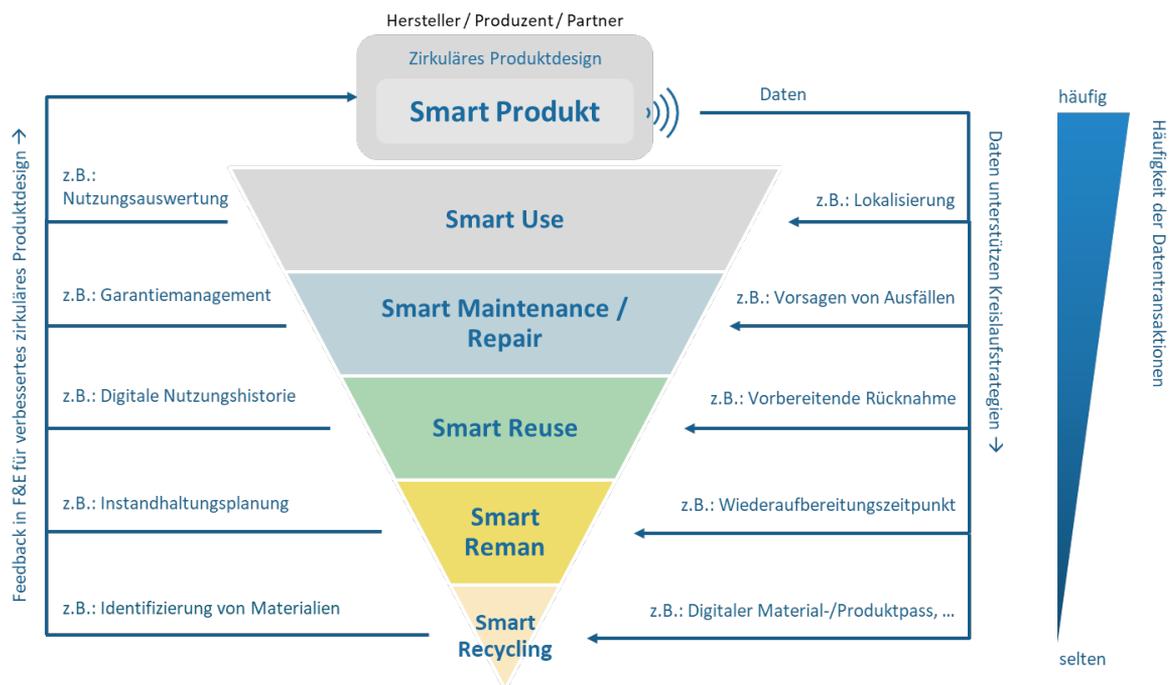
<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>

5.2.4. Datenkreisläufe in der Kreislaufwirtschaft

Eine moderne digitale Kreislaufwirtschaft schließt auch den Datenkreislauf mit ein. Digitale Technologien erlauben den Akteuren der Wertschöpfungskette (Hersteller, Anbieter und Wertschöpfungspartner), Daten auszutauschen und gemeinsam zu nutzen und einen Datenkreislauf zu ermöglichen.

Werden Daten über die Produktnutzung hinaus für die Verbesserung des gesamten Produktlebenszyklus verwendet (siehe Abbildung 10), kann von digitalen Kreislaufstrategien gesprochen werden. Beispiele dafür sind: Smart Maintenance & Repair, Smart Reuse, Smart Remanufacturing, und Smart Recycling.

Abbildung 10: Smarte Kreislaufwirtschaftsstrategien, in Anlehnung an (Hansen Erik R. F., 2020, S. 13)



Bei der Verwendung eines smarten Produktes werden Nutzungsdaten generiert, die an den Hersteller zurückgesendet werden können (Smart Use) z.B. die Standortdaten von verliehen Baumaschinen. Der Hersteller erlangt dadurch Einblicke in die Produktnutzung und kann z.B. Verleihstandorte für geringe Transportwege optimal positionieren oder zielgerichtete Verbesserungen am Produktdesign vornehmen. Ist das Produkt mit einer digitalen Zustandsüberwachung ausgestattet, so können Vorhersagen von Ausfällen oder Reparaturzeitpunkten ermöglicht werden (Smart Maintenance/Repair). Der Hersteller:in bzw. Verleiher:in kann somit Instandhaltungsaktivitäten planen oder auch die Abrechnung entsprechend der optimalen Nutzung bzw. Abnutzung gestalten. Produkte, die den Wiederverkauf gelangen und damit einen weiteren Produktlebenszyklus erfahren, können über eine bereits vorhandene digitale Nutzungshistorie für einen geeigneten Einsatzzweck in den Wiederverkauf gebracht werden (Smart Reuse). Es können Nutzungsdauer oder Leistungsdaten entsprechend dem geforderten Anwendungsfall angepasst werden z.B. die softwareseitige Beschränkung der Produkt-

nutzung damit diese nicht ausscheiden müssen. Mit den Informationen aus Nutzung und Wartungshistorie, können Wiederaufbereitungszeitpunkte und -dienstleistungen angeboten werden (Smart Remanufacturing). Ein vorhandener digitaler Materialpass und digitale Demontageanleitungen können das Recycling hinsichtlich Materialidentifikation unterstützen (Smart Recycling). Damit ist es möglich auch für langlebige Produkte, noch entsprechende Informationen digital zu erhalten z.B.: Ausbau von Magneten bei Motoren. Die Häufigkeit der Datentransaktionen (Feedback) des Produktes von und zu dem Hersteller, nimmt dabei gegen Ende des Produktlebenszyklus ab.

In der Nutzungsphase liegt ein sehr großes Potential, um Produkte besser zu verstehen. Die Erkenntnisse daraus sind wichtige Inputs für die Einführung von digitalen Technologien für Hersteller in der Produktion und Dienstleistungsanbieter. Es ermöglicht „smarte“ intelligente Prozesse, wie z.B. Zustandsüberwachung, die Produktortung und die Rückverfolgungsinformationen. Diese oft sind Ausgangspunkt für weitere, darauf aufbauende, Kreislaufstrategien. Serviceorientierte-Geschäftsmodelle und intelligente Kreislaufstrategien treiben Innovation voran, indem sie Daten bereitstellen, die der Forschung und Entwicklung Rückmeldung darüber geben, wie das Design kreislauffähiger Produkte verbessert werden kann. (Alcayaga Andres, 2022, S. III-IV)

5.3. Wo Österreich steht

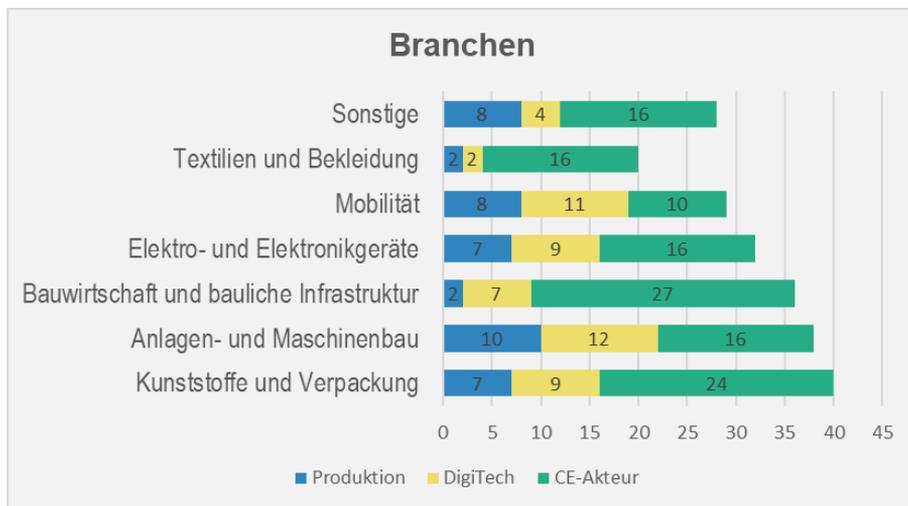
In diesem Kapitel wird das Augenmerk auf die Situation in Österreich gelegt. Welche Bedeutung hat die Kreislaufwirtschaft für die österreichischen Akteure, was wurde bereits umgesetzt und welche Initiativen und Organisationen unterstützen, um das Thema Kreislaufwirtschaft voranzutreiben. Für eine Bestandsaufnahme der gegenwärtigen Situation in Österreich wurde eine Online-Umfrage durchgeführt. Dabei sollten die Haltung gegenüber kreislaufbasierter Produktion, der wahrgenommener Mehrwert und Hindernisse, der Einsatz von Digitaltechnologien und vielversprechende Anwendungsbereiche untersucht werden. Die Zielgruppe umfasste Organisationen aus den Bereichen diskrete Produktion, digitale Technologien und Kreislaufwirtschaft.

5.3.1. Wahrgenommene Bedeutung der Kreislaufwirtschaft

119 Personen nahmen an der Umfrage teil. Mit 40 % (49 Personen) zählt ein Großteil der Teilnehmer:innen zur Gruppe der Kreislaufwirtschafts-Akteure, kurz CE-Akteur, gut 35 % (41 Personen) sind der Gruppe Digitale Technologien, kurz DigiTech, zuzuordnen, wohingegen jeder vierte (28 Personen) sich mit Produktion beschäftigt. Die Anzahl der Unternehmen ist mit 23 in jeder Gruppe gleich hoch, während die Forschungseinrichtungen vor allem im Themenfeld Kreislaufwirtschaft (23) und Digitaltechnologien (16) zu finden sind.

Die Umfrage-Teilnehmer:innen sind vor allem in den Branchen Kunststoffe und Verpackung (40, 40 %), Anlagen- und Maschinenbau (38) und Bauwirtschaft (36) tätig (siehe Abbildung 11). Mit 20 Personen bildet die Branche Textilien und Bekleidung das Schlusslicht. Produzierende Betriebe und DigiTech-Akteure sind vor allem im Anlagen- und Maschinenbau und Mobilität vertreten, während die meisten CE-Akteure im Bereich Bauwirtschaft tätig sind.

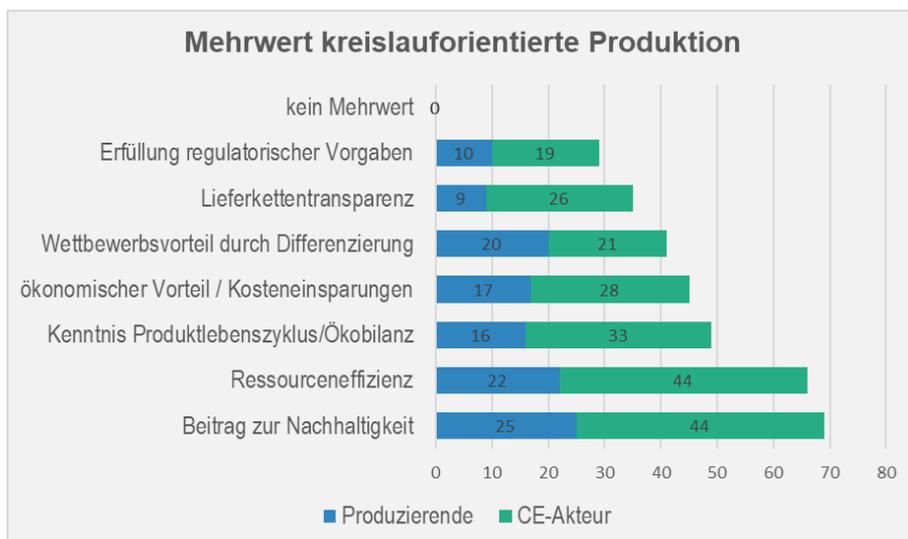
Abbildung 11: Branchenfokus (n=99, eigene Darstellung)



Derzeit bieten 85 % der zum Bereich „Produktion“ zählenden befragten Unternehmen Produkte und/oder Betriebsanlagen an, 56 % eine ergänzende Dienstleistung wie Beratung oder Reparatur, und nur jeweils 7 % bieten Zugang zu Ressourcen und/oder Produkten (z.B. über Leasing oder Pooling) oder Produkt-Service-Systeme (z.B. Verkauf von Leistung/Funktion wie Waschen) an. Daraus lässt sich ein starker Fokus auf eine lineare Wertschöpfung ableiten. Andererseits schätzen drei Viertel der produzierenden Unternehmen (20) die Kreislauffähigkeit ihrer Produkte als sehr oder eher hoch ein.

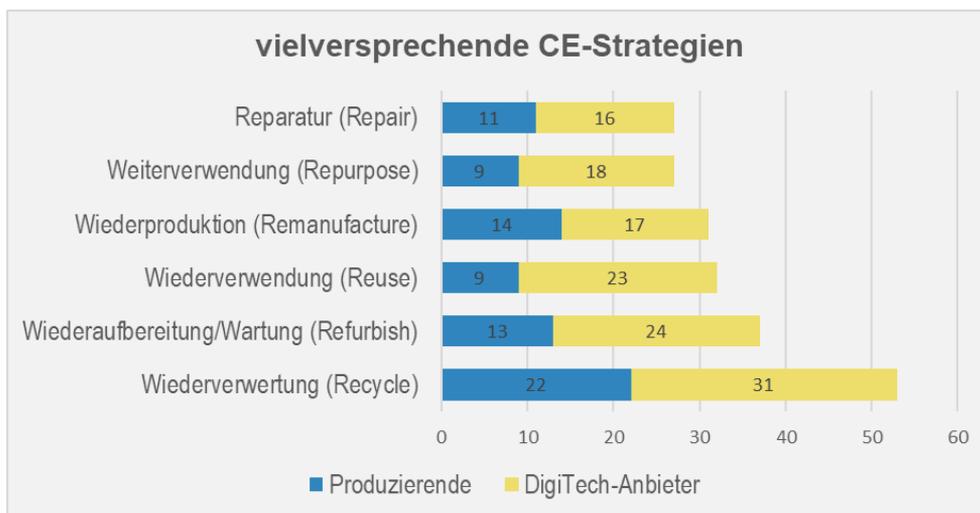
Abbildung 12 gibt Aufschluss über den wahrgenommenen Mehrwert einer kreislauforientierten Produktion aus Sicht der Produzenten (28) und CE-Akteure (49). Demnach liegt für beide Gruppen der höchste Mehrwert im Beitrag zur Nachhaltigkeit (69, 90 %) und der gesteigerten Ressourceneffizienz (66). Die Schlusslichter bilden hier die Lieferkettentransparenz (35, 45 %) und die Erfüllung regulatorischer Vorgaben (29).

Abbildung 12: Mehrwert kreislauforientierte Produktion (n=77, eigene Darstellung)



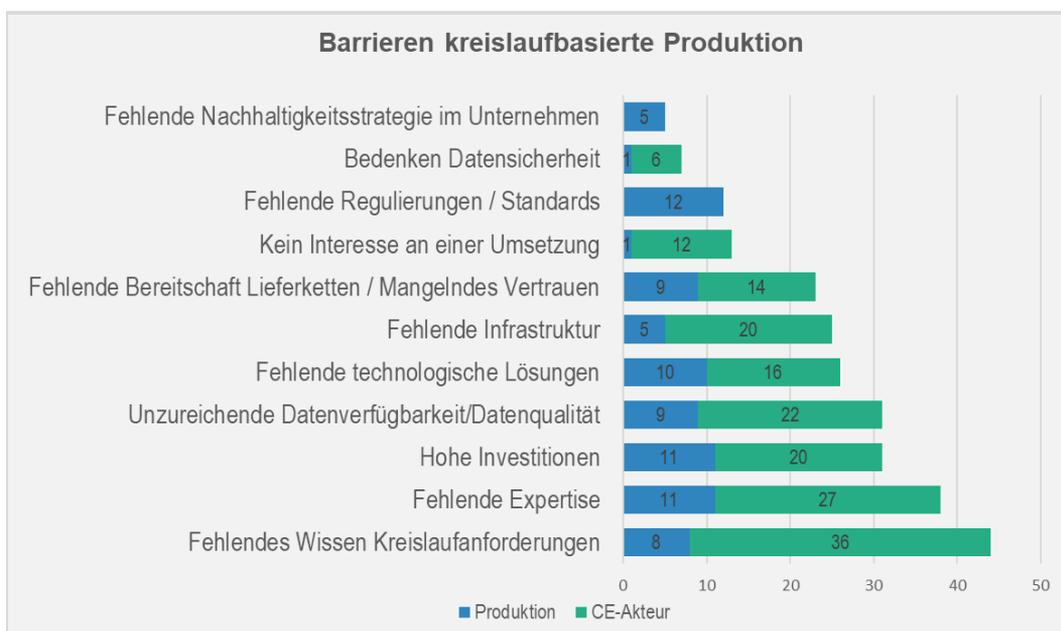
Das Sammeln, Trennen und Recycling von Altstoffen haben in Österreich eine lange Tradition. Daher ist es kaum verwunderlich, dass mit gut 80 % der Antworten die Wiederverwertung/Recycling mit Abstand als vielversprechendste Kreislaufwirtschaftsstrategie erachtet wird, gefolgt von Wiederaufbereitung (55 %) und Wiederverwendung (48 %). Siehe dazu Abbildung 13. Weiterverwendung/Repurpose und Reparatur/Repair sind die derzeit am wenigsten attraktiven zirkulären Strategien.

Abbildung 13: Vielversprechende CE-Strategien (n=67, eigene Darstellung)



Die Frage zu den Hindernissen einer kreislaufbasierten Produktion beantworteten 27 produzierende Unternehmen und 48 CE-Akteure, siehe Abbildung 14. Die gewichtigste Barriere für die Kreislaufwirtschaft ist mit 44 Antworten (60 %) das fehlende Wissen zu den Anforderungen einer zirkulären Wertschöpfung, gefolgt von fehlender Expertise im Unternehmen (38 oder 51 %), hohen Investitionskosten und unzureichender Datenverfügbarkeit (mit jeweils 31 Antworten oder 41 %).

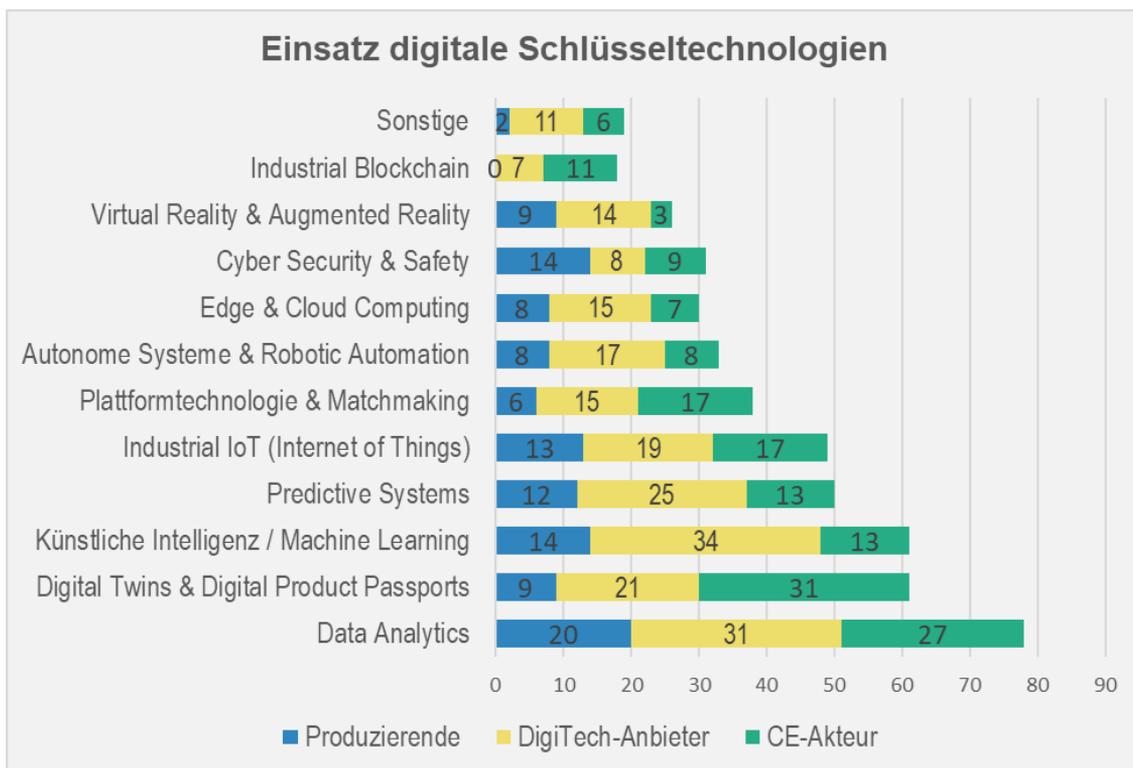
Abbildung 14: Wahrgenommene Barrieren (n=75, eigene Darstellung)



Wenn das fehlende Wissen über Kreislaufanforderungen für die CE-Akteure das größte Hindernis darstellt, ist es für die Produktionsbetriebe die fehlende Regulierung/Standards. Die Barriere Datensicherheit als spielt für beide Gruppen keine wesentliche Rolle.

Welche digitalen Schlüsseltechnologien in den produzierenden Betrieben (28) und DigiTech-Akteuren (42) bereits eingesetzt werden, und welche dieser Kerntechnologien es nach Meinung der CE-Akteure (48) für eine funktionierende Kreislaufwirtschaft braucht, zeigt Abbildung 15. Data Analytics (78 oder 66%) wird gegenwärtig als wichtigste digitale Technologie gesehen, gefolgt von Digitalen Zwillingen / Digitalem Produktpass und Künstlicher Intelligenz (jeweils 61, 52 %). DigiTech-Akteur:innen messen der Künstlichen Intelligenz die größte Bedeutung bei, wohingegen der Digitale Produktpass für die CE-Akteure am wichtigsten ist. Industrial Blockchain ist für die produzierenden Betriebe scheinbar noch kein Thema, sehr wohl aber Cyber Security & Safety.

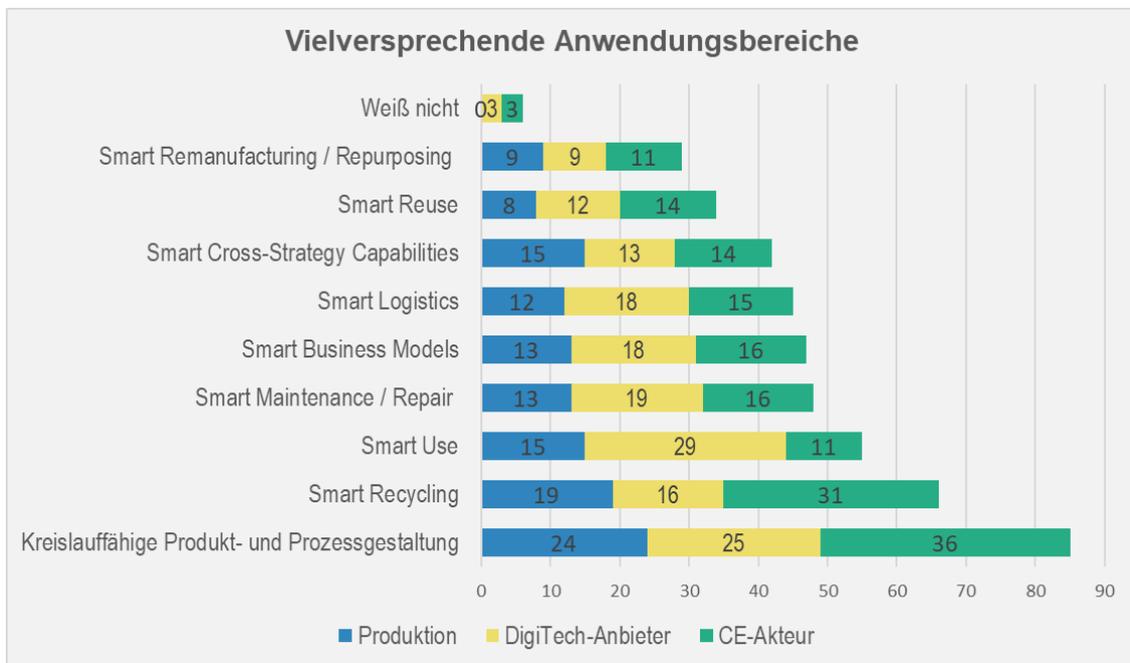
Abbildung 15: Einsatz von digitalen Schlüsseltechnologien (n=118, eigene Darstellung)



Die Faktoren, die den Technologieeinsatz für eine kreislaufbasierte Produktion behindern oder erschweren, sind für DigiTech-Akteur:innen vor allem die mangelnde Datenverfügbarkeit/Datenqualität (65%) und der unzureichende Digitalisierungsgrad (50 %). Mangelnde Technologiereife spielt mit 12 von 42 Antworten eine eher untergeordnete Rolle.

In Kapitel 5.5 werden für den Einsatz von digitalen Schlüsseltechnologien vielversprechende Anwendungsbereiche definiert. Unter diesen hat die kreislauffähige Produkt- und Prozessgestaltung mit 80 % das höchste Potential, gefolgt von Smart Recycling (62 %) und Smart Use (51 %), siehe Abbildung 16.

Abbildung 16: Vielversprechende Anwendungsbereiche (n=107, eigene Darstellung)



29 Personen führten weitere Anwendungsbeispiele für einen Einsatz von digitalen Schlüsseltechnologien für die kreislaufbasierte Produktion an. Darunter fallen die Digitalisierung von Ressourcenflüssen auf regionaler Ebene, die Implementierung einer Sekundärressourcenbörse für Urban-Rural-Industrial Symbiosis, modellprädiktive Vorhersage von Bedürfnissen innerhalb des Wertschöpfungskreises, Charakterisierung von Sekundärrohstoffen und Analyse von Materialzusammensetzungen, aber auch produktspezifische Materialentwicklung. Der Geschäftsmodellebene können Themen wie Sharing Economy und Pay per Use zugeordnet werden, wohingegen Security by Design, Privacy by Design und Usable Security den Sicherheitsaspekt betrifft. Außerdem sollten Digitaltechnologien für das Wissensmanagement und den Zugang zu Wissen in frühen Phasen der Entwicklung, Schulungen und die firmenübergreifende Zusammenarbeit unterstützen.

Wie die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in österreichischen Unternehmen gelingt, wurde erstmals empirisch mit einer größeren Stichprobe 2021 untersucht (Schöggl Josef-Peter, 2022) und zeigte, dass die Einführung von Kreislaufwirtschaft in Unternehmen des produzierenden Gewerbes immer noch in erster Linie auf Compliance und Effizienz ausgerichtet ist. Radikalere Veränderungen auf Produkt-, Prozess- oder Geschäftsmodellebene sind selten.

5.3.2. Umsetzungsbeispiele

Bei produzierenden Betrieben finden sich unterschiedliche Zugänge und Ausgestaltungen der Kreislaufwirtschaft. Die folgenden Beispiele aus Österreich stammen aus unterschiedlichen Branchen.

Fronius ist im Bereich Schweißtechnik, Solarenergie und Batterieladetechnik tätig. Mit dem Programm „Sustainability by Design“ verfolgt das Unternehmen eine umweltgerechte Gestaltung seiner

Produkte⁴. Dabei geht es um die Entwicklung langlebiger Lösungen, die sowohl reparierbar als auch wiederverwertbar sind und recycelte Materialien enthalten. Erklärtes Ziel ist ein Beitrag zur evidenzbasierten, nachhaltigen Kreislaufwirtschaft. Vorreiter ist die Business Unit Solarenergie. Es werden Daten generiert, gesammelt und analysiert, Lebenszyklusanalysen erstellt und Produkt-Service-Systeme optimiert. Bei den Wechselrichtern für Photovoltaik-Anlagen können durch einen überlegten Einsatz von Rohstoffen und Materialien 90 % der metallische Hauptkomponenten, Kartonagen und Kunststoffverpackungen wiederverwertet werden⁵. Eine enge Kooperation mit dem Recycling-Betrieb Müller-Guttenbrunn stellt die Rezyklierbarkeit der Wechselrichter sicher. Defekte Geräte werden in einem eigenen Repaircenter wieder in Gang gesetzt.

Der Verpackungsspezialist **Greiner Packaging** führte mehrere nachhaltige Verpackungen nach den Prinzipien Reduce, Reuse und Recycle⁶ ein. In Zusammenarbeit mit weiteren Unternehmen hat Greiner Packaging erstmalig einen Kreislauf für Schulmilchbecher aus 100 % r-PET etabliert. Weiters wurde die selbsttrennende Verpackung K3[®] r100 entwickelt, die den Recyclingprozess erleichtert. Dabei trennen sich der Kartonwickel und die Kunststoffverpackung während des Abfall-Entsorgungsprozesses ohne menschliche Einwirkung voneinander. Ein weiteres Beispiel ist die aus kompostierbarem Polymer bestehende Kapsel, die sich nach Verwendung (für Kaffee oder Babynahrung) zu Hause kompostieren lässt.

Das Startup **MATR**⁷ bietet die erste „All-in-One-Matratzenlösung“ für Hotels, die auf Prinzipien der Kreislaufwirtschaft beruht. Hierbei wird das Material der Matratzen recycelt und im Unternehmen wiederverwendet. Außerdem wird durch Wartung und Austausch verschiedener Komponenten der Produktlebenszyklus so gut es geht verlängert⁸. Die Matratzen bestehen aus zwei Materialien, Stahl und Polyester, die mit einer speziellen patentierten Klebstofftechnik verbunden werden. So lassen sich die Matratzen nach Nutzungsende leicht trennen und effizient recyceln. Ein Produktpass erlaubt es, alle verwendeten Materialien nachzuverfolgen und die Zirkularität und Transparenz in der Lieferkette zu dokumentieren. Matratzen können auch gemietet werden. Dabei werden sie digital erfasst und serviciert.

Für **Saubermacher** als Abfallentsorgungs- und -verwertungsunternehmen sind neben einer nachhaltigen Ressourcenwirtschaft ein Design for Circularity im ureigensten Interesse. Saubermacher unterstützt Betriebe beim nachhaltigen Produktdesign, untersucht Materialzusammensetzungen und analysiert Entsorgungswege. Ein Fokus des Unternehmens liegt auf der Verwertung von Lithium-Ionen-Batterien. Zusätzlich wurde gemeinsam mit einigen Projektpartnern ein Stromspeicher aus alten E-Autobatterien errichtet. Diese Pilotanlage soll zur Abdeckung von Spitzenlasten eingesetzt werden⁹. Auch in der Digitalisierung werden Initiativen gesetzt. Neben dem Einsatz von Werkstoffscannern im Müllfahrzeuge, wo mithilfe Künstlicher Intelligenz Fehlwürde im Abfall detektiert werden, forscht

⁴ Fronius International GmbH: <https://www.fronius.com/de/nachhaltigkeit/profit/forschung-und-entwicklung>, abgerufen am 20.10.2022, 10:00

⁵ Fronius International GmbH: <https://www.fronius.com/de-at/austria/solarenergie/ueberuns/news/gen24plus-sustainability-10122020>, abgerufen am 20.10.2022, 10:00

⁶ Greiner Packaging International GmbH: <https://www.greiner-gpi.com/de/Nachhaltigkeit/Unsere-Innovationen>, abgerufen am 20.10.2022, 10:00

⁷ MATR by Circularful GmbH: <https://matr.eco/de/unsere-loesung/>, abgerufen am 20.10.2022, 10:00

⁸ Greiner AG: <https://www.greiner.com/news/greiner-beteiligt-sich-an-circular-economy-startup-matr/>, abgerufen am 20.10.2022, 10:00

⁹ Saubermacher Dienstleistungs AG: <https://saubermacher.at/presse/unsere-beitrag-zur-energiewende/>, abgerufen am 20.10.2022, 10:00

Saubermacher an einem „virtuellen Entsorger“, der Abfallwirtschaftsbetriebe und Kunden vernetzt und hochwertige Entsorgung anbietet¹⁰.

Beim Kugellagerproduzenten **SKF** liegt der Fokus auf geringem Ressourceneinsatz, Sicherstellung und Steigerung der Anlagenleistung und neuen Geschäftsmodellen. Durch Wiederaufbereitung von Wälzlagerlagerschmierstoffen lässt sich die Gebrauchsdauer erhöhen, die wiederverwendbare Sammelkartuschen für Wälzlagerschmierstoffe ermöglichen separates Recycling von gebrauchten Schmierstoffen (RecondOil9)¹¹. Das Industrial Services Center Steyr ist das europäische Zentrum für Lager-Rekonditionierung innerhalb der SKF-Gruppe. Zusätzlich bietet die Zustandsüberwachung die Möglichkeit, Instandhaltungsintervalle von beispielsweise Schienenfahrzeugen zu verlängern und andererseits ungeplante Unterbrechungen zu verhindern. Digitalisierung hilft nicht nur bei Predictive Maintenance, sondern auch bei neuen Geschäftsmodellen (Abwicklung von gebühren- und leistungsorientierten Verträgen).

Auch der Ziegelproduzent **Wienerberger** setzt in seiner Nachhaltigkeitsstrategie 2023 auf Kreislaufwirtschaft. So sollen ab 2023 alle neuen Kunststoffrohre der Wienerberger Piping Solutions (Tochterunternehmen Pipelife) zu 100 % recycelbar oder wiederverwendbar werden. Durch die Verwendung der Rezyklate soll die Lebensdauer eines Kunststoffrohres gewissermaßen verdreifacht werden. Im Baumaterialiensektor setzt Wienerberger unter anderem auf Urban Mining¹². Wienerberger Niederlande entwickelte einen Vormauerziegel (CicloBrick)¹³, der aus Flusston als selbsterneuerndem Basisrohstoff und zu 20 % aus keramischen Reststoffen, die beim selektiven Abriss von Gebäuden zurückgewonnen wurden, besteht.

Der Damenmodenhersteller **Wolford** reagierte auf die Probleme der Textilbranche mit nicht recycelbaren Abfällen. Bereits seit 2015 arbeitet das Unternehmen in einem Konsortium an der Entwicklung recycelbarer Produkte. An diesem Programm nehmen insgesamt dreizehn Vorarlberger Unternehmen teil. Im September 2018 brachte Wolford die ersten biologisch abbaubaren Produkte auf den Markt¹⁴. Das Ziel ist, bis 2025 50 % der Produkte kreislauffähig zu machen, das heißt, die Produkte sollen biologisch abbaubar oder technologisch wiederverwertbar sein. Laut Firmenwebsite ist Wolford weltweit das erste und bislang einzige Unternehmen in der Textilbranche, das für die Entwicklung umweltneutraler Produkte Cradle to Cradle¹⁵ zertifiziert ist.

All diese Beispielen zeigen die hohe Innovationskraft und die Wichtigkeit von Forschung und Entwicklung beim Finden neuer Wege für nachhaltige Produkte und zirkuläre Wertschöpfung. Innovation ist der zentrale Hebel für Nachhaltigkeit; Kooperation, Design und Digitalisierung sind die wichtigsten Ingredienzien.

¹⁰ Saubermacher Dienstleistungs AG: <https://saubermacher.at/unternehmen/forschung-und-entwicklung/>, abgerufen am 20.10.2022, 10:05

¹¹ SKF Österreich AG: <https://www.skf.com/at/industries/railways/delivering-for-sustainable-railway/sustainability>, abgerufen am 20.10.2022, 10:05

¹² Bei Urban Mining, auch „städtischer Bergbau“, dient die Stadt als Rohstoffquelle.

¹³ Wienerberger AG: <https://www.wienerberger.com/de/stories/20220425-urban-mining.html>, abgerufen am 20.10.2022, 10:05

¹⁴ Wolford AG: <https://company.wolford.com/de/nachhaltigkeit/cradle-to-cradle-certified-collection/>, abgerufen am 20.10.2022, 10:05

¹⁵ Cradle to Cradle (auch C2C) bedeutet sinngemäß „vom Ursprung zum Ursprung“ und ist ein Ansatz für eine durchgängige und konsequente Kreislaufwirtschaft. Die Produkte können biologischen Kreisläufen zurückgeführt oder kontinuierlich in technische Kreisläufe gehalten werden.

5.3.3. Unterstützende Initiativen und Organisationen

Kreislaufwirtschaft ist ein hochaktuelles Thema. Das zeigt sich auch an den zahlreichen Initiativen und Netzwerken, die sich zum Ziel gesetzt haben, Kreislaufwirtschaft als ein Kernelement der Klimaneutralität voranzutreiben.

Die Europäische Kommission publizierte im März 2020 eine überarbeitete Version des **Circular Economy Action Plan** (CEAP), als eines der Hauptelemente des Europäischen Green Deals. Der Green Deal zielt auf ein klimaneutrales Europa bis 2050 ab. Dieser Aktionsplan Kreislaufwirtschaft (Europäische Kommission, 2020) soll dazu beitragen, die Wirtschaft vom Ressourcenverbrauch zu entkoppeln, nachhaltigen Konsum zu entwickeln und durch Wiederverwendung, Reparatur und Recycling Abfall zu vermeiden.

Im Dezember 2022 veröffentlichte das BMK eine **österreichische Kreislaufwirtschaftsstrategie** (Bundesministerium für Klimaschutz, 2022), mit dem Ziel, die österreichische Wirtschaft und Gesellschaft bis 2050 in eine umfassend nachhaltige Kreislaufwirtschaft umzugestalten.

Für den Bereich Forschung, Technologie und Innovation (FTI) des BMK ist Kreislaufwirtschaft eines der Schwerpunktthemen; neben Energiewende, Mobilitätswende und klimaneutrale Stadt¹⁶. Mit der **FTI-Initiative Kreislaufwirtschaft** wurde ein Förderinstrument geschaffen, das in jährlichen Ausschreibungen innovative F&E-Vorhaben unterstützt. Kreislaufwirtschaft steht aber auch im Zentrum anderer thematischer Forschungsförderungsprogramme, wie etwa AI for Green oder Produktion der Zukunft.

Hinsichtlich weiterer Fördermöglichkeiten von Kreislaufwirtschaftsthemen auf EU, nationaler und regionaler Ebene sei auf die Datenbank von kreislaufwirtschaft.at¹⁷ verwiesen.

Weiters verfügt Österreich auf nationaler und regionaler Ebene im Bereich der Kreislaufwirtschaft über Wissens- und Kompetenz-**Netzwerke**, wie das Circular Economy Forum Austria, das Ressourcenforum Austria, Circular Futures oder RepaNet. Zu den Cluster-Initiativen in den Bundesländern mit einem Schwerpunktthema Kreislaufwirtschaft zählen etwa der Cleantech-Cluster, das Green Tech Valley oder der Kunststoff-Cluster OÖ. Die nationale Clusterplattform dient zusätzlich als zentrale Informationsdrehscheibe der österreichischen Cluster.

Ausbildungsinitiativen zum Thema starteten bereits an mehreren Universitäten und Fachhochschulen, wie Montanuniversität Leoben (Master Responsible Consumption and Production, Master Circular Engineering), Universität Graz (Master Circular Economy), FH Salzburg (Weiterbildungsmodul Circular Economy), FH Wiener Neustadt (Bachelor Nachhaltige Produktion & Kreislaufwirtschaft, Master Eco Design) FH des BFI (Kurzlehrgang Circular Economy & Innovation) oder Technikum Wien (Bachelor Internationales Wirtschaftsingenieurwesen, Master Umweltmanagement). Weiters bietet die Quality Austria Trainings an, wie „Cradle to Cradle®“ und „ISO-Konzepte zur Förderung der Kreislaufwirtschaft“ oder die Lehrgangreihe „Circular Globe Transformation Coach – Certification Course CGF“.

¹⁶ Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK): <https://www.bmk.gv.at/themen/innovation/schwerpunkte.html>, abgerufen am 20.10.2022, 9:15

¹⁷ alchemia-nova GmbH: <https://kreislaufwirtschaft.at/financial-instruments/>, abgerufen am 20.10.2022, 9:15

5.4. Welche Rahmenbedingungen zu beachten sind

Der Übergang von linearer zu zirkulärer Leistungserbringung ist eine große Herausforderung für Unternehmen und erfordert Anstrengungen auf unterschiedlichen Ebenen. In der Folge werden Rahmenbedingungen für die Implementierung eines zirkulären Wertschöpfungssystems unter Einbeziehung digitaler Technologien aufgezeigt. In Anlehnung an die PESTEL-Methode wird zwischen organisatorischen, ökologischen, ökonomischen, technischen, politischen, rechtlichen Einflussfaktoren unterschieden. Manche enthalten implizit Anforderungen, andere klingen wie Barrieren. Erkenntnisse aus den 16 Expert:inneninterviews ergänzt um die von Hansen et al. identifizierten Rahmenbedingungen und Barrieren (Hansen Erik W. P., 2021, S. 141) bilden die Basis für die folgenden Ausführungen. Zitate aus den Interviews sind in Anführungszeichen gesetzt.

Organisatorische Rahmenbedingungen

- **Corporate Sustainability:** Kreislaufwirtschaft ist eine Managemententscheidung und erfordert ein ganzheitliches Umdenken des Unternehmensgegenstandes. Eine Kreislaufwirtschaftsstrategie ist als Teil der Unternehmensstrategie zu integrieren. Eine entsprechende Unternehmenskultur muss aufgebaut werden.
- **Prozessdenken:** Kreislaufwirtschaft setzt ein Prozessdenken, ein systemisches / gesamtheitliches Denken voraus, vor allem in den Design-Abteilungen.
- **Personalressourcen** sind eine wichtige Voraussetzung für Kreislaufwirtschaft, denn „Kreislaufwirtschaft ist eine Operation am offenen Herzen von Unternehmen.“
- **Kompetenzaufbau:** gezielter Aufbau und Kooperation von Kreislaufwirtschafts- und IT-Teams (Schnittstellenfunktion) ermöglicht Wissenstransfer.
- **Zirkuläre Arbeitsweisen** im Unternehmen. Kreislaufwirtschaft erfordert neue innerbetriebliche Zusammenarbeit beispielsweise eine Kooperation der Design- mit der After Sales-Abteilung.
- **Supply Chain** ist ein wichtiger Hebel. Kreislaufwirtschaft erfordert Transparenz, eine neue Art der Zusammenarbeit und großes Vertrauen entlang der gesamten Lieferkette. Es müssen strategische Partnerschaften aufgebaut werden. „Erfolgsgeheimnis der Zusammenarbeit liegt im Erkennen des gemeinsamen Mehrwerts.“
- **Abhängigkeiten** in der Lieferketten können Zirkularitätsbestrebungen behindern.
- **Kundeneinbindung:** Eine zirkuläre Wertschöpfung erfordert eine Produktausrichtung auf den Endkunden und somit ihre aktive Einbindung.
- **Investitionen:** Investitionen in Infrastruktur und Humanressourcen sind ebenso notwendig wie eine Digitalisierungsoffensive.
- **Risikobereitschaft:** Fehlende oder uneinheitliche Gesetzgebung erschwert eine Orientierung und zirkuläre Ausrichtung. Ökologischer und ökonomischer Mehrwert sind vielfach nicht abschätzbar. Kreislaufwirtschaft verlangt den Austausch von mitunter vertrauenswürdigen Informationen.
- **Produktrücknahme:** Österreich ist stark exportorientiert, was Produktrücknahmeprozesse erschwert.

Ökologische Rahmenbedingungen

- Mangelndes **Bewusstsein**, was eine zirkuläre Wertschöpfung generell ausmacht und was sie für das Unternehmen bedeutet. Weiters besteht ein mangelndes Bewusstsein seitens der Kund:innen und Konsument:innen für Zirkularität und Langlebigkeit.

- Fehlende **Akzeptanz** in der Wertekette. Es erfordert viel Zeit, Engagement und Motivation im Aufbau einer vertrauensvollen Zusammenarbeit und der Erarbeitung eines gemeinsamen Weltverständnisses.
- **Produktdesign**: Der Grundstein der Kreislaufwirtschaft liegt im Design, denn hier werden Materialien, Funktionalität und Bauart festgelegt. „80% der Umwelteinflüsse werden in Design-Abteilungen festgelegt.“
- **Fehlendes Wissen** zu den Anforderungen eines zirkulären Ansatzes (z.B. Cradle to Cradle) oder Design-Anforderungen.
- **Marktanreize** fehlen vielfach. Finanzielle Anreize können nachhaltige Wirtschaftsentscheidungen fördern.
- **Sekundärwerkstoffe**: Skepsis gegenüber dem Einsatz und der Qualität von recycelten Werkstoffen.
- **Produktlebenszyklus**: Lange Produktlebenszyklen erschweren Umsetzung (z.B. Bauwirtschaft, hier greifen Verordnungen stark zeitverzögert)
- **Öffentliche Vergabe** als Hebel für einen zirkulären Zugang.

Ökonomische Rahmenbedingungen

- Hohe **Investitionen** in Infrastruktur und Personal sind vor allem für KMUs schwierig.
- Ökonomische **Mehrwert** schwierig aufzuzeigen.
- **Wirtschaftsfokus**: Das Wirtschaftssystem ist stark Effizienz-orientiert, Kreislaufwirtschaft verlangt aber einen Fokus auf Konsistenz.
- **Balance**: Bei günstigen Materialpreisen ist es mitunter schwierig, hohe Investitionen darzustellen. Fehlende Marktanreize durch bspw. niedrige Rohstoffpreise.
- **Marktnachfrage** und Marktentwicklung unklar und schwer vorhersehbar.
- **Vorleistungen**: Kreislaufwirtschaft verlangt möglicherweise hohe Vorleistungen, z.B. bei Leasingmodellen im Anlagenbau. Dies kann zu Liquiditätsproblemen führen.
- **Monetarisierung** von Daten als mögliche Einnahmequelle. Monetäre Anreize schaffen.
- **Produktrücknahme**: Möglicherweise hohe Kosten bei der Produktrücknahme.
- **Arbeitskosten**: Hohe Personalkosten erschweren eine Überführung zur Kreislaufwirtschaft, z.B. Demontage von Produkten und Trennung von Materialien.

Technische Rahmenbedingungen

- Kreislaufwirtschaft braucht **Datenkreisläufe**, doch „Technologie ist nicht das Problem.“
- **Datenverfügbarkeit**: Es mangelt an Daten! Technologische Infrastruktur ist mitunter unzureichend.
- **Datentransparenz** und **Datensicherheit** sind die grundlegende Voraussetzung für Datenaustausch.
- **Datenschnittstellen** und Architekturen nur unzureichend verfügbar. Es fehlen interoperable Datenstandards. Der Aufbau einer einheitlichen digitalen Sprache bedarf der Integration vieler Stakeholder.
- **Digitaltechnologien**: Möglichkeiten für den Einsatz von Digitaltechnologien unzureichend bekannt.
- **Digitale Werkzeuge** fehlen oder sind nicht bekannt.
- **Automatisierung** und Prozessoptimierung sind Treiber für Digitalisierung.
- **IoT**: Unternehmen mit IoT haben eine bessere Startposition bei der Einführung von zirkulären Strategien.
- Potenzielle **Reboundeffekte** von digitalen Technologien müssen berücksichtigt werden (z.B. Smart Things & Rechenzentren). Digitalisierung soll bewusst und gezielt eingesetzt werden.

- **Mangel an digitaler Infrastruktur.** Infrastrukturaufbau vor allem für KMUs schwierig (Server/Infrastruktur, Datenschutz, Datenverwaltung, Sicherheit, IT-Personal).

Politische Rahmenbedingungen

- Wirtschaftspolitische **Anreizsysteme** fehlen weitgehend, sowohl betreffend Zirkularität als auch Digitalisierung.
- **Kreislaufwirtschafts-Indikatoren** fehlen, würden aber eine Implementierung einer zirkulären Wertschöpfung unterstützen.
- **Roadmap:** Eine Roadmap oder ein Leitfaden zur Kreislaufwirtschaft ist erwünscht und würde den Unternehmen eine Orientierungshilfe sein.
- **Forschungsförderung:** Kreislaufwirtschaft hat hohes Innovationspotential. Gezielte Forschungsförderung (gesamte Wertenetze, Schnittstellen) hilft den Unternehmen bei der Implementierung von zirkulären Strategien.
- **Pilotprojekte** fehlen und könnten der Wirtschaft als Best-Practice dienen.
- **Politische Lenkungsinstrumente** zielen häufig auf Recycling und Entsorgung ab, und nicht auf eine Kreislaufführung von Produkten und Materialien.
- **Hebelwirkung:** Öffentliche Hand hat einen großen Hebel für die Umsetzung von Kreislaufwirtschaft, den es zu nutzen gilt, z.B. green procurement.

Rechtliche Rahmenbedingungen

- **Verordnungen** sind abfallorientiert, nicht kreislaufwirtschaftskonform und sollten überarbeitet werden (manche Verordnungen Hemmschuh für Zirkularität, z.B. Abfallwirtschaftsgesetz)
- **Regelungsrahmen:** Kein einheitlicher nationaler und grenzüberschreitender Regelungsrahmen.
- **Standards/Zertifizierungen** für zirkuläre Produkte fehlen. Andererseits sind Standards für kleine Unternehmen schwer umzusetzen.
- Breite **Einbindung von Stakeholdern** ist bei der Entwicklung von Verordnungen, Standards, Regulierungen wichtig.
- **Haftungsfrage** ungeklärt bei bspw. wiederaufbereiteten Produkten

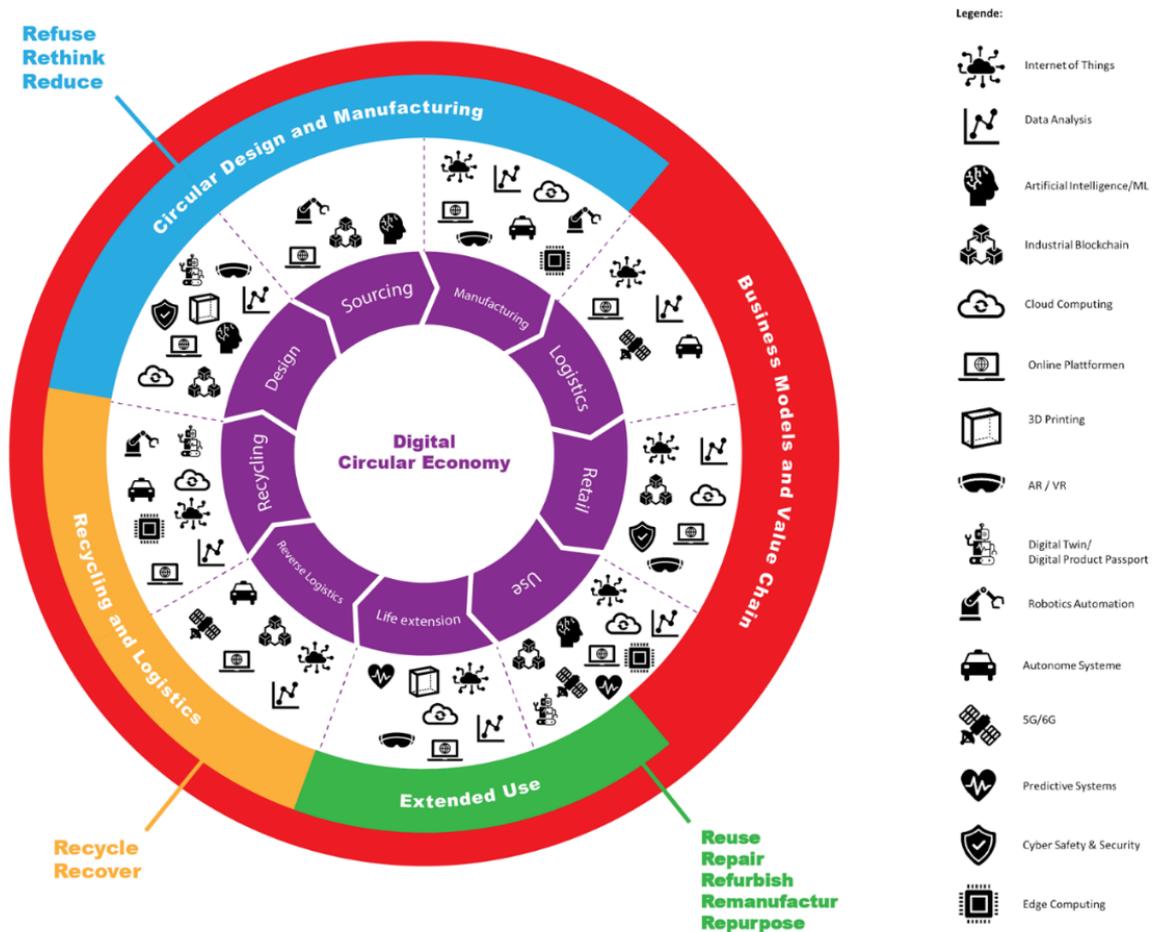
Zur Entwicklung einer Kreislaufwirtschaft ist es wichtig förderliche Rahmenbedingungen für die Umsetzung von zirkulären Produkten, Prozessen und Geschäftsmodellen zu schaffen. Hier ist die öffentliche Hand gefragt, mit einer Auswahl an ökonomischen, regulatorischen und selbstregulierenden (z.B. durch Standardisierung) Instrumenten die Implementierung der Kreislaufwirtschaft voranzutreiben.

5.5. Wo vielversprechende Anwendungsbereiche zu finden sind

Die Anwendungsbereiche von digitalen Technologien in der Kreislaufwirtschaft können nicht isoliert für die Produktion betrachtet werden. Vielmehr müssen digitale Technologien in alle Stadien des Produktlebenszyklus eingebettet werden, wie in Abbildung 17 veranschaulicht wird. Die Abbildung gliedert sich in drei konzentrische Ringe. Jeder Ring stellt dabei einen Aspekt der digitalen Kreislaufwirtschaft dar. Der innerste Ring beschreibt die ineinandergreifenden Phasen des Produktlebenszyklus. Diese sind Design, Sourcing, Manufacturing, Logistics, Retail, Use, Re-Use/Life extension, Reverse logistics und Recycling. Im äußersten Ring wird Bezug auf die in Abschnitt 5.1.1 eingeführten R-Strategien genommen. Sie werden einerseits in vier Kategorien geclustert und andererseits den Phasen des

Produktlebenszyklus zugeordnet. Während die Kategorien Circular Design and Manufacturing, Extended Use und Recycle and Logistics sich auf einzelne Phasen des Produktlebenszyklus beziehen, kommt die Kategorie Business Models and Value Chains im gesamten Lebenszyklus zum Tragen. Der mittlere Ring zeigt in welcher Phase des Produktlebenszyklus welche digitalen Technologien andocken. Damit stellt die Technologieebene und ihre Funktion für den Datenkreislauf das Bindeglied zwischen dem Produktlebenszyklus und den R-Strategien dar.

Abbildung 17: Digitale Kreislaufwirtschaft, in Anlehnung an (Barteková Eva, 2022, p. 17)



Die Produktlebenszyklusphasen setzen sich aus Design, Sourcing, Manufacturing, Logistics, Retail, Use, Re-Use/Life extension, Reverse logistics und Recycling zusammen. Die Abschnitte der Kreislaufwirtschaftsstrategie beschreiben die Einflussbereiche der R-Strategien (siehe Abbildung 3), welche sich auf Circular Design and Manufacturing, Extended Use, Recycling and Logistics, sowie den allumfassenden Bereich Business Models and Value Chains bezieht.

5.5.1. Anwendungsbereiche in der Kreislaufwirtschaft

Die Anwendungsbereiche für den Einsatz von digitalen Schlüsseltechnologien in der kreislaufbasierten Produktion wurden in einem Workshop identifiziert und durch Literaturrecherche ergänzt. Sie sind in Tabelle 4 zusammengeführt und zur besseren Übersicht nach CE-Phasen geordnet. Die CE-Phasen greifen dabei die in Abbildung 17 beschriebenen Kategorien Circular Design and Manufacturing, Extended Use, Recycling and Logistics sowie Business Models and Value Chains auf.

Tabelle 4: Anwendungsbereiche digitaler Technologien in der Kreislaufwirtschaft (eigene Darstellung)

CE-Phase	Anwendungsbereiche digitaler Technologien
Circular Design and Manufacturing Kreislauffähige Produkt- und Prozessgestaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Zirkuläres Produktdesign • Materialforschung und -entwicklung • Materialgesundheit • Materialzusammenstellung • Produkt- und Prozessoptimierung • Materialrückverfolgung • Energie- und Ressourceneffizienz • Sustainable Product Management • Durchgängige Produktionsinformationen
Business Models and Value Chain Smarte Geschäftsmodelle und strategie-übergreifende Fähigkeiten	<ul style="list-style-type: none"> • Product-Service-Systeme • Geschäftsmodelle für Firmenverbände • CE-Value Networks • Produktlebenszyklusmanagement • Produktpass • Produktdatenverwaltung • Datensicherheit • Backend und Infrastruktur • Supply Chain Management • Zertifikationssysteme • Auditierbarkeit
Extended Use Smarte Nutzung, Reparatur, Instandhaltung, Wartung, Wiederverwendung, Wiederaufbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzungsauswertung • Digitale Zustandsüberwachung • Remote Zugriff • Standortdienste • Nutzungsorientierte Produkt- und Prozessoptimierung • Digitale Zustandsüberwachung • Produktzustandsanalyse • Vorhersage von Ausfällen • Vorbeugende Wartung • Fernwartung • Remote Augmented-Support

CE-Phase	Anwendungsbereiche digitaler Technologien
	<ul style="list-style-type: none"> • Ersatzteil- und Garantiemanagement • Kundeneinbindung • Analyse von Produktzustand • Analyse von Kaufverhalten • Digitale Nutzungshistorie • Vorbereitung Rücknahme und Wiedervermarktung • Funktionsspezifische Wiederverwendungsplattformen • Analyse von Produktzustand • Analyse von Kaufverhalten • Digitale Nutzungshistorie • Vorbereitung Rücknahme und Wiedervermarktung • Funktionsspezifische Wiederverwendungsplattformen • Analyse von Produktzustand • Nutzungshistorie (Produkt und Komponenten) • Analyse optimaler Wiederaufbereitungszeitpunkt und -planung • Zerlegungsdienstleistungen
<p>Logistics and Recycling Smarte Logistik und Recycling</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Transportprozessoptimierung • Tracking • Verpackung • Integrierte Lagerverwaltungssysteme • Schnittstellenmanagement • Smart Reverse Logistics • Materialpass • Hinweise Produktzerlegung • Automatisierte Demontage • Identifizierung von Materialien • Materialeigenschaften (z.B. Toxizität) für hochwertiges Recycling

Der Einsatz von digitalen Technologien in diesen Anwendungsbereichen kann wesentlich zu Erreichung der Kreislaufwirtschaftsziele beitragen. Die konkreten Anwendungsbeispiele von Technologien sind im folgenden Kapitel angeführt.

5.5.2. Fallbeispiele

Der Einsatz von digitalen Schlüsseltechnologien für eine kreislaufbasierte Produktion beschränkt sich nicht nur auf Einzeltechnologien, sondern beinhaltet häufig deren Kombination, wie folgende Fallbeispiele zeigen, die im Rahmen der Workshops identifiziert wurden. Der Einsatz und die Kombination der Technologiefelder bieten weitreichende Möglichkeiten für nachhaltige Innovationen (siehe Tabelle 5).

Tabelle 5: Technologiekombinationen und Fallbeispiele (eigene Darstellung)

Digitale Schlüsseltechnologien	Fallbeispiele für nachhaltige Innovationen
Industrial IoT & Edge Computing	<ul style="list-style-type: none"> - Zustandsüberwachung während der Nutzungsphase - Fernsteuerung (Remote-Control) von Anlagen - Rückmeldung über optimale Verwendung von Produkten - Garantieverlängerung bei Datenübermittlung und Nutzungsüberwachung - Schutz persönlicher Daten (Verschlüsselung vor Übermittlung) - Enabler für Equipment-as-a-Service Geschäftsmodell - Sensor Fusioning zur Datengenerierung
Augmented Reality & Virtual Reality	<ul style="list-style-type: none"> - Maschinendaten in der Produktion visualisieren - Interaktive Echtzeit-Anleitungen für Servicetechniker - Visualisierung von Planungs- und Bestandsdaten - Trainingssimulatoren für Schulungen und Ausbildungen - Virtuelles Testen und Verwenden von Produkten
Digital Product Passport & Industrial Blockchain	<ul style="list-style-type: none"> - Digitale Produkt-, Material-, Wartungs-, Demontage- und Recyclinginformationen - Produktions- & Qualitätsnachweise - Herkunfts- & Lieferkettennachweise - Digitales Wartungsbuch - Digitale Zertifikate
Cyber Security & Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> - Anonyme Nutzungsdaten von Sharing-Produkten - Sichere Löschung von persönlichen Produktnutzungsdaten - Selektiver Datenzugriff und -teilung
Cloud Computing, Big Data & Data Analytics	<ul style="list-style-type: none"> - Skalierung der Rechenleistung trotz Hardwarereduktion - Verbindung komplexer Produkte an verschiedenen Standorten - Einfache Software-Verteilung & Remote Nutzung - Datenbereitstellung für Wertschöpfungsnetzwerk - Datenbasierte technologische Aufrüstung
Artificial Intelligence & Machine Learning, Predictive Systems	<ul style="list-style-type: none"> - Optimierte Materialmischungen / Designs (design for circularity) - Betriebsparameter optimieren - Verschleiß von Bauteilen und Komponenten erkennen - Intelligente Zustandsüberwachung (Erkennung von Anomalien) - Proaktive Entscheidungshilfen - Vorhersage von Ausfallzeiten - Intelligentes Ersatzteilmanagement (produce-on-demand) - Ausfallsichere Systeme und Reserven schrumpfen - Automatische Vorausplanung von Wartung, Reparatur & Rückführung - Garantieverlängerung bei Nutzungsdatenanalyse - Privacy-Preserving AI

Digitale Schlüsseltechnologien	Fallbeispiele für nachhaltige Innovationen
Digital Twins	<ul style="list-style-type: none"> - Virtuelle Inbetriebnahme und Testen - Entwicklung von Optimierungsstrategien - Verschleißermittlung durch Voraus-Simulation - Virtuelle Messdatengenerierung
Autonomous Systems, Smart Robotics & Automation	<ul style="list-style-type: none"> - Intelligente Sortieranlagen - Selbstlernende Roboter - Einsatz in sicherheitskritischen Umgebungen
Plattformtechnologien & Matchmaking	<ul style="list-style-type: none"> - B2B-Austauschplattform - Sharing-Plattformen (Verkleinerung des Produktpools) - Intelligente Produktpassung für Sharing-Produkte - Gemeinsame Einkaufsplattformen
RFID / NFC	<ul style="list-style-type: none"> - NFC-Etiketten zur Produktidentifizierung - Datenaustausch bei Nahfeldkommunikation - Digitale Bezahlungssysteme - Zugangskontrolle bei Produkten - Verknüpfung mit Produktpass - Produktidentifikation für geschlossene Produktverwendungskreisläufe (z.B. Krankenhauskleidung) - Rückverfolgbarkeit von Abfallströmen - Überwachung der Sortierqualität - Verursacherbezogene Gebühren (Pay-As-You-Throw), Anreizsysteme

Es ist auch meist die Kombination von Technologien, die die Realisierung und Skalierung von Kreislaufwirtschaftsmodellen ermöglicht. Es ist nicht, oder nur sehr schwer möglich, den Umfang ihres individuellen Beitrags herauszufinden bzw. zu quantifizieren (Rusch Magdalena, 2021, S. 11).

Die Anwendung von digitalen Technologien im Sinne der Kreislaufwirtschaft kann nicht isoliert (als Stückwerk) erfolgen, es erfordert einen Paradigmenwechsel bei der Auslegung des Geschäftsmodells, wie anhand des folgenden Beispiels deutlich wird:

Beispielsweise kann die Nachhaltigkeitsbestrebung eines Unternehmens, durch die Änderung ihres Geschäftsmodells von Produkt- zu Nutzungsorientiertheit, von z.B. Fahrrädern, einen weitreichenden Einfluss durch die Anwendung von digitalen Technologien bedeuten. Damit Fahrräder als Leihgeräte angeboten werden können (Intensivierung der Produktnutzung – Rethink), muss im Produktdesign die entsprechende digitale Adaption (z.B. Einbindung von NFC, GPS, 5G-Modul, etc.) dafür geplant werden (Intelligente Gestaltung – Rethink), in der Produktion hergestellt bzw. montiert (Einsatz von Rohstoffen reduzieren – Reduce) und beim Nutzer verfügbar gemacht werden (verlängerte Nutzungsdauer von Produkten – Reuse). Der Einsatz von digitalen Technologien für Nutzungs-, Zustands- und Ortungsüberwachung sind notwendig, um ein derartiges Geschäftsmodell zu ermöglichen und stimuliert weitere positive Effekte, wie Reparatur- und Wiederaufbereitungsdienstleistungen (Repair, Remanufacturing), beim Unternehmen.

6 Herausforderungen und Handlungsfelder

Um den Einsatz von digitalen Technologien für eine kreislaufbasierte Produktion bestmöglich unterstützen zu können (siehe Kapitel 7) ist es wichtig, die damit verbunden Herausforderungen zu kennen und zu berücksichtigen. Diese Herausforderungen betreffen Unternehmen sowohl bei der ökologischen als auch bei der digitalen Transformation.

Die in der Folge dargestellten Herausforderungen sind in Handlungsfeldern zusammengefasst, resultieren aus der Umfrage und den Expert:inneninterviews, und geben somit die aktuelle Situation aus Sicht der österreichischen Community wieder. Im Wesentlichen werden diese Aspekte auch in der einschlägigen Literatur angeführt. Zusammengefasst gilt es, den Unternehmensgegenstand neu zu denken, eine digitale Grundlage zu schaffen und mittels Innovationen nachhaltige Kreislaufösungen zu ermöglichen.

6.1. Wertschöpfung neu denken

Eine zirkuläre Wirtschaft ist eine „andere“ Wirtschaft, mit neuen Rollen, Prozessen, Verantwortlichkeiten und Partnerschaften. Dafür braucht es ein breites Verständnis in den Unternehmen. Wie die durchgeführte Umfrage und die Interviews zeigen, ist der Wissenstand der produzierenden Betriebe zu zirkulärer Wertschöpfung aktuell sehr heterogen. Wo die einen bereits Cradle to Cradle Ansätze verfolgen, setzen andere Kreislaufwirtschaft mit Rezyklierbarkeit ihrer Produkte gleich, für wiederum andere liegt der Fokus auf den Lebenszykluskosten eines Produktes. Daher braucht es, um zu einem gemeinsamen Verständnis zu kommen, Training und Bewusstseinsbildung in den Unternehmen, und zwar möglichst umfassend. Alle Mitarbeiter:innen sollen die Herausforderungen und die Chancen der Kreislaufwirtschaft verstehen und neue Lösungen mittragen. Dabei sehen Unternehmen folgende Herausforderungen.

- **Produkte-, Prozess- und Geschäftsmodellinnovationen**

Kreislaufwirtschaft erfordert Innovationen auf Produkt-, Prozess- und Geschäftsmodellebene. Dies wiederum verlangt ein gesamtheitliches, systemisches Prozessverständnis. Das Produkt wird als Ressource gesehen, die einen bleibenden Wert für das Unternehmen darstellt. Der Zugang der Konsistenz im Sinne einer naturverträglichen und ressourcenschonenden Gestaltung des Wirtschaftssystems löst das Denken der Effizienz ab. Endnutzer:innen werden aktiv in den Entwicklungsprozess mit eingebunden.

- **Kreislaufwirtschaftsstrategie gemeinsam mit der IT-Strategie in die Unternehmensstrategie integrieren**

Digitalisierung ist eine wichtige Ingredienz der Kreislaufwirtschaft. Um das Chancenfenster optimal zu nutzen, sollen die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft und die Digitalisierung gemeinsam betrachtet und umgesetzt werden. Die Entscheidung zur Kreislaufwirtschaft ist wie die Entscheidung zur Digitalisierung von der obersten Managementebene zu treffen. Gefragt sind dabei Promotoren auf vier Ebenen: Management, Mitarbeiter:innen mit CE-Wissen, Netzwerker um Firmennetzwerke aufzubauen, und Prozess-Expert:innen.

- **Produkt-Design auf Kreislaufwirtschaft ausrichten**

Das Produkt-Design ist von erheblicher Bedeutung, denn 80 % der Umwelteinflüsse eines Produktes werden im Produktdesignabteilungen festgelegt (Gahleitner Birgit, 2022, S. 5). Es geht um Materialauswahl, ressourceneffiziente Produktionsprozesse, neue Geschäftsmodelle, Rückführbarkeit und Wiederverwertung. Dies erfordert ein Denken in Zirkularität in verschiedenen Unternehmensabteilungen. Es erweist sich als notwendig, dass zum Beispiel Designabteilungen mit dem Einkauf und After Sales zusammen.

- **Lieferketten transparent machen und gemeinsamen USP erarbeiten**

Bei der zirkulären Wertschöpfung stehen die verwendeten Materialien, der Lebenszyklus des Produktes und die dahinterliegenden Geschäftsmodelle im Brennpunkt der Innovationen. Um die Auswirkungen der Produktion als Ganzes betrachten zu können, sind Transparenz der Lieferketten und tragfähige Zusammenarbeit und Datenaustausch nötig. Doch sind die Lieferanten für eine Optimierung ihrer Produkte in Richtung Kreislauffähigkeit bereit? Die Herausforderung liegt im Aufbau eines gemeinsamen Wertverständnisses, Kooperationsbereitschaft und Vertrauen. Nur so kein ein gemeinsamer USP erarbeitet werden. Deshalb lässt sich Kreislaufwirtschaft auf lokaler/regionaler Ebene mitunter leichter umsetzen. Auf europäischer Ebene wird derzeit ein europaweites Lieferkettentransparenzgesetz vorbereitet.

- **CE-Wirkung beweisen und sichtbar machen**

Die Transformation in eine zirkuläre Wertschöpfung ist mitunter mit hohen Investitionen in Ressourcen und Infrastruktur verbunden. Zusätzlich gibt es Bedenken zu Mehrwert und Konkurrenzfähigkeit von kreislauffähigen Produkten. Daher ist für einen Produktionsbetrieb die Balance zwischen Ökologie und Ökonomie von großer Bedeutung. Es ist wichtig, die Wirkung der Kreislaufwirtschaft auf Umwelt und Bilanz objektiv messbar und belegbar zu machen. Aus einer ganzheitlichen Perspektive soll die positive Wirkung auf Ökobilanz und CO₂-Footprint überprüfbar sein. Gewünscht sind standardisierte Zugänge, um die Umweltauswirkung objektiv zu beziffern und den Investitionen gegenüberzustellen zu können. Standards, Zertifikate und Umsetzungsbeispiele würden helfen.

6.2. Umsetzung beschleunigen

Die aus der nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie abgeleiteten Maßnahmen sollen einen integrierten Ansatz verfolgen, der ressortübergreifend einen übergeordneten Rahmen für eine digital-ökologische Transformation schafft. Es ist wichtig, den Akteuren der Kreislaufwirtschaft eine verlässliche Orientierung und Anreize für das eigene Handeln zu geben.

- **Anreizsysteme und rechtliche Rahmenbedingungen schaffen (z.B. Ausweitung der Ökodesign-Richtlinie)**

Trotz der ökologischen Dringlichkeit gibt es weder ein einheitliches Verständnis zu Kreislaufwirtschaft noch werden mitunter die Bedarfe und Umsetzungsmöglichkeiten gesehen. Es gilt wirtschaftspolitische Maßnahmen als Marktanreize zu schaffen, wie etwa über Förderungen oder einer Ökologisierung der Besteuerung. Klare rechtliche Rahmenbedingungen und die Einführung von Standards und Zertifizierungen geben Orientierung und unterstützen die Entscheidungsfindung. Dabei ist auf europäische Initiativen zu achten und einer Überregulierung entgegenzuwirken.

- **CE- und IT-Kompetenzen in den Unternehmen aufbauen und Wissenstransfer unterstützen**

Kreislaufwirtschaft erfordert ganzheitliches Denken und betrifft das gesamte Unternehmen, und nicht nur einzelne Bereiche oder Abteilungen. Entsprechendes Know-how und Veränderungsbereitschaft im Unternehmen ist aufzubauen und zu fördern. Erforderlich sind Investitionen in den Aufbau von firmeninternen CE- und IT-Kompetenzen, die Entwicklung eines entsprechenden Mindsets und abteilungsübergreifender Zusammenarbeit. Transdisziplinäre Teams erleichtern den Wissenstransfer und ein branchenübergreifender Austausch kann die Umsetzungsgeschwindigkeit beschleunigen.

- **Unsicherheiten reduzieren**

Für viele Betriebe ist Kreislaufwirtschaft mit Unsicherheiten behaftet, sei es betreffend Wirtschaftlichkeit, Konkurrenzfähigkeit, Investitionen, Risiko oder was den Mehrwert, aber auch die Nutzer:innenakzeptanz betrifft. Häufig stellt sich auch die Frage, wie sich die Beziehungen zwischen Unternehmen/Partnern verändern werden, ob es zu Kannibalisierungseffekten kommt, oder welche Auswirkungen der Einsatz von digitalen Technologien auf das Unternehmen und seine Mitarbeiter:innen hat. Unterstützend würden Maßnahmen zur Vertrauensbildung wirken, wie eine Bewusstseinsbildung über die Notwendigkeit der Kreislaufwirtschaft, Aufzeigen von Lösungsmöglichkeiten und Best-Practice Beispielen, Darstellung von Kosten- und Klimawahrheiten, Nutzer:innen-Awareness und Akzeptanz und die Ausweitung von Produkt-Zertifizierungsstandards (z.B. Cradle to Cradle) und Organisationsstandards (ISO/TC 323).

6.3. Digitale Voraussetzungen schaffen

Digitalisierung und Datenverfügbarkeit sind zentrale Voraussetzungen für das Gelingen der Kreislaufwirtschaft. Daraus ergeben sich folgende Herausforderungen.

- **Infrastruktur und Informationsflüsse im Unternehmen aufbauen**

Internationale Expert:innen verstehen die Kreislaufwirtschaft zunehmend als Datenwirtschaft, die Datenkreisläufe voraussetzt. Datenkreisläufe sind nur dann möglich, wenn Unternehmen und Akteure Daten teilen und in Instrumente wie den digitalen Produktpass einspeisen. Dies erfordert den Aufbau notwendiger Infrastruktur im Unternehmen. Daher ist es wichtig, den Digitalisierungsgrad in Produktionsbetrieben weiter zu steigern. Es braucht ein Verständnis, dass Daten und digitale Prozesse das eigene Handeln, Entscheidungen und die Interaktion mit Externen unterstützen. Daten müssen zusammengeführt, integriert und für weitere Analysen verfügbar gemacht werden. Aus den Rohdaten und Messwerten von vernetzten Sensoren und Datenquellen werden so Informationen, die als Wissen aufbereitet werden und neue Handlungsmöglichkeiten eröffnen können (Ramesohl Stephan, 2022, S. 22). Außerdem wird künftig die Nachfrage nach nachhaltigkeitsbezogenen Informationen steigen, um die Nachhaltigkeitswirkung der Unternehmen bewerten und ökologische Risiken reduzieren zu können.

- **Unternehmensübergreifende Speicherlösungen und –plattformen verwenden**

Datenkreisläufe sind nur dann möglich, wenn zuverlässige und sichere Infrastrukturen zur Datenspeicherung und -verarbeitung unter Wahrung der Souveränität der Nutzenden zur Verfügung stehen. Von der Lieferkette, über die Produktion bis hin zur Nutzungsphase muss das Unternehmen hochqualitative Daten erheben. Grenzen zwischen den Akteuren werden dadurch durchlässiger, sodass eine Kultur der gemeinsamen Datennutzung zum gemeinsamen Vorteil etabliert werden kann. Dies

erfordert die breite Einbindung von Stakeholdern, um koordiniert Infrastrukturen zu schaffen. Beispiel ist etwa der Aufbau der nächsten Generation von Cloud-Infrastrukturen und Services in Europa, das als Important Project of Common European Interest (IPCEI-CIS) definiert worden ist.

- **Branchenspezifische Datenpools und Regelungen zur Datenhoheit erarbeiten**

Es braucht klare Leitlinien, faire Regeln und eine vertrauenswürdige Data-Governance für den differenzierten Zugang und die Verwertung von Daten entsprechend der jeweiligen Rolle der Akteure. Als Beispiel seien hier die laufende internationale Initiative Gaia-X (www.gaia-x.eu) zum Aufbau einer leistungs- und wettbewerbsfähigen, sicheren und vertrauenswürdigen Dateninfrastruktur für Europa und deren anwendungsspezifische Ausprägung CATENA-X für die Automobilindustrie angeführt.

- **Standards und Schnittstellen (z.B. Open-Source-Standards für CE-Daten und –Informationen)**

Standards und Schnittstellen ermöglichen eine effiziente und flexible Skalierung in unterschiedlichen Anwendungsbereichen und erlauben Interoperabilität mit anderen Systemen. Die Entwicklung und/oder Harmonisierung von Standards betrifft vor allem offene Datenformate zum Austausch relevanter Informationen zwischen den Akteuren, wie bspw. im Zuge von Produkt- oder Materialpässen¹⁸.

- **Datensicherheit gewährleisten**

Gemeinsame Datennutzung erfordert verstärkte Anstrengungen in Datenverschlüsselung und -sicherheit. Informationen zum Produkt und seinen Umweltwirkungen sollen über den ganzen Lebenszyklus über Unternehmensgrenzen hinweg verfügbar gemacht werden. Das Vertrauen in Datensicherheit erfordert resiliente und transparente Speicherlösungen, wie es z.B. mittels Distributed Ledger und Blockchain Technologien möglich ist. Datenzugriff, Datentransfer und Datenänderungen werden damit von allen Akteuren über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg protokolliert und einsehbar.

6.4. Innovation ausrichten

Kreislaufwirtschaft bietet nicht nur Innovationschancen für die Entwicklung von Produkten, Prozessen und Geschäftsmodellen, sondern fordert explizit radikale Innovation für nachhaltige Produkte und Dienstleistungen. Digitalisierung ist dabei ein wesentliches Werkzeug.

- **CE-Ansatz verändert KPIs von Innovationen**

Gegenwärtig konzentriert sich Innovation in Unternehmen überwiegend auf die Entwicklung neuer Produkte und Prozesse durch technische Innovation. Durch kurze Innovationszyklen beschleunigen Unternehmen die Markteinführung, auch um im Wettbewerb des technologischen Wandels zu bestehen. Dem wirken langen Produktlebenszyklen, wie sie in der Kreislaufwirtschaft gefordert sind, entgegen. Aufgrund des systemischen Ansatzes der Kreislaufwirtschaft sind zirkuläre Lösungen oft als Systeminnovationen zu sehen, die nicht von einem Unternehmen alleine erfolgreich umgesetzt werden können. Demnach ändern sich die Erfolgsindikatoren von Innovationen. Auf Produktebene liegen die Innovationen im Bereich der Materialauswahl und -zusammensetzung, Verwendung von Sekun-

¹⁸ Der Materialpass wird häufig in Zusammenhang mit Gebäuden verwendet und kennzeichnet Qualität, Herkunft und Lage von Materialien und bewertet Möglichkeiten der Rückgewinnung und des Recyclings.

därrohstoffen sowie der Rückgewinnung und Wiederverwertung, wohingegen auf Geschäftsmodellebene Dienstleistungsinnovationen im Vordergrund stehen, bei denen unter anderem neue Verrechnungseinheiten (z.B. Funktionalität statt Menge) angesetzt werden.

- **Neue Rollen und Kompetenzen in Innovationsprojekten**

Die erfolgreiche Umsetzung von Innovationen in der Kreislaufwirtschaft verlangt neue Kompetenzen in den Bereichen Produktdesign (z.B. Gestaltung von Recyclingfähigkeit), Prozessdesign (z.B. Automatisierte Demontagesysteme) Geschäftsmodellentwicklung (Produkt-Service-Systeme), Management der Produktrückflüsse und – als Querschnittskompetenz von besonderer Relevanz – interorganisationale Zusammenarbeit mit Partnern entlang der gesamten Wertschöpfungskreisläufe (Hansen Erik G., 2019). Gefragt sind transdisziplinäre Teams unter zusätzlicher Einbindung von Expert:innen aus den Bereichen Kreislaufwirtschaft (z.B. Anforderungen), Technologiefolgenabschätzung, ökobilanzielle Betrachtungen, aber auch Digitalisierung (z.B. Data Scientists).

- **Digitalisierung ist integrativer Bestandteil**

Digitale Technologien sind ein wichtiger Treiber für zirkuläre Lösungen. Gegenwärtig sind die Möglichkeiten der Digitalisierung bei weitem nicht ausgeschöpft. Daher gilt es Digitalisierung voranzutreiben mit dem Ziel, Daten von Produkten, Komponenten und Materialien bereitzustellen, Wertschöpfungsketten intelligent zu vernetzen und einen vertrauensvollen Datenaustausch zu gewährleisten, und digitale, weitgehend ergebnisorientierte Geschäftsmodelle zu entwickeln.

Die Herausforderungen scheinen überwältigend, denn Kreislaufwirtschaft beansprucht eine Richtungsänderung und verlangt Risikobereitschaft. Doch auch kleine Schritte in die neue Richtung sind sinnvoll.

7 Handlungsempfehlungen

Die Politik steht in der Verantwortung, in den nächsten Jahren konsistente Zielbilder, verbindliche Vorgaben und attraktive Anreizsysteme sowohl für die digitale als auch die ökologische Transformation der Wirtschaft zu formulieren. Diese geben Orientierung und Sicherheit und motivieren Unternehmen wie Privatpersonen zu kreislaufbasiertem Handeln.

Im Hinblick auf die diskrete Produktion in Österreich und auf Basis der identifizierten Herausforderungen (Kapitel 6) werden in der Folge Handlungsempfehlungen für die öffentliche Hand abgeleitet. Der Fokus liegt dabei auf Forschung, Technologie und Innovation und den Möglichkeiten des BMK, durch den Einsatz von digitalen Schlüsseltechnologien, die Entwicklung der kreislaufbasierten Produktion in Österreich zu beschleunigen.

Die Handlungsempfehlungen sind in vier Bereiche zusammengefasst:

- Bewusstsein bilden
- Rahmenbedingungen schaffen
- Digitalisierung vorantreiben
- FTI-Ausschreibungen gestalten

Es ist wichtig, sich stets in Erinnerung zu rufen, dass sich die vorliegende Studie auf digitale Schlüsseltechnologien und ihre Bedeutung für die kreislaufbasierte Produktion konzentriert. Obwohl allgemeine Herausforderungen der Kreislaufwirtschaft, wie Bewusstsein schaffen, Humanressourcen aufbauen oder innovative Geschäftsmodelle entwickeln, nicht gänzlich ausgeklammert werden können, wird Kreislaufwirtschaft im Rahmen dieser Studie stets in Verbindung mit Digitalisierung gesehen.

7.1. Bewusstsein bilden

Die zögerliche Auseinandersetzung mit der Kreislaufwirtschaft liegt mitunter am fehlenden Bewusstsein für nachhaltige Lösungen (siehe dazu Kapitel 5.1.3, 5.4 oder 6.1). Der Wissensstand hinsichtlich Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung ist in den österreichischen Unternehmen sehr unterschiedlich. Teilweise wird Recycling alleine bereits als Kreislaufwirtschaft gesehen, teilweise wurden bereits Cradle to Cradle Konzepte eingeführt. Daher sollte ein Schwerpunkt auf Bewusstseinsbildung und Wissensvermittlung gelegt werden.

- Kommunikation über die **Ausgestaltung der Kreislaufwirtschaft**. Es gilt, Unternehmen für zirkuläre Lösungen zu sensibilisieren und Unterstützung bei der Suche nach innovativen Ansätzen anzubieten. Sichtbarkeit, das einheitliche Verständnis hinsichtlich der Anforderungen und der gesellschaftlichen Bedeutung der Kreislaufwirtschaft sind das Ziel einer faktenbasierten Öffentlichkeitsarbeit; etwa über Newsletter, Informationskampagnen in Abstimmung mit den Bundesländern oder der WKO, aber auch Workshops im Forschungs- und Entwicklungsumfeld.
- Die **Rolle der Digitalisierung** in der Kreislaufwirtschaft wird mitunter unterschätzt. Doch sind es gerade Unternehmen mit einem hohen Digitalisierungsgrad, denen die zirkuläre Transformation leichter fällt (z.B. Rückverfolgung oder Wartung von Produkten). Daher soll ein Bewusstsein über

die Bedeutung der Digitalisierung für die Zirkulärwirtschaft aktiv geschaffen und Einsatzmöglichkeiten sowie Herausforderungen kommuniziert werden.

- Klarheit über die **Wichtigkeit des Designs-for-Circularity** ist von großer Bedeutung für einen erfolgreichen Eintritt in die Kreislaufwirtschaft. Denn hier werden Rohstoffeinsatz, Geschäftsmodelle, aber auch Datenverfügbarkeit und digitale Kreislaufkonzepte bestimmt.
- Breite Sichtbarkeit von **erfolgreichen Umsetzungen**. Hier geht es um die verständliche Aufbereitung von Forschungs- und Entwicklungsergebnissen und Erfolgsgeschichten von Unternehmen sowie von Leitprojekten für eine breite Öffentlichkeit und deren Verbreitung (z. B. über Social-Media-Kanäle, Newsletter, Webportale).

7.2. Rahmenbedingungen schaffen

Um von den Möglichkeiten der digitalen Technologien für die Kreislaufwirtschaft zu profitieren, ist es wichtig, einen kohärenten Rahmen unter Einbeziehung der zahlreichen Akteure einer digitalisierten, zirkulären Wertschöpfung zu entwickeln. Dies erfordert spezifische Maßnahmen, wie:

- Aufbau eines **Multi-Stakeholder-Ökosystems**. Die Etablierung von und Beteiligung an einem innovativen inter- und transdisziplinären Ökosystem hilft, Synergien zu bilden, gemeinsam Herausforderungen anzugehen, Wissen zu transferieren und Vertrauen zu schaffen. Netzwerke und Kooperationen senken die Eintrittshürde. In einem ersten Schritt unterstützt das eine **Kompetenzlandkarte** der Bereiche Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft, die die nationalen Stakeholder aus Wirtschaft und Forschung erfasst.
- **Humanressourcen** in den Bereichen Digitalisierung/IT und Kreislaufwirtschaft aufbauen und die Verknüpfung der Expertise in Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung fördern. Gezielt Kreislaufwirtschaft in technische Studiengänge integrieren oder eine Stiftungsprofessur für die digitale Kreislaufwirtschaft implementieren.
- **CE- und IT-Kompetenzaufbau** durch Förderung von Schulungen, Trainings und andere Weiterbildungsmaßnahmen. Entsprechende Kompetenzen im Unternehmen bauen Aversionen und Hürden ab und erleichtern den Einstieg in die Kreislaufwirtschaft, um so die ökologische und digitale Transformation zielorientiert und konsequent voranzutreiben.
- Festlegung zentraler **Definitionen** und Schaffung klarer **rechtlicher Rahmenbedingungen** und Richtlinien. Diese sind für die Standardisierung von Materialien, Produkten und Prozessen ebenso wichtig, wie für die Bereitstellung zuverlässiger Metriken für künftige Entwicklungen. Die mit unterschiedlichen Governance-Ebenen abgestimmte Definition von Regeln und Zielen der Kreislaufwirtschaft gibt Orientierung und unterstützt eine nachhaltige Marktentwicklung. Weiters sollen Qualitätsstandards für Produkte, Materialien und Prozesse unter breiter Einbindung der Stakeholder entwickelt werden.
- Analyse- und **Bewertungstools** vereinheitlichen bzw. zertifizieren. Dies ermöglicht eine objektive und faktenbasierte Betrachtung der Kreislauffähigkeit und Umweltwirkung (Ökobilanz) von Produkten.

- **Anreize** für Zirkularität schaffen. Ökonomische/fiskalische Instrumente wie eine Ökologisierung der Besteuerung (z.B. Besteuerung Primärstoffe, Arbeitskraft entlasten) oder finanzielle Anreize (z.B. Investitionsprämie) unterstützen die Entwicklung nachhaltiger Produkte und Geschäftsmodelle.
- **Öffentliche Beschaffung** als Hebel. Nationale und regionale Behörden haben die Verantwortung, durch ihre Beschaffungspraktiken die ökologische Transformation voranzutreiben. Dabei sollen zirkuläre Anforderungen und Ziele vorgegeben werden. Die öffentliche Hand hat hier Vorbildwirkung.

7.3. Digitalisierung vorantreiben

Digitalisierung ist ein Treiber der Kreislaufwirtschaft. Es gilt Voraussetzungen zu schaffen, um den Einsatz von digitalen Technologien für die Entwicklung zirkulärer Lösungen zu erleichtern.

- Schaffung von **Datenräumen** und –plattformen zum Datenpooling und Teilen von kreislaurelevanten Informationen (z.B. zentralisierte Plattformen), damit diese Daten und Informationen für den Markt und die Forschung und Entwicklung zur Verfügung stehen.
- Bewusstsein schaffen für **Distributed-Ledger-Technologien** (z.B. Blockchain) und deren Einsatz bei Produktionsbetrieben unterstützen, um die Nachverfolgbarkeit von Produkten, Komponenten und Materialien, sowie einen sicheren Datenaustausch zu ermöglichen.
- **Standardisierungsinitiativen** unterstützen, Regulierung zu Datenschutz und Datensicherheit, Regulierung zu Open Data und Datenstandardisierung. Sichere Normen für offene Datenformate (z.B. Produktpass) unterstützen, sowie den damit verbundenen Datenaustausch (Produktnutzung, -zustand, -wartung oder -reparatur). Unterstützung der Wirtschaft, im Rahmen nationaler und internationaler Gremien entsprechende Standards und Normen zu erarbeiten.
- Vertretung in relevanten europäischen **Gremien** (z.B. Produktpass), um FTI-Agenden und Standardisierungsprozesse mitgestalten zu können.
- Aufbau von **Humanressourcen**. Siehe 7.2.

7.4. FTI-Ausschreibungen gestalten

Nationale FTI-Förderprogramme sind ein gutes Instrument, um gezielt Produkt-, Prozess- und Geschäftsmodellinnovationen und -entwicklungen für eine kreislaufbasierte Produktion zu fördern. Dabei gilt es nach Meinung der Expert:innen, das Ökosystem produzierender Unternehmen bewusst zu öffnen, den ökologischen und ökonomischen Vorteil der zirkulären Wertschöpfung aufzuzeigen und über Leitprojekte die Sichtbarkeit und den Wissenstransfer zu unterstützen.

Für die Ausgestaltung von FTI-Ausschreibungen können folgende Anregungen gegeben werden:

- **Innovationsbegriff** in Ausschreibungen anpassen. Zirkuläre Entwicklungen sind neben der technischen Innovation mehrheitlich Systeminnovationen, sodass auch diesen Zugängen Raum gegeben werden muss.

- Ökosystem bewusst öffnen. Durch gezielte **Vernetzung** unterschiedliche Branchen und Stakeholder zusammenführen und gegenseitiges Lernen ermöglichen.
- **Leitprojekte** ausschreiben und neben der technologischen Entwicklung einen Fokus auf Sichtbarkeit, Dokumentation und Wissenstransfer setzen. So kann verstärkt Kompetenz am Standort Österreich aufgebaut werden.
- **Machbarkeitsstudien** zur Identifizierung der geeignetsten CE-Lösung (z.B. Nutzungsszenarien analysieren, dann Produkt designen) anbieten. Zusätzlich zu Design-for-Recycling innovative Geschäftsmodelle (Produkt-Service-Systeme) forcieren.
- **Datenkreisläufe** und Maßnahmen zur Datensicherheit bereits im Antrag aufzeigen.
- **Ökologischen und ökonomischen Vorteil** bestimmbar machen und aufzeigen. Faktenbasierte Bestimmung der Kreislauffähigkeit der Neuentwicklung sowie ihrer ökologischen Auswirkungen und ihres ökonomischen Mehrwerts.
- Fokus auf **anwendungsnahe Lösungen** (Kunden/Nutzer:innen aktiv einbinden, Nutzungsszenarien) und **interdisziplinäre Teams** (digitale, Data Scientists einbinden) zur Optimierung systemischer Effekte auf Material-, Produkt-, Prozessebene und Geschäftsmodellebene.

Forschungsthemen

Forschungsthemen für den Einsatz digitaler Technologien für zirkuläre Lösungen werden seitens des Studienteams vor allem auf den Innovationsebenen der Kreislaufwirtschaft gesehen. Der Fokus liegt nicht auf der Erforschung und Entwicklung einzelner vielversprechender Digitaltechnologien, sondern werden digitale Technologien vielmehr als Hilfsmittel oder Werkzeuge betrachtet, um Innovationen auf Produkt-, Prozess- oder Geschäftsmodellebene zu realisieren. Dabei spielt Datensicherheit und Wissensverwertung eine wesentliche Rolle.

- **Produktinnovation:** Ziel ist Datentransparenz und das Schließen von Datenkreisläufen auf Produktebene unter Einbeziehung rechtlicher Rahmenbedingungen. Analysiert werden unter anderem Datenquellen, Datenverfügbarkeit, Datentransfer und Schnittstellen entlang der Wertekette. Dazu braucht es Lieferkettentransparenz und enge Zusammenarbeit der unterschiedlichen Akteure.
- **Prozessinnovation:** Ziel ist die Abbildung des Prozesses von Produktion über extended use bis hin zum Recycling über einen digitalen Zwilling. Dies ermöglicht eine Prozessoptimierung, einen optimierten Ressourceneinsatz und das Schließen von Stoffkreisläufen.
- **Geschäftsmodellinnovation:** Ziel ist der Einsatz digitaler Technologien zur Intensivierung der Produktnutzung und Neuausrichtung des Nutzungsverhaltens. Dabei sollen bei den Produkt-Service-Systemen die Nutzungs- und Service-Orientierung im Vordergrund stehen. Einsatzbeispiele sind etwa die funktionale Abrechnung (as-a-service, pay-per-use), Qualitätssicherung oder Plattformen.

- **Sicherheit:** Cyber-Security und Cyber-Safety ist essentiell für Kreisführung von Daten. Hier spielen Datenverschlüsselung, Datensicherheit, Datenanonymisierung und die Vertrauenswürdigkeit der Daten eine wesentliche Rolle, z.B. auch in Vorbereitung des Produktpasses.
- **Shared innovation:** Die Verwertung des generierten Wissens unterstützt Forschungs- und Umsetzungsteams. Beispiele hierfür sind etwa Entscheidungshilfe-Tools, Datenpooling, Plattformen zum Transfer von Informationen.

FTI-Instrument Leitprojekt

Seitens Expert:innen würde das FTI-Instrument Leitprojekt als Best-Practice unter Einbeziehung aller Stakeholder die Sichtbarkeit einer kreislaufbasierten Produktion erhöhen und als Anwendungsbeispiel konkret die technischen, wirtschaftlichen, rechtlichen und organisatorischen Herausforderungen aufzeigen. Durch gezielten Wissenstransfer gibt es Orientierung und Entscheidungshilfe für produzierende Unternehmen. Das Leitprojekt soll folgende Anforderungen erfüllen:

- **Design for CE,** unter Berücksichtigung von **Safe- and Sustainable-by-Design (SSbD)**. Das Design des Produktes konzentriert sich auf dessen Zirkularität. Zusätzlich gilt es, die Risiken und Unsicherheiten für Mensch und Umwelt in der frühen Phase des Innovationsprozesses zu identifizieren (Safe-by-Design Definition OECD 2020, SSbD Definition EC 2020) und zu minimieren. Dies betrifft das Material/Produkt, den Produktionsprozess sowie die Produktnutzungs- und end-of-life-phase.
- **Geschäftsmodellinnovation.** Produkt-Service-Systeme sind integraler Bestandteil des Leitprojektes. Hier wird ein Raum geschaffen, um radikale digitale Dienstleistungsgeschäftsmodelle zu entwickeln, zu erproben und zu evaluieren. Durch den systemischen Ansatz ist es wichtig, Stakeholder des zirkulären Wertschöpfungsnetzes breit und aktiv einzubinden. Dabei kommt dem Endnutzer ebenso eine wichtige Rolle zu (im Mittelpunkt stehen Anforderungen und Funktion, und weniger das physische Produkt) wie den Bereitstellern von Digitaltechnologien.
- **Zirkuläre Strategien.** Einbindung so vieler R-Strategien wie sinnvoll möglich, auch wenn sich diese je nach Anwendungsfall bei den verschiedenen Akteur:innen der zirkulären Wertschöpfung in ihrer Wirkung und Bedeutung unterscheiden.
- **Datenkreisläufe.** Ein geschlossener Wirtschaftskreislauf erfordert geschlossene Datenkreisläufe. Daher gilt es diese präzise darzustellen. Ebenso wichtig sind Angaben zur Datengrundlage, Datenerhebung und -analyse, sowie Datenmanagement und Datensicherheit. Dabei ist auf die Umweltwirkung der digitalen Technologien zu achten.
- **Inter- und transdisziplinäre Teams.** Der Austausch zwischen verschiedenen Disziplinen und Stakeholdern (Data Scientist, CE-Akteur, Produzenten, Materialbereiter, Logistiker, Endnutzer, ...) dient dem gegenseitigen Lernen, hilft eine gemeinsame Sprache zu entwickeln, schafft Vertrauen und unterstützt einen systemischen Zugang.
- **Themenoffen.** Kreislaufwirtschaft betrifft alle Branchen und sollte nicht vorab eingeschränkt werden. Vorstellbar wäre ein zweistufiges Bewerbungssystem. Nach einem Prozess der Ideenfindung wird der beste Ansatz ausgewählt und ausgeschrieben.

- **Technologieoffen.** Digitale Technologien sind ein Instrument zur Realisierung einer zirkulären Wertschöpfung und weniger Forschungsobjekt. Daher erscheint es bedeutender, Ziele, Wirkung und Erfolgsindikatoren als Herausforderung vorzugeben, als ein digitales Umsetzungsinstrument und dessen Entwicklung.
- **Mehrwert.** Eine Quantifizierung des ökologischen, ökonomischen und sozialen Mehrwerts ist Erfolgsindikator des Leitprojekts. Dabei muss auch die Umweltwirkung der eingesetzten Technologien miteinbezogen werden.
- **Sichtbarkeit, Dokumentation und Wissenstransfer.** Viele Produktionsbetriebe sind unsicher, was die Anforderungen, die Umsetzung und den Mehrwert zirkulärer Lösungen betrifft. Daher sind eine gute Kommunikation und Sichtbarkeit des Leitprojekts von besonderer Bedeutung. Eine durchgängige Dokumentation und Bereitstellung von Daten und Informationen unterstützt den Wissenstransfer und erleichtert künftige Umsetzungsbestrebungen.

Der digitale Wandel und die ökologische Transformation der Produktion zeigen nicht nur den Weg in die Klimaneutralität, sondern können auch zur Resilienz globaler Lieferketten und Robustheit gegenüber Rohstoffkrisen beitragen. Oft wird dieses Potential in der österreichischen Produktion weder erkannt noch die eigene Rolle und Verantwortung in diesem Transformationsprozess gesehen. Unternehmen müssen eigene Strategien und Roadmaps entwickeln und erfolgskritische Partnerschaften und Ökosysteme für die Umsetzung der jeweiligen zirkulären Strategie aufbauen, mit dem Ziel, ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltige Produkte und Dienstleistungen anzubieten. Dazu gilt es Bewusstsein zu bilden, Unsicherheit durch geeignete Rahmenbedingungen zu reduzieren und Digitalisierung voranzutreiben. Gezielte, unterstützende Maßnahmen im Rahmen von nationalen FTI-Programmen können helfen, kreislaufbasierte Produktion in Österreich zu etablieren.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Methodik DigiTech4CE (eigene Darstellung)	14
Abbildung 2: Rollen in der zirkulären Wertschöpfung (Circular Globe, 2022).....	17
Abbildung 3: Zirkuläre Strategien / R-Strategien (Mast Julian, 2022, S. 1)	18
Abbildung 4: Zirkuläre Wertschöpfung in der Produktion (Pliester Felix, 2022)	19
Abbildung 5: Ziele, Zugang und Umsetzung von Kreislaufwirtschaft im Produktionsunternehmen (eigene Darstellung)	20
Abbildung 6: Produkt-Service-Systeme (Hansen Erik W. P., 2021, S. 31)	21
Abbildung 7: Datentransformationsebenen und digitale Funktionskategorien, basierend auf (Kristoffersen Eivind, 2022, S. 248)	25
Abbildung 8: Technologiematrix (eigene Darstellung).....	31
Abbildung 9: Technologieprofil Künstliche Intelligenz / Maschinelles Lernen (eigene Darstellung)....	34
Abbildung 10: Smarte Kreislaufwirtschaftsstrategien, in Anlehnung an (Hansen Erik R. F., 2020, S. 13)	35
Abbildung 11: Branchenfokus (n=99, eigene Darstellung).....	37
Abbildung 12: Mehrwert kreislaforientierte Produktion (n=77, eigene Darstellung)	37
Abbildung 13: Vielversprechende CE-Strategien (n=67, eigene Darstellung).....	38
Abbildung 14: Wahrgenommene Barrieren (n=75, eigene Darstellung)	38
Abbildung 15: Einsatz von digitalen Schlüsseltechnologien (n=118, eigene Darstellung)	39
Abbildung 16: Vielversprechende Anwendungsbereiche (n=107, eigene Darstellung).....	40
Abbildung 17: Digitale Kreislaufwirtschaft, in Anlehnung an (Barteková Eva, 2022, p. 17).....	47
Abbildung 18: Technologieprofil Beschreibung (eigene Darstellung).....	68
Abbildung 19: Technologieprofil Industrial IoT (eigene Darstellung)	69
Abbildung 20: Technologieprofil Edge Computing (eigene Darstellung)	70
Abbildung 21: Technologieprofil RFID / NFC (eigene Darstellung)	71
Abbildung 22: Technologieprofil Digital Product Pass (eigene Darstellung).....	72
Abbildung 23: Technologieprofil Big Data (eigene Darstellung)	73
Abbildung 24: Technologieprofil Cloud Computing (eigene Darstellung).....	74
Abbildung 25: Technologieprofil DLT & Blockchain (eigene Darstellung).....	75
Abbildung 26: Technologieprofil Cyber Security (eigene Darstellung)	76
Abbildung 27: Technologieprofil AR/VR (eigene Darstellung)	77
Abbildung 28: Technologieprofil Data Analytics (eigene Darstellung).....	78
Abbildung 29: Technologieprofil KI / ML (eigene Darstellung)	79
Abbildung 30: Technologieprofil Predictive Systems (eigene Darstellung)	80
Abbildung 31: Technologieprofil Robotics Automation & Autonomous Systems (eigene Darstellung)81	
Abbildung 32: Technologieprofil Digital Twins (eigene Darstellung)	82
Abbildung 33: Technologieprofil Online Plattformen (eigene Darstellung).....	83

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Akteur:innen in der Kreislaufwirtschaft, in Anlehnung an (Hansen Erik W. P., 2021, S. 23-24)	17
Tabelle 2: Hindernisse Wiederproduktion (Hansen Erik W. P., 2021, S. 52).....	23
Tabelle 3: 20 digitalen Schlüsseltechnologien mit Kategorisierung in digitale Funktionskategorien (eigene Darstellung)	27
Tabelle 4: Anwendungsbereiche digitaler Technologien in der Kreislaufwirtschaft (eigene Darstellung)	48
Tabelle 5: Technologiekombinationen und Fallbeispiele (eigene Darstellung)	50

Abkürzungsverzeichnis

AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
5G/6G	Fifth Generation Wireless/Sixth Generation Wireless
B2B	Business-to-Business
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
C2C	Cradle to Cradle
CE	Kreislaufwirtschaft, „circular economy“
CEAP	Circular Economy Action Plan
DigiTech	Digitale Technologien
DigiTech4CE	Studienakronym „Digitale Schlüsseltechnologien für eine kreislaufbasierte Produktion“
DIY	Do-It-Yourself
DLT	Distributed Ledger Technology
DT	Digitale Technologien
F&E	Forschung und Entwicklung
FH	Fachhochschule
FFG	Österreichische Forschungsfördergesellschaft
FTI	Forschung, Technologie und Innovation
GPS	Global Positioning System

IloT	Industrial Internet-of Things
IoT	Internet-of-Things
IPCEI-CIS	Important Project of Common European Interest- Cloud-Infrastructures and Services
IPR	Intellectual Property Rights, Rechte am Geistigen Eigentum
IT	Informationstechnologie
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Klein- und Mittelbetriebe
ML	Machine Learning
NFC	Near Field Communication
OEM	Original Equipment Manufacturer
PESTEL	Politisch, wirtschaftlich, organisatorisch, technisch, ökologisch und rechtlich
R&D	Research and Development, F&E
RFID	Radio Frequency Identification
r-PET	recycltes PET (Polyethylenterephthalat)
R-Strategien	Lebensverlängernde Kreislaufwirtschaftsstrategien: Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Remanufacture, Recycle, Recover
SSbD	Safe-and Sustainable-by-Design
USP	Unique Selling Proposition, Alleinstellungsmerkmal
VR	Virtual Reality

9 Literaturverzeichnis

- Alcayaga Andres, H. E. (2022). *Internet of Things Enabling the Circular Economy: An Expert Study of Digitalisation Practices in B2B Firms*. Institute for Integrated Quality Design (IQD), Johannes Kepler University Linz (JKU), Austria.
- Barteková Eva, B. P. (2022). Digitalisation for the transition to a resource efficient and circular economy. *OECD Environment Working Papers*, 192, 64.
- Bundesministerium für Klimaschutz, U. E. (2022). *Österreich auf dem Weg zu einer nachhaltigen und zirkulären Gesellschaft - Die österreichische Kreislaufwirtschaft*. Wien.
- Chetna Chauhan, V. P. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting & Social Change*, 18.
- Circular Globe. (2022). What defines a circular economy? Abgerufen am 20. 10 2022 von <https://www.circular-globe.com/en>
- Eivind Kristoffersen, F. B. (2020). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework. *Journal of Business Research*, 241-261.
- Europäische Kommission. (2020). *Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa*. Brüssel.
- Europäische Kommission. (30. 03 2022). *Pressemitteilung. Der Grüne Deal: Neue Vorschläge, um nachhaltige Produkte zur Norm zu machen und Europas Ressourcenunabhängigkeit zu stärken*. Abgerufen am 30. 11 2022 von https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_22_2013
- Gahleitner Birgit. (2022). Circular Globe - Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft - eine Symbiose!? *Keynote*. DigiTech4CE Online-Workshop.
- Hansen Erik G., S. J. (2019). Zirkulärwirtschaft als Chance: Innovative Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle wertschöpfungsübergreifend gestalten. *Wirtschaftspolitische Blätter*, 405-422.
- Hansen Erik, R. F. (11 2020). *Circular Economy erfolgreich umsetzen: die Rolle von Innovation, Qualitätsstandards & Digitalisierung. Whitepaper*. Von Quality Austria. abgerufen
- Hansen Erik, W. P. (2021). *Zirkuläre Geschäftsmodelle: Barrieren überwinden, Potenziale freisetzen*.
- Jakl Thomas, S. P. (2007). *Chemical Leasing goes global*. Wien: Springer.
- Kristoffersen Eivind, B. F. (2022). The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework for manufacturing companies. *Journal of Business Research*, 241-261.
- Mast Julian, v. U. (2022). R-strategies as guidelines for the Circular Economy. *RETHINK. Impulse zur zirkulären Wertschöpfung*.

- Pliester Felix. (2022). *Warum Kreislaufwirtschaft ein entscheidender Innovations-Booster sein wird*. Abgerufen am 15. 11 2022 von LUMANAA: <https://lumanaa.de/sprachrohr/kreislaufwirtschaft-motivationsbooster>
- Qinglan Liu, A. H. (2021). A framework of digital technologies for the circular economy: Digital functions and mechanisms. 2171-2192.
- Ramesohl Stephan, B. H. (2022). *Circular Economy und Digitalisierung - Strategien für die digital-ökologische Industrietransformation*. Wuppertal Institut, Deutschland.
- Rusch Magdalena, S. J.-P. (2021). Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review.
- Schögl Josef-Peter, S. L. (2022). Die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in österreichischen Unternehmen – Praktiken, Strategien und Auswirkungen auf den Unternehmenserfolg. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 74, S. 51–63.

10 Anhang: Technologieprofile

Die Technologieprofile umfassen die im Bericht genannten digitalen Schlüsseltechnologien und beschreiben diese hinsichtlich ihrer Funktion und Datenkategorisierung. Die Technologiezuordnung enthält die möglichen Kreislaufwirtschaftsakteure, die Anwendungsfelder der Technologie und die Impactbewertung in Bezug auf die Kreislaufwirtschaftsziele. Weiters enthalten sind Hindernisse und Hürden sowie mögliche Handlungsfelder auf verschiedenen Ebenen hinsichtlich Technologieeinsatz. Im Feld Verwendung sind der aktuelle Stand des Technologieeinsatzes der befragten Unternehmen sowie das Potential enthalten. Ein aktuelles Einsatzbeispiel bzw. aktueller Status zur jeweiligen Technologie runden das Technologieprofil ab (siehe Abbildung 18: Technologieprofil Beschreibung). In Kapitel 5.2.3 ist die Gliederung eines Technologieprofils, exemplarisch für die Technologie Künstliche Intelligenz, beschrieben.

Abbildung 18: Technologieprofil Beschreibung (eigene Darstellung)

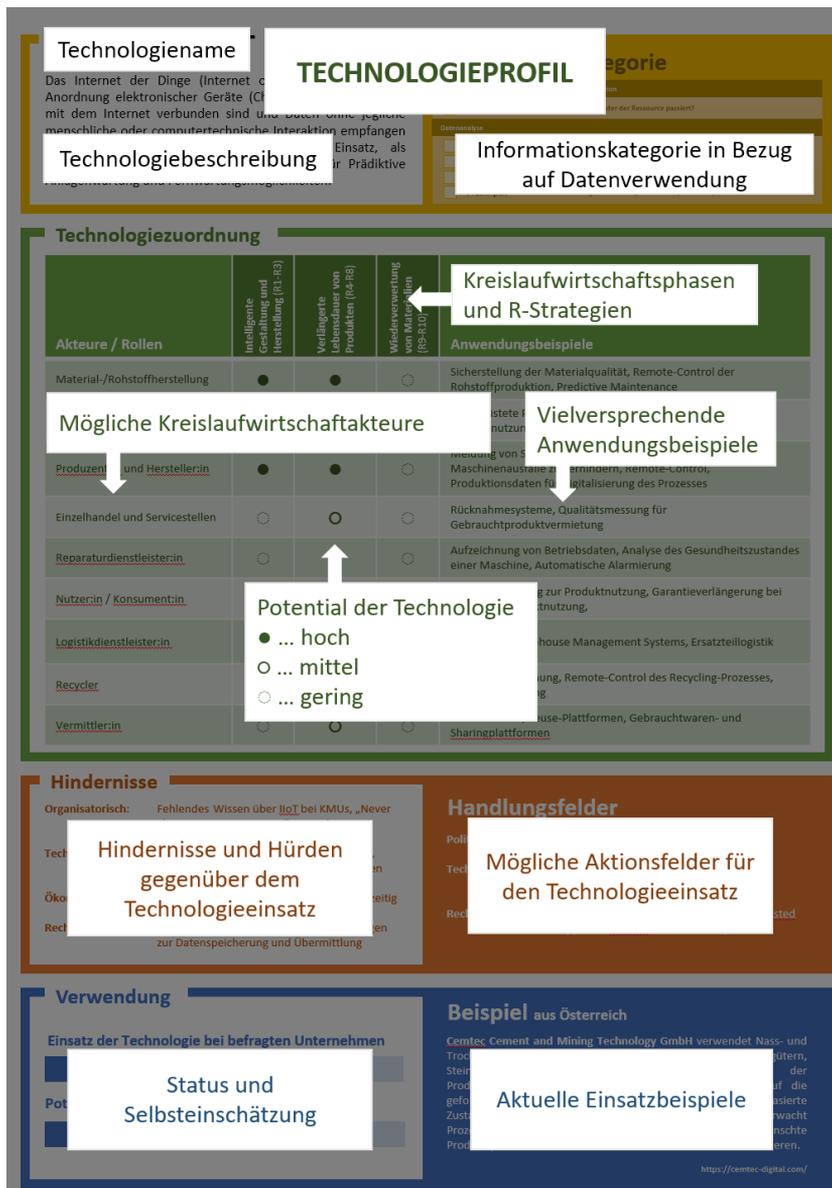


Abbildung 19: Technologieprofil Industrial IoT (eigene Darstellung)

Industrial IoT

Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) ist eine Anordnung elektronischer Geräte (Chips, Sensoren, etc.) die mit dem Internet verbunden sind und Daten ohne jegliche menschliche oder computertechnische Interaktion empfangen und austauschen können. Im industriellen Einsatz, als Industrial IoT bezeichnet, ist es ein Enabler für Prädiktive Anlagenwartung und Fernwartungsmöglichkeiten.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure / Rollen	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	○	Sicherstellung der Materialqualität, Remote-Control der Rohstoffproduktion, Predictive Maintenance
Maschinenlieferant:in	●	●	○	IoT-gerüstete Produkte, Garantieverlängerung bei optimaler Produktnutzung
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	○	Meldung von Störungen im Produktionsprozess um Maschinenausfälle zu verhindern, Remote-Control, Produktionsdaten für Digitalisierung des Prozesses
Einzelhandel und Servicestellen	○	○	○	Rücknahmesysteme, Qualitätsmessung für Gebrauchtproduktvermietung
Reparaturdienstleister:in	○	●	○	Aufzeichnung von Betriebsdaten, Analyse des Gesundheitszustandes einer Maschine, Automatische Alarmierung
Nutzer:in / Konsument:in	○	●	○	Datengenerierung zur Produktnutzung, Garantieverlängerung bei optimaler Produktnutzung,
Logistikdienstleister:in	○	●	○	Intelligente Warehouse Management Systems, Ersatzteillogistik
Recycler	○	●	●	Prozessüberwachung, Remote-Control des Recycling-Prozesses, Qualitätssicherung
Vermittler:in	○	○	○	Second-Hand-/Reuse-Plattformen, Gebrauchtwaren- und Sharingplattformen

Hindernisse

Organisatorisch: Fehlendes Wissen über IIoT bei KMUs, „Never change a running system“-Mentalität

Technisch: Digitale Infrastruktur zum Datenaustausch, Nachrüstbarkeit von bestehenden Systemen

Ökonomisch: Parallelbetrieb alter/neuer Anlagen gleichzeitig

Rechtlich: International unterschiedliche Regulierungen zur Datenspeicherung und Übermittlung

Handlungsfelder

Politisch: Förderung von IIoT Integration bei KMUs

Technologisch: Datensicherheit, Maßgeschneiderte Nischenlösungen, Offene Schnittstellen

Rechtlich: Datenschutzrichtlinie, Zertifizierungen (Trusted Apps and Trusted Cloud Services)

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potentialeinschätzung für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus Österreich

Cemtec Cement and Mining Technology GmbH verwendet Nass- und Trockenmahltechnologien für viele Arten von Schüttgütern, Steine/Erden und Erze. Mittels IIoT-Sensoren wird der Produktionsprozess in Echtzeit überwacht und optimal auf die geforderte Produktqualität eingestellt. Eine FIWARE-basierte Zustandsüberwachungs- und Expertensystem-Plattform überwacht Prozessmessungen und Bedienerollwerte um so die gewünschte Produktqualität rasch zu erreichen und den Ausschuss zu minimieren.

<https://cemtec-digital.com/>

Abbildung 20: Technologieprofil Edge Computing (eigene Darstellung)

Edge Computing

Edge Computing ist ein Konzept für Internet of Things - Umgebungen, bei dem IT-Ressourcen wie Speicherkapazität und Rechenleistung so nah wie möglich an den datenerzeugenden Geräten und Sensoren bereitgestellt werden. Dies macht das Konzept zu einer Alternative zu herkömmlichen Cloud-Lösungen mit zentralen Servern.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	○	Sicherstellung der Materialqualität, Remote-Control der Rohstoffproduktion, Predictive Maintenance
Maschinenlieferant:in	●	●	○	IIoT-gerüstete Produkte, Garantieverlängerung bei optimaler Produktnutzung
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	○	Meldung von Störungen im Produktionsprozess um Maschinenausfälle zu verhindern, Remote-Control, Produktionsdaten für Digitalisierung des Prozesses
Einzelhandel und Servicestellen	○	●	○	Rücknahmesysteme, Qualitätsmessung für Gebrauchtproduktvermietung
Reparaturdienstleister:in	○	●	○	Aufzeichnung von Betriebsdaten, Analyse des Gesundheitszustandes einer Maschine, Automatische Alarmierung
Nutzer:in / Konsument:in	○	●	○	Datengenerierung zur Produktnutzung, Garantieverlängerung bei optimaler Produktnutzung,
Logistikdienstleister:in	○	●	○	Intelligente Warehouse Management Systems, Ersatzteillogistik
Recycler	○	●	●	Prozessüberwachung, Remote-Control des Recycling-Prozesses, Qualitätssicherung
Vermittler:in	○	●	○	Second-Hand-/Reuse-Plattformen, Gebrauchtwaren- und Sharingplattformen

Hindernisse

Organisatorisch: Fehlendes Wissen über die sinnvolle Implementierung von IIoT-Edge Computing, Innerbetriebliche Widerstände

Technisch: Sicherheit von Edge Computing Geräten gegenüber Hacking und Malware, Kompatibilität zu bestehenden IT-Systemen

Ökonomisch: Fehlendes Budget, Unsicherheit zu ROI, Schwierigkeiten beim Business Case

Handlungsfelder

Politisch: Förderung von IIoT Integrationen bei KMUs, Alliance for Industrial Data, Edge and Cloud

Technologisch: Security Framework - Sichere geschlossene Edge-Computing Umgebungen im Unternehmen

Rechtlich: Klare Datenschutzvorgaben, Zertifizierungen (Trusted Apps and Trusted Devices)

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen



Potential für nachhaltige Innovationen



Beispiel aus der Forschung

Das PTW TU Darmstadt leitet mit der Pilotfabrik Industrie 4.0 TU Wien das österreichisch-deutsche Gaia-X Leuchtturmprojekt EuProGigant, das für die smarte und souveräne Nutzung von Daten in der europäischen Industrie steht. Mit der Unterstützung weiterer Co-Autoren entstand das Whitepaper „Edge-Computing im Projekt EuProGigant: Vision – Verständnis – Abgrenzung“. Es definiert die begriffliche Basis und dient dem tieferen Verständnis der vielfältigen Nutzung von Edge-Systemen in der Produktion im Zusammenhang mit Gaia-X.

<https://euprogigant.com/edge-computing-fuer-das-produktionsumfeld/>

Abbildung 21: Technologieprofil RFID / NFC (eigene Darstellung)

RFID / NFC

Radio Frequency Identification (RFID) ist eine kontaktlose Einweg-Kommunikationsmethode. Aktive RFID-Tags eignen sich, aufgrund ihrer großen Lesereichweite, für viele Branchen in denen die Ortung oder das Tracking von Objekten wichtig ist. Near Field Communication (NFC) ermöglicht eine Zwei-Wege-Kommunikation über eine kurze Distanz von ca. 10 cm und erfordert eine Aktion des Benutzers.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung				
Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	○	○	●	Materialidentifikation, Transparente Lieferketten, Link zu Informationen der Materialien und Inhaltsstoffen
Maschinenlieferant:in	●	●	●	Produktidentifikation, Schnittstelle zu Produktpass und Nutzungshistorie
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	●	Produktidentifikation entlang der Produktionsphasen (Herstellung, Verpackung, Versand)
Einzelhandel und Servicestellen	●	●	○	Produktidentifikation für Rücknahme, Nutzungshistorie, Geschlossene Kundenkreisläufe (z.B. Waschen von Smart-Textiles)
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Produktidentifikation, Link zu Reparaturanleitungen und Demontagehinweise
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Smarte Nutzung durch Datenaustausch mit dem Produkt/Service (z.B. Sperrsysteme, Papierlose Servicenutzung, etc.)
Logistikdienstleister:in	●	●	○	Optimierung der Routen innerhalb der Logistikkette, Tracken und Rückführen von wiederverwendbaren Verpackungen
Recycler	○	○	●	verursacherbezogene (Pay-As-You-Throw) Gebühren bzw. Anreizsysteme, Rückverfolgbarkeit von Abfallströmen
Vermittler:in	○	●	○	Produktidentifikation und Verwendungsnachweis für Second-Hand-Use

Hindernisse

Organisatorisch: Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette

Technisch: Komplexeres Produkt-/Inventarmanagement

Ökonomisch: Für Identifikationszwecke teurer als QR-Codes

Sozial: Verhaltensmuster und psychologische Barrieren von älteren Personen ohne digital Affinität

Handlungsfelder

Politisch: Standardisierungsbestrebungen

Technologisch: Fehlerkorrektur von RFID-Leser bei elektromagnetischen Interferenzen

Rechtlich: Anforderungen zur umfassenden digitalen Produktidentifikation für Dokumentation, Demontage- und Recyclinganweisungen

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

N/A

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus England

Das Projekt TRACE (Technology-enabled Reusable Assets for a Circular Economy) wurde im Februar 2022 von einem Konsortium gestartet und läuft über zwei Jahre. Im Rahmen der Pilotprojekte kann das TRACE-Programm testen, ob es möglich ist, den Verbrauchern eine Belohnung für die Rückgabe einer wiederverwendbaren Verpackung zukommen zu lassen und sie gleichzeitig in die Lage zu versetzen, diese Belohnung über einen NFC-Tag-Scan zu erhalten.

<https://www.rfidjournal.com/u-k-project-to-pilot-nfc-for-tracking-reusable-containers> (2022)

Abbildung 22: Technologieprofil Digital Product Pass (eigene Darstellung)



Abbildung 23: Technologieprofil Big Data (eigene Darstellung)

Big Data

„Big Data“ (Massendaten) umfasst Datenmengen, die zu groß, zu komplex, zu schnelllebig, oder zu schwach strukturiert sind, dass man sie mit herkömmlicher Soft- und Hardware auf den klassischen Wegen und Methoden der Datenverarbeitung nicht mehr auswerten kann. Big Data wird oft als Sammelbegriff für digitale Technologien verwendet, die in technischer Hinsicht eine neue Ära der Kommunikation und Verarbeitung und in sozialer Hinsicht für einen gesellschaftlichen Umbruch verantwortlich gemacht werden.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	○	●	●	Nutzung von Big Data als Entscheidungshilfe, Prozessanalyse und -einsicht
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Aggregierte Sammlung von Betriebs- und Nutzungsdaten zur Verwendungsanalyse von Produkten und Maschinen
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	●	Nutzung von Big Data als Entscheidungshilfe und Gestaltung für Design und Produktionsprozesse, Auslastungsvorhersagen
Einzelhandel und Servicestellen	●	●	○	Big Data für Kundenempfehlungen auf Basis von Kauf- und Nutzungsverhalten, Analyse der Kundenströme und Auslastung
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Verwendung für Fehlerhäufigkeiten, Einsicht über Nutzungsdauerverlängerung (Impact) durch Reparaturen
Nutzer:in / Konsument:in	○	●	○	Aggregierte Sammlung von Betriebs- und Nutzungsdaten zur Verwendungsanalyse von Produkten, Nutzungspersonalisierung
Logistikdienstleister:in	○	●	○	Datenanalyse für Komplexitätsreduzierung, Entscheidungshilfe für Logistikplanung
Recycler	○	○	●	Datenanalyse der Abfallströme
Vermittler:in	○	●	○	Analyse und Matchmaking-Insights im Sharingverhalten

Hindernisse

Organisatorisch: Kompetenzaufbau - Schulung und Weiterbildung des Personals um Big Data effektiv zu nützen, Identifikation der Datapools, Datenaufbereitung

Technisch: Einbindung aller relevanten Datenquellen, Komplexität der Zusammenführung heterogener Datenpools, Datentransfer-Bottlenecks

Ökonomisch: Aufrüsten der IT-Infrastruktur in Soft- und Hardware (HPC)

Handlungsfelder

Politisch: Information und Diskussion über die Möglichkeiten, das Monitoring und den regulativen Rahmen von Big Data, Open Data

Technologisch: Verhindern von Big Data biases, Transparenz

Rechtlich: Zustimmung bei Datensammlung, Verwendung für Überwachung, Schutz des Individuums

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

N/A

Potential für nachhaltige Innovationen

[Progress bar]

Beispiel aus Deutschland

Das Unternehmen **Steinbeis Papier GmbH** hat mit Big Data seinen Produktionsprozess basierend auf der Kreislaufwirtschaft optimiert. Seine Maschinen sind vernetzt und liefern Sensordaten wie Temperatur, Drehzahl, Druck oder Durchfluss. Das Unternehmen hat 25.000 Maschinensensoren in einer einzigen Datenbank zusammengeführt. Damit ist es möglich, KPIs in Echtzeit auszuwerten und Anomalien in den Daten rasch zu erkennen. Noch bevor Probleme in der Produktion tatsächlich Störungen verursachen, können sie beseitigt werden. Die Produktion ist deutlich effizienter als zuvor.

<https://www.bigdata-insider.de/steinbeis-papier-optimierung-durch-big-data-a-1030111/>

Abbildung 24: Technologieprofil Cloud Computing (eigene Darstellung)

Cloud Computing

Bei Cloud Computing werden Applikationen nicht mehr auf lokalen Geräten ausgeführt, sondern laufen als Applikationen im Internet. Cloud-Computing erlaubt Unternehmen ihren Anforderungen entsprechende Rechenleistung in Anspruch nehmen zu können und diese zu mieten. Hierbei werden folgende drei Service-Modelle verwendet: Infrastructure-as-a-Service (IaaS), Platform-as-a-Service (PaaS) oder Software-as-a-Service (SaaS).

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	●	Prozess-Optimierung durch SaaS Anwendungen, Remote Control
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Erweiterter Service und Support für Maschinen und Anlagen
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	●	Life-Cycle-Assessment Tools, Automatisierte Design-Optimierung durch SaaS Anwendungen, Thin-Clients
Einzelhandel und Servicestellen	●	○	○	E-Commerce, E-Banking, Digital Payments, Thin-Clients
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Kollaboration mit Hersteller, Thin-Clients
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Smarte Produktnutzung für Längere Nutzungsdauer
Logistikdienstleister:in	●	●	○	Prozess-Optimierung durch SaaS Anwendungen, Fuhrpark-Reduzierung durch Sharing, Thin-Clients
Recycler	○	○	●	Datasharing, Thin-Clients
Vermittler:in	●	●	●	As-a-Service Anbieter, Online-Plattformen für Sharing and Matchmaking

Hindernisse

Organisatorisch: Standardisierung der internen Prozesse, Cloud-taugliche Prozesse, Fehlendes Skill-Set

Technisch: Stabile und schnelle Breitbandverbindungen, Datensicherheit, Unvollständige Löschungen

Ökonomisch: Vendor-Lock-in, Insolvenz des Cloud-Anbieters, Ungenutzte Ressourcen

Rechtlich: Datenschutz- und Compliance-Anforderungen, Gestaltung der Service Level Agreements, Anwendbare Rechtsordnung

Handlungsfelder

Politisch: Data Act, Gaia-X, Ö-Cloud Gütesiegel, Kompetenzoffensive

Technologisch: Einfache Lokalisierung der Daten, Wahl des physischen Speicherorts (Rechtsräume)

Rechtlich: Schutzmaßnahmen gegen unrechtmäßige Datenübermittlungen, Maßnahmen gegenüber Cloud-Anbietern außerhalb des Rechtsraumes

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Quelle: Bitcom Research & KPMG in Österreich, 2021

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus der Forschung

Das Fraunhofer IZM Projekt **Green Cloud Computing** untersucht die Wirkungen einer Verlagerung von IT-Leistungen in die Cloud auf die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen und Klimawirkungen. Dabei wird der gesamte Lebensweg der IT-Geräte einbezogen und Zielkonflikte oder Synergien zwischen Energie- und Rohstoffeinsatz identifiziert. Zusätzlich zur Analyse der Umweltbelastung und des Rohstoffbedarfs zum Cloud Computing werden die Informationen in ein Datenmodell überführt, um mögliche Optimierungspotentiale aufzuspüren und entsprechende Maßnahmen abzuleiten.

https://www.izm.fraunhofer.de/de/abteilungen/ernwaermtal_reliabilityengineering/projekte/green-cloud-computing.html

Abbildung 25: Technologieprofil DLT & Blockchain (eigene Darstellung)

DLT & Blockchain

Distributed Ledger Technology (DLT) ist ein digitales System, das es mehreren Parteien ermöglicht, Daten auf sichere und transparente Weise aufzuzeichnen und auszutauschen. Das Datenregister ist über mehrere Computer oder Knoten in einem Netzwerk verteilt und nicht an einem zentralen Ort gespeichert.

Industrial Blockchains sind verteilte Datenregister, die auf eine bestimmte Gruppe von Teilnehmern, z. B. ein Konsortium von Unternehmen, beschränkt und nicht öffentlich zugänglich ist.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	○	●	●	Nachweis einer nachhaltigen Rohstoffgewinnung, Transparente Lieferketten, Qualitätsnachweis
Maschinenlieferant:in	●	●	●	Datenaufzeichnung von Betrieb- und Maschinenstunden für erweiterte Garantie- bzw. Gewährleistungskonditionen
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	●	Transparenter und unveränderbarer Datenaustausch mit Partnern und Kunden, Fälschungssicherheit für Originalteile
Einzelhandel und Servicestellen	○	●	○	Verwendungshistorie (Produktlebenslauf) für erweiterte Garantie- bzw. Gewährleistung
Reparaturdienstleister:in	○	●	○	Reparaturnachweise, Statusverfolgung für Prozessoptimierung
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Aufzeichnung der Produktnutzung für erweiterte Garantie- bzw. Gewährleistungskonditionen
Logistikdienstleister:in	●	●	●	Sichere und transparente Datenaufzeichnung der Lieferkette, Statusverfolgung für Prozessoptimierung
Recycler	⊙	○	●	Sicherstellung der fachgerechten Entsorgung, Nachweisbarkeit, Automatisierte Vergütung bei fachgerechter Entsorgung
Vermittler:in	○	●	●	Vertrauensfreie Sharing- oder Second-Hand Anbieter durch unveränderliche Aufzeichnung eines Produktlebenszyklus

Hindernisse

Organisatorisch: Wenig qualifiziertes Personal, Transparenz

Technisch: Hoher Entwicklungsaufwand, Wenig standardisiert, Limitierte Skalierbarkeit, Data privacy

Ökonomisch: Aufwand für Änderungen von etablierten Prozessen und Tools, Entlohnungsmodell für Miner, Proof-of-Work Energieeinsatz

Rechtlich: Unsicherheit, Wenig klar definierte Rechtslage rund um den Einsatz von Blockchains

Handlungsfelder

Politisch: Einsatz von Blockchains bei Digitalen Services (Vorreiter-/Vorbildrolle), Technologieförderung

Technologisch: Hardware Oracles, Secure Devices, Eigenverwahrung Private Keys

Rechtlich: Universeller länderübergreifender Rechtsrahmen

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus Spanien

Telefónica Tech und Éxita Be Circular entwickelte einen European Green Passport für elektronisches Equipment unter Einbindung der Blockchain-Technologie. Es ist ein Produktpass mit einer eindeutigen und überprüfbaren Referenz pro Gerät auszustellen, dem ein QR-Code zur schnellen Identifizierung und zum einfachen Zugriff auf den Pass zugewiesen wird. Auf diese Weise wird zum Beispiel jede Reparatur in der Blockchain registriert und gestempelt, was die zugehörigen Informationen garantiert und die Möglichkeit einer Fälschung sowohl in Bezug auf das Datum als auch den Inhalt ausschließt.

<https://www.telefonica.com/en/communication-room/telefonica-tech-and-es-ita-be-circular-create-the-european-green-passport-for-electronic-equipment-certified-by-blockchain/>

Abbildung 26: Technologieprofil Cyber Security (eigene Darstellung)

Cyber Security

Cyber Security bezieht sich auf die Maßnahmen, die ergriffen werden, um Computersysteme, Netzwerke und Geräte vor digitalen Angriffen, Datenverletzungen und anderen Arten von Cyber-Bedrohungen zu schützen. Dazu gehört die Umsetzung einer Reihe von technischen (Firewalls, Antivirensoftware, Systeme zur Erkennung von Eindringlingen) und nichttechnischen (Schulung und Sensibilisierung) Maßnahmen, um Daten und Systeme vor unbefugtem Zugriff, Missbrauch oder Beschädigung zu schützen.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	●	Schutz der Herstellungs- und Verfahrensprozesse
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Schutz der Produktionsprozesse, Kundendaten etc.
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	○	Schutz der Produktionsprozesse, des Know-Hows, Kundendaten etc.
Einzelhandel und Servicestellen	●	●	○	Schutz der Kundendaten
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Schutz der Nutzungsdaten
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Schutz der Nutzungsdaten, Betriebssicherheit
Logistikdienstleister:in	●	●	○	Schutz der Lieferketteninformationen
Recycler	●	●	●	Schutz der Recyclingprozesse
Vermittler:in	●	●	○	Schutz der Kundendaten

Hindernisse

Organisatorisch: Fehlendes Pflichtbewusstsein, Falsche Risikoeinschätzung, Qualifiziertes Personal, Praktikable Testmethoden

Technisch: Schutz einer heterogenen IT-Landschaft, Steigende Komplexität

Ökonomisch: Hohe Kosten, Fehlendes Budget, Hindert ggf. Arbeitsprozesse oder hemmt Effizienz

Handlungsfelder

Politisch: Bewusstsein für Cybersicherheit, Förderung von Cyber Security Initiativen

Technologisch: Anonymisierung der Nutzungsdaten (B2B/B2C), Secure Communication by Design

Rechtlich: Verabschiedung und Durchsetzung von Gesetzen und Vorschriften zur Cybersicherheit, Rechtlicher Schutz für Fachleute im Bereich der Cybersicherheit, Rechtsbehelfe für Opfer von Cybersicherheitsvorfällen bereitstellen

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus Österreich

CyberMonoLog erarbeitet Best Practices für Cyber Security Monitoring und Logging basierend auf den bekannten Angriffstechniken (MITRE ATT&CK). Die Ergebnisse des Projekts sollen möglichst praxisnahe Best Practice Guidelines zur Umsetzung einer Monitoring-Strategie durch KMUs und Betreibern von kritischen Infrastrukturen sein. Die Ausführungen werden sich auf den bekannten Stand der Technik stützen und die Anwendbarkeit der Ergebnisse durch eine Cross-Validierung mit externen Stakeholdern sowie Bedarfsträgern und Behörden und Experten von CERT.at sichergestellt.

<https://www.kiras.at/gefoerderte-projekte/detail/cybermonolog-cyber-security-monitoring-and-logging-best-practice-guidance>

Abbildung 27: Technologieprofil AR/VR (eigene Darstellung)

AR / VR

Virtual Reality (VR) ermöglicht es den Menschen, vollständig in eine rein fiktive virtuelle Welt einzutauchen. Dabei wird eine spezielle Ausrüstung verwendet, um die sensorischen Erfahrungen einer Person so zu simulieren, als wäre die virtuelle Welt real. Augmented Reality (AR) ist eine Technologie, die es ermöglicht, digitale Inhalte in der realen Welt zu betrachten und mit ihnen zu interagieren. Dabei werden digitale Informationen oder Grafiken über die Sicht einer Person auf die reale Welt gelegt.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	○	Virtuelle Inbetriebnahme, Prozessvisualisierung, Remote-Support
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Virtuelle Planung, Entscheidungshilfen, Vermeiden von Prototyping, Virtuelle Inbetriebnahme
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	○	Virtuelle Planung, Entscheidungshilfen, Vermeiden von Prototyping, Virtuelle Inbetriebnahme
Einzelhandel und Servicestellen	●	○	○	Virtuelle Schaufenster, Virtual Product Testing
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Training von Reparaturpersonal anhand von VR-Modellen, Remote-Support
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Virtuelle Reparaturanleitung, Remote-Support, Virtuelles Probieren bzw. Anprobieren von Produkten und Gütern, Planungshilfe
Logistikdienstleister:in	●	○	○	Visualisierung und Optimierung von Lieferkettenprozessen, Orientierungshilfe
Recycler	●	○	○	Virtuelle Inbetriebnahme, Prozessvisualisierung, Remote-Support
Vermittler:in	●	●	○	Virtuelle Schaufenster, Virtual Product Testing, Entscheidungshilfen

Hindernisse

Organisatorisch: Änderung des Business Models, Kompetenzaufbau

Technisch: Verfügbarkeit von 3D-Modellen, Unterschiedliche Erfahrungen durch Vielfalt der Endgeräte, Kompatibilität

Ökonomisch: Kosten für Virtualisierung physischer Objekte, ROI für Early Adopter

Handlungsfelder

Politisch: Förderung der Erstellung von Virtual Stores und den Aufbau von virtuelle Services

Technologisch: 3D-Modellgeneration, Metaverse, Human-Machine-Interface, Cyber Safety für AR/VR-Apps

Rechtlich: Virtuelles Eigentum und Vermögenswerte, Durchsetzung von Rechten im Metaverse

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus der Textilbranche

DRESSX verhindert die Produktion von Kleidungsstücken, die vielleicht nur ein- oder zweimal getragen werden, und entkoppelt so erfolgreich finanzielles Wachstum von der Gewinnung von Rohstoffen. Die Geschwindigkeit der Erstellung von virtuellen Kleidungsstücken ist viel höher als bei der Herstellung physischer Kleidung, was bedeutet, dass die Nachfrage nach schneller Mode mit ausschließlich digitaler Mode ohne den Einsatz von Rohstoffen befriedigt werden kann. Der Artikel wird in 3D gerendert und kann endlos verwendet werden.

<https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-examples/dressx>

Abbildung 28: Technologieprofil Data Analytics (eigene Darstellung)

Data Analytics

Unter Data Analytics versteht man die Untersuchung von Daten, um Muster und Trends zu erkennen, die für die Entscheidungsfindung von Bedeutung sind. Dabei werden Tools und Techniken wie statistische Analysen, Datenvisualisierung und maschinelles Lernen eingesetzt, um große Datensätze sinnvoll zu nutzen. Big Data Analytics hilft Unternehmen fundiertere Entscheidungen zu treffen, Geschäftsprozesse zu optimieren und sich Wettbewerbsvorteile auf ihren jeweiligen Märkten zu verschaffen.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	●	Optimieren des Ressourcen-Managements
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Optimieren des Ressourcen-Managements, Muster der Ressourcennutzung und Abfallerzeugung erkennen
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	○	Identifizieren und Verfolgung von Abfallströmen, Optimierungspotentiale für Produkt-/Servicedesign
Einzelhandel und Servicestellen	●	●	○	Einblicke in Verbraucherpräferenzen und -verhaltensweisen, Optimieren von Marketingkampagnen
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Predictive Maintenance
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Nutzungsdatenanalyse, Nutzungsempfehlungen und datengetriebene Entscheidungshilfen
Logistikdienstleister:in	●	●	○	Optimieren der Logistikprozesse, Engpässe und Ineffizienzen in der Lieferkette erkennen, Routen-/Tourenplanung
Recycler	●	●	●	Optimieren des Recyclingprozesses, Möglichkeiten für die Rückgewinnung und Wiederverwendung von Ressourcen erkennen
Vermittler:in	●	●	○	Einblicke in Verbraucherpräferenzen und -verhaltensweisen

Hindernisse

Organisatorisch: Mangelnde Datenkompetenz um Datenanalysetools und -techniken effektiv zu nutzen

Technisch: Begrenzte Datenqualität, Fehlende Daten

Ökonomisch: Ressourcen um Datenanalysen effektiv zu implementieren und zu nutzen

Rechtlich: Einhaltung der Gesetze (z.B.: DSGVO, CCPA)

Handlungsfelder

Politisch: Data Governance

Technologisch: Standards für die Datenqualität, CE-relevante Datenvisualisierung

Rechtlich: Data policies

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus der Abfallwirtschaft

SAP SE und Topolytics haben das COP26 Waste Insights Project ins Leben gerufen, das Daten von Konsumgütern, Einzelhändlern, Abfallentsorgern, Investoren, Nichtregierungsorganisationen und lokalen Behörden zusammenführt und analysiert. Die von Co-Innovationspartnern gesammelten Daten fließen in die Abfall- und Ressourcenkarte - eine Live-Ansicht der Materialflüsse - ein. Dies ermöglicht es sämtlichen Stakeholdern, strategische Prioritäten festzulegen und eine Recycling-Infrastruktur dort aufzubauen, wo sie am dringendsten benötigt wird.

<https://news.sap.com/uk/2020/09/sap-and-topolytics-launch-cop26-waste-insights-project/>

Abbildung 29: Technologieprofil KI / ML (eigene Darstellung)

KI / ML

Künstliche Intelligenz ist ein übergreifender Begriff und befasst sich mit Computermodellen und -systemen, die menschenähnliche kognitive Funktionen wie logisches Denken und Lernen ausführen. KI-Software ist in der Lage, aus Erfahrungen zu lernen, was sie von herkömmlicher Software unterscheidet, die vorprogrammiert und deterministisch ist.

Maschinelles Lernen bedeutet das Trainieren eines Softwaremodells, um nützliche Vorhersagen für bestimmte Datensätze zu treffen.

Informationskategorie

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	○	Optimierung des Produktionsprozesses
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Dynamische Preismodelle
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	○	Schnellere, bessere, einzigartige und hocheffektive Produktdesigns, Entscheidungshilfe, Produkt-Service-Systeme
Einzelhandel und Servicestellen	●	●	○	Empfehlungssysteme, Zustand-Bewertungssysteme, Dynamische Preismodelle
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Predictive Maintenance
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Intelligente Assistenzsysteme, Entscheidungshilfen
Logistikdienstleister:in	●	●	○	Logistik und Reverse-Logistik Vorhersagen, Autonome Systeme
Recycler	○	○	●	Autonome Sortieranlagen mit Bilderkennung und Robotik
Vermittler:in	●	●	○	Matching Algorithmen für Sharing- oder Second-Hand-Plattformen, Zustandsbewertung von Second-Use Gütern

Hindernisse

Organisatorisch: Mangelnde KI-Kompetenzen, Fehlerhaftes Verständnis über KI-Fähigkeiten, Widerstand gegen die Einführung neuer Technologien, Risiko vorhandene Vorurteile zu verstärken

Technisch: Fehlende oder schlechte Trainingsdaten

Ökonomisch: Hohe Implementierungskosten für KMUs

Rechtlich: Erfüllung der Richtlinien und Regulierungen

Handlungsfelder

Politisch: Ethische Fragestellungen - Fairness und Inklusion von KI-Entscheidungen, Awareness-Bildung für Mächtigkeit von KI

Technologisch: Verstärkung unfairer Vorurteile (Bias), Nachweis der Entscheidungsfindung, Transfer Learning

Rechtlich: Datenschutz, Schutz des geistigen Eigentums, Verantwortung und Haftung

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus Europa

Accelerated Metallurgy nutzt KI-Algorithmen zur systematischen Analyse riesiger Datenmengen über bestehende Materialien und deren Eigenschaften, um neue Legierungsrezepturen zu entwickeln und zu testen. Durch die Erfassung von Details der chemischen, physikalischen und mechanischen Eigenschaften dieser unerforschten Legierungen können die Algorithmen wichtige Trends in Struktur, Prozess und Eigenschaften abbilden, um ein umweltfreundliches Legierungsdesign durch schnelle Feedbackschleifen zu verbessern.

<https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>

Abbildung 30: Technologieprofil Predictive Systems (eigene Darstellung)

Predictive Systems

Prädiktive Systeme sind computergestützte Systeme, die Daten, statistische Algorithmen und Techniken des maschinellen Lernens nutzen, um Vorhersagen über zukünftige Ergebnisse zu treffen. Diese Vorhersagen beruhen auf Mustern und Trends in den Daten, und das Ziel ist es, diese Informationen zu nutzen, um Entscheidungen zu treffen oder Maßnahmen zu ergreifen, die die zukünftigen Ergebnisse verbessern.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	●	○	Erkennen von Prozessabweichungen, Ressourcenoptimierung, Predictive Maintenance
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Frühzeitige Fehlererkennung, Produktionsplanung
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	○	Predictive Maintenance, Niedrige Standzeiten, Abfallvermeidung
Einzelhandel und Servicestellen	●	●	○	Verkaufsplanung, Bestellwesen, Niedrige Lagerhaltung
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Ersatzteilprognose, Verringerte Lagerhaltung, Vorausschauende Wartungsplanung
Nutzer:in / Konsument:in	●	●	○	Entscheidungshilfen, Sichere Produktverwendung, Predictive Maintenance
Logistikdienstleister:in	●	●	○	Optimierung der Logistikprozesse, Auslastungsmanagement
Recycler	●	●	●	Erkennen von Prozessabweichungen, Predictive Maintenance
Vermittler:in	●	●	○	Auslastungsplanung von Sharing-Angeboten, Empfehlungen

Hindernisse

Organisatorisch: Datenverfügbarkeit

Technisch: Datengenauigkeit zur Vorhersage, Performance-Monitoring

Ökonomisch: Systemkosten, Ausbildung

Handlungsfelder

Politisch: Förderung von Einsatz und Kompetenzaufbau in Unternehmen

Technologisch: Anwendung neuronaler Netze, Hybrid Systems, Validierung der Ergebnisse

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus Österreich

LCM hat zusammen mit NKE Bearings eine Technologie entwickelt, die die Erkennung von Überhitzungen in Wälzlagern ermöglicht. Das modulare Sensorsystem (MOSS) kann nachgerüstet werden und ermöglicht es, Echtzeitdaten wie Temperatur und Drehzahl der Lager drahtlos aus dem Lager zu übertragen und weiter zu analysieren. Unternehmen können so Fehler früher erkennen, eine vorausschauende Wartung durchführen oder die Gewährleistungsüberwachung von Maschinen optimieren.

<https://www.mechatronik-cluster.at/news-press/detail/news/smart-waelzlager-als-brandverhuetung>

Abbildung 31: Technologieprofil Robotics Automation & Autonomous Systems (eigene Darstellung)



Abbildung 32: Technologieprofil Digital Twins (eigene Darstellung)

Digital Twins

Digitale Zwillinge sind virtuelle Abbilder von realen Maschinen und Prozessen. Digitale Zwillinge können das tatsächliche Verhalten von Anlagen simulieren und parallel zum Fertigungsprozess nicht messbare Prozessgrößen erfassen und Abweichungen vom Sollwert ermitteln. Ein aktiver digitaler Zwilling ermöglicht darüber hinaus bidirektionalen Datenaustausch zwischen realem Prozess und virtuellem Modell.

Informationskategorie

Datensammlung, Datenspeicherung & Datenintegration

Deskriptiv Was ist mit dem Produkt oder der Ressource passiert?

Datenanalyse

Diagnostisch Warum/Wie ist etwas mit dem Produkt/Ressource passiert?

Entdeckend Wie kann das Produkt unter den aktuellen Bedingungen besser genutzt werden?

Prädiktiv Wie kann das Produkt/Ressource in Zukunft besser genutzt werden?

Präskriptiv Wie kann die Nutzung des Produkts/Ressource dynamisch optimiert werden?

Technologiezuordnung

Akteure	Intelligente Gestaltung und Herstellung (R1-R3)	Verlängerte Lebensdauer von Produkten (R4-R8)	Wiederverwertung von Materialien (R9-R10)	Anwendungsbeispiele
Material-/Rohstoffherstellung	●	○	○	Besseres Verständnis über Produktionsprozesse, Konstante Qualität
Maschinenlieferant:in	●	●	○	Effizienter digitaler Produktentwicklungsprozess, Genauere und überlegene Produkte für Produktionsanlagen
Produzent:in und Hersteller:in	●	●	●	Beschleunigte Planung, Virtuelle Inbetriebnahme, Lookahead-Simulation parallel zum realen Prozess, Selbstadaptierung von Maschinen, Konstante Qualität, Kein Ausschuss
Einzelhandel und Servicestellen	●	●	○	Optimierung von Serviceprozessen, Kostenersparnisse
Reparaturdienstleister:in	●	●	○	Kürzer Stillstandzeiten durch genauere Planung von Vorausschauende Wartungen
Nutzer:in / Konsument:in	○	●	○	Verbesserte Entscheidungsfindung für Automatisierung, Voraussetzung für Self-aware products, Optimierter sicherer Betrieb
Logistikdienstleister:in	●	○	○	Effizientere Logistikprozesse, Optimale Logistikplanung
Recycler	○	○	●	Besseres Verständnis über Recyclingprozesse, Konstante Qualität
Vermittler:in	○	●	○	Effiziente Planung von Sharing-Produkten durch vorausschauende Wartungsplanung, Längere Nutzungsdauer

Hindernisse

Organisatorisch: Virtualisieren von Bestandsanlagen

Technisch: Verknüpfung aller verfügbaren digitalen Datenquellen, bidirektionaler Informationsfluss, Hoher Rechenaufwand und Datenmengen

Ökonomisch: Initialaufwand, Bestandsanlagen

Rechtlich: Künftige Anforderungen, Datenspeicherung und -weitergabe

Handlungsfelder

Politisch: Digitalisierung-Initiativen fördern, Breites Verständnis von Digitalisierung bilden, Ganzheitlicher Blick auf digitale Transformation

Technologisch: Datendurchgängigkeit über Lebenszyklusphasen

Rechtlich: Anforderung für Produktgruppen, Gebäudeplanung (Smart building dashboards), Schutz der Daten wird noch wichtiger

Verwendung

Einsatz der Technologie bei befragten Unternehmen

Potential für nachhaltige Innovationen

Beispiel aus Österreich

Salvagnini Maschinenbau GmbH

Biegetechnologie, Maschinentyp und Material sind die drei Faktoren, von denen das Biegeergebnis abhängt. Das Biegezentrum misst hauptzeitparallel eventuelle Materialabweichungen. Wird ein Toleranzwert überschritten, passen sich die Biegebewegungen automatisch an und kompensieren damit die Materialschwankungen. Dadurch ist eine konstante Biegequalität auch bei Materialwechsel innerhalb desselben Loses gewährleistet und Ausschuss ist selbst bei kleinen Produktionslosen eliminiert.

<https://amplify.pepperl-fuchs.com/de/inhalte/166/blechbiegen-40>

Abbildung 33: Technologieprofil Online Plattformen (eigene Darstellung)





**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)