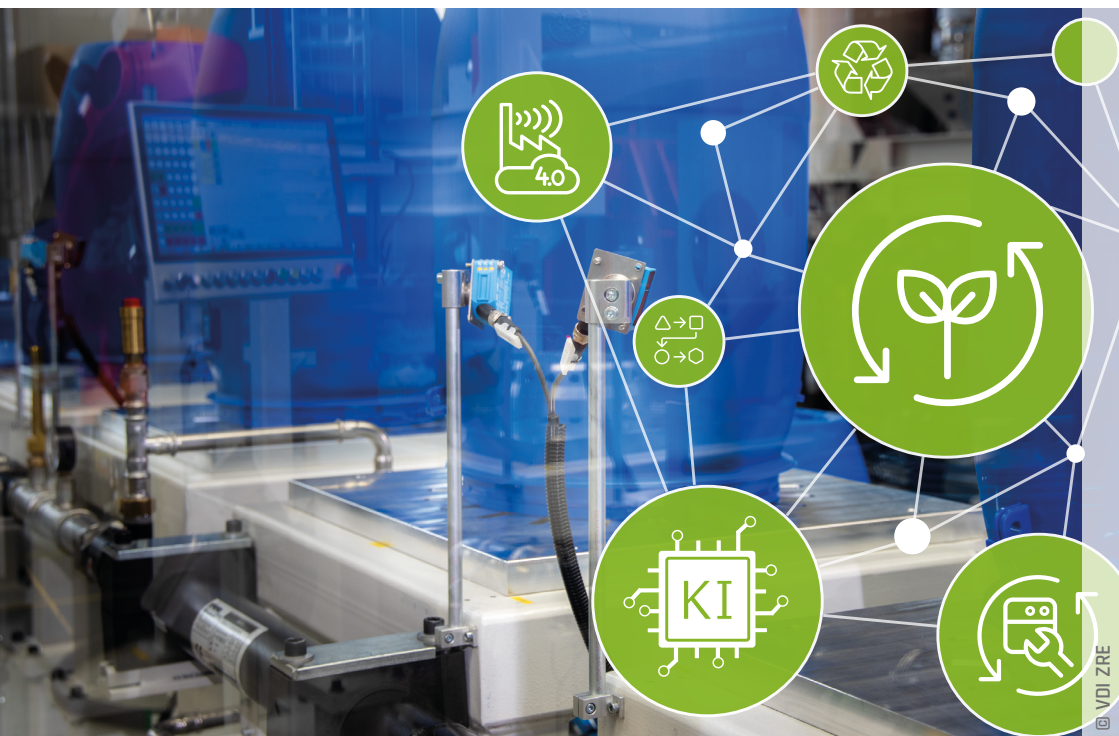




VDI ZRE Publikationen: Studie

Ressourceneffizienzpotenziale durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen



VDI ZRE Studie: Ressourceneffizienzpotenziale durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen

Autorinnen und Autoren:

Dr. Sarah Lichtenthäler, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Dr. Adriana Neligan, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Dr. Christian Rusche, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Edgar Schmitz, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Dr. Vera Demary, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Unter Mitwirkung von:

Quint Busch, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Dr. Thilo Schaefer, Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V.

Fachliche Ansprechpersonen:

Wei Min Wang, VDI Zentrum Ressourceneffizienz

Mareike Carolin Taube, VDI Zentrum Ressourceneffizienz

Wir danken Dr.-Ing. Erik Steinhöfel, Geschäftsführer der Aion Sustainability Solutions GmbH, für seine fachliche Unterstützung.

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

Redaktion:

VDI Technologiezentrum GmbH

VDI-Platz 1

40468 Düsseldorf

Tel. +49 30-27 59 506-505

zre-info@vdi.de

www.ressource-deutschland.de

Titelbilder: © VDI ZRE

VDI ZRE Publikationen: Studie

**Ressourceneffizienzpotenziale durch
digital gestützte zirkuläre Maßnahmen**

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	9
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	10
FAKTENBLATT	12
EXECUTIVE SUMMARY	16
1 AUSGANGSLAGE	20
1.1 Einleitung und Motivation	20
1.2 Forschungsfragen	21
2 VORGEHEN UND METHODIK	22
2.1 Ziel und Aufbau der Studie	22
2.1.1 Desk-Research	23
2.1.2 Unternehmensbefragung	24
2.1.3 Entwicklung von Indikatoren und des Praxis- Leitfadens für KMU	28
2.1.4 Experteninterviews	29
2.2 Struktur der Studie	30
2.3 Begriffsdefinitionen	31
2.3.1 Ressourcen	31
2.3.2 Ressourceneffizienz und Ressourceneffizienz- potenziale	32
2.3.3 Circular Economy und zirkuläre Geschäftsmodelle	34
2.3.4 Digitalisierung und digitale Technologien	37
2.3.5 Zirkularitätseffizienz	40

3	RESSOURCENEFFIZIENZ DURCH ZIRKULÄRE MAßNAHMEN	43
3.1	Zirkuläre Maßnahmen in Unternehmen – Literatur	43
3.1.1	Zirkuläre Strategien	44
3.1.2	Zirkuläre Maßnahmen	46
3.1.3	Typisierung relevanter zirkulärer Maßnahmen	49
3.2	Zirkuläre Maßnahmen – Unternehmensbefragung	52
3.2.1	Vorhandensein zirkulärer Maßnahmen	52
3.2.2	Nutzung zirkulärer Maßnahmen	57
4	DIGITALE TECHNOLOGIEN FÜR ZIRKULÄRE MAßNAHMEN	61
4.1	Digitale Technologien – Literatur	62
4.1.1	Digitalisierungsanforderungen	62
4.1.2	Ressourceneffizienzpotenziale digital gestützter zirkulärer Maßnahmen	67
4.1.3	Ableitung qualitativer Ressourceneffizienzpotenziale	69
4.2	Digitale Technologien – Unternehmensbefragung	71
4.2.1	Rolle digitaler Technologien zur Verbesserung der Kreislaufführung	72
4.2.2	Effekte und Evaluationsmöglichkeiten digital gestützter zirkulärer Maßnahmen	75
4.2.3	Evaluationsmöglichkeiten der Effekte digital gestützter zirkulärer Maßnahmen	79
4.2.4	Aufwand-Nutzen-Relation	81
4.2.5	Herausforderungen beim Einsatz digitaler Technologien	84
5	BESTIMMUNG DER ZIRKULARITÄTSEFFIZIENZ ANHAND VON INDIKATOREN	89
5.1	Zirkularitätseffizienz durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen	90
5.1.1	Indikatoren zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz – Literaturrecherche	90

5.1.2	Abgleich digital gestützter Maßnahmen mit Zirkularitätsstrategien	99
5.2	Entwicklung eines Indikatoren-Sets zur Bewertung der Zirkularitätseffizienz von digital gestützten Maßnahmen	100
5.2.1	Anforderungen an Indikatoren zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz	100
5.2.2	Abgleich von Indikatoren mit zirkulären Strategien und Maßnahmen	102
5.3	Bewertung von zirkulären Maßnahmen – Ergebnisse aus der Unternehmensbefragung	108
6	HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN	112
6.1	Handlungsfeld 1: Stärkung zirkulärer Maßnahmen	114
6.2	Handlungsfeld 2: Stärkung der Nutzung digitaler Technologien für zirkuläre Maßnahmen	121
6.3	Handlungsfeld 3: Verbesserung der Mess- und Bewertbarkeit der Zirkularitätseffizienz	127
	LITERATURVERZEICHNIS	133
	ANHANG	141
	PRAXIS-LEITFADEN	142
1	EINFÜHRUNG	144
1.1	Bestimmung der Zirkularitätseffizienz anhand des Indikatoren-Sets	151
1.1.1	Mengenbasierte Indikatoren	154
1.1.2	Übergeordnete Indikatoren	175

1.2	Vorgehen	177
1.2.1	Schritt 1: Für das Unternehmen relevante kreislauforientierte Strategien auswählen	178
1.2.2	Schritt 2: Relevante kreislauforientierte Maßnahmen für die identifizierte Strategie auswählen	179
1.2.3	Schritt 3: Indikatoren der digital gestützten zirkulären Maßnahmen identifizieren und berechnen	182
1.2.4	Schritt 4: Zirkularitätseffizienz anhand der Indikatoren bestimmen	185
2	STECKBRIEFE	192

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Definition des Begriffs der Ressourceneffizienz	34
Abbildung 2:	Vorhandensein von kreislauforientierten Maßnahmen	54
Abbildung 3:	Anwendung kreislauforientierter Maßnahmen	55
Abbildung 4:	Anwendung kreislauforientierter Maßnahmen nach Unternehmenserfolg	56
Abbildung 5:	Nutzungsgrad kreislauforientierter Maßnahmen	58
Abbildung 6:	Data Economy Readiness nach Unternehmensgrößenklassen	65
Abbildung 7:	Verteilung der KMU entsprechend dem Digitalisierungsgrad der umgesetzten zirkulären Maßnahmen	73
Abbildung 8:	Effekte digitaler Lösungen bei zirkulären Maßnahmen	76
Abbildung 9:	Güte der Bewertungsmöglichkeiten der Effekte von kreislauforientierten Maßnahmen	80
Abbildung 10:	Beurteilung Aufwand-Nutzen-Relation beim Einsatz digitaler Lösungen für zirkuläre Maßnahmen (in Prozent)	82
Abbildung 11:	Digitalisierte KMU: Bewertung der Aufwand-Nutzen-Relation	83
Abbildung 12:	Relevanz der vorhandenen Hemmnisse bei KMU	86
Abbildung 13:	Vergleich der Indikatoren in der relevanten Literatur	98
Abbildung 14:	Übersicht Indikatoren, zirkuläre Strategien und Maßnahmen (eigene Darstellung)	107

Abbildung 15:	Güte der Bewertungsmöglichkeiten der Effekte von kreislauforientierten Maßnahmen	109
Abbildung 16:	Überblick über die Handlungsempfehlungen zur Stärkung digital gestützter Maßnahmen in KMU des verarbeitenden Gewerbes	113

Praxis-Leitfaden

Abbildung I:	Beurteilung Aufwand-Nutzen-Relation beim Einsatz kreislauforientierter Maßnahmen	143
Abbildung II:	Kreislauforientierte Maßnahmen, Strategien und Geschäftsmodelle	145
Abbildung III:	Strategien, die auf Kreislaufführung im Unternehmen einzahlen	146
Abbildung IV:	Anteil der KMU im verarbeitenden Gewerbe, der kreislauforientierte Maßnahmen zumindest im mittleren Maße umsetzt, in Prozent	147
Abbildung V:	Kategorisierung digitaler Technologien, inklusive Praxisbeispiele	149
Abbildung VI:	Digitale Tools, die derzeit bei kreislauforientierten Maßnahmen eingesetzt werden	150
Abbildung VII:	Einordnung des Indikators „Eingesparte Primärrohstoffe“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen	155
Abbildung VIII:	Berechnung des Indikators „Eingesparte Primärrohstoffe“	155
Abbildung IX:	Einordnung des Indikators „Eingesparte Energie“ in die kreislauf-orientierten Strategien und Maßnahmen	156

Abbildung X:	Berechnung des Indikators „Eingesparte Energie“	157
Abbildung XI:	Einordnung des Indikators „Eingesparte CO ₂ -Emissionen“ in die kreislauf-orientierten Strategien und Maßnahmen	158
Abbildung XII:	Berechnung des Indikators „Eingesparte CO ₂ -Emissionen“	158
Abbildung XIII:	Einordnung des Indikators „Reduzierter Flächenbedarf“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen	159
Abbildung XIV:	Berechnung des Indikators „Reduzierter Flächenbedarf“	160
Abbildung XV:	Einordnung des Indikators „Eingesparter Wasserverbrauch“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen	161
Abbildung XVI:	Berechnung des Indikators „Eingesparter Wasserverbrauch“	161
Abbildung XVII:	Einordnung des Indikators „Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen	163
Abbildung XVIII:	Berechnung des Indikators „Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate“	163
Abbildung XIX:	Einordnung des Indikators „Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen“ in die kreislauf-orientierten Strategien und Maßnahmen	165
Abbildung XX:	Berechnung des Indikators „Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen“	165
Abbildung XXI:	Einordnung des Indikators „Vermiedener Abfall“ in die kreislauf-orientierten Strategien und Maßnahmen	166

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung XXII:	Berechnung des Indikators „Vermiedener Abfall“	167
Abbildung XXIII:	Einordnung des Indikators „Vermiedener Verpackungsabfall“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen	168
Abbildung XXIV:	Berechnung des Indikators „Vermiedener Verpackungsabfall“	168
Abbildung XXV:	Einordnung des Indikators „Produktlebensdauer- verlängerung/-intensivierung“ in die kreislauf- orientierten Strategien und Maßnahmen	171
Abbildung XXVI:	Berechnung des Indikators „Produktlebens- dauerverlängerung/-intensivierung“	170
Abbildung XXVII:	Einordnung des Indikators „Einsatz von Sekun- därrohstoffen“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen	172
Abbildung XXVIII:	Berechnung des Indikators „Einsatz von Sekun- därrohstoffen“	173
Abbildung XXIX:	Einordnung des Indikators „Reparier- und Up- grade-Aufwände“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen	174
Abbildung XXX:	Berechnung des Indikators „Reparier- und Up- grade-Aufwände“	174
Abbildung XXXI:	Das Vorgehen zur Bestimmung der Zirkulari- tätseffizienz in vier Schritten	177
Abbildung XXXII:	Die Auswahl der passenden kreislauforientier- ten Strategie	179
Abbildung XXXIII:	Zuordnung kreislauforientierter Maßnahmen zu den vier Strategien	180

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Nettostichprobe der Umfrage – Anzahl der Unternehmen, ungewichtet	25
Tabelle 2:	Abdeckung der verschiedenen in dieser Studie definierten Zirkularitätsstrategien in der gesichteten Literatur	46
Tabelle 3:	Literatur, die zirkuläre Maßnahmen behandelt	47
Tabelle 4:	Identifizierte zirkuläre Maßnahmen inklusive Zuordnung zu den jeweiligen Zirkularitätsstrategien	50
Tabelle 5:	KMU, die keine digitalen Technologien für die elf betrachteten kreislauforientierten Maßnahmen nutzen	75
Tabelle 6:	Überblick über die analysierte Literatur	92
Tabelle 7:	Zuordnung der Indikatoren zu den Effekten zirkulärer Maßnahmen	103
Tabelle 8:	Zuordnung der Indikatoren zu den zirkulären Maßnahmen	104

Praxis-Leitfaden

Tabelle I:	Zuordnung der Indikatoren zu den kreislauforientierten Maßnahmen	183
Tabelle II:	Bewertung der nichtbinären Indikatoren	186

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BITC	Business in the Community
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMUV	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz
CEID	Circular Economy Initiative Deutschland
CO₂	Kohlenstoffdioxid
DPP	Digitaler Produktpass
EDI	Electronic Data Interchange
EEA	European Environment Agency
EMF	Ellen McArthur Foundation
ERP	Enterprise-Resource-Planning
EU	Europäische Union
FuE	Forschung und Entwicklung
IEDS	Incentives and Economics of Data Sharing
IW	Institut der deutschen Wirtschaft
IoT	Internet of Things
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
MA	Mitarbeitende

MCI	Material Circularity Indicator
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PaaS	Platform-as-a-Service
PDM	Produktdatenmanagement
SaaS	Software-as-a-Service
SME	Small and medium-sized enterprises
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz

FAKTENBLATT

Ziel der Studie

Die Transformation zu einer klimaneutralen Wirtschaft schließt den Übergang von einer linearen Wirtschaft zu einer Circular Economy (Kreislaufwirtschaft) ein, dessen Ziel es ist, die Produkte, Produktteile, Materialien und Rohstoffe so lange und so intensiv wie möglich zu nutzen und in Kreisläufen zu führen. Dazu ist die Digitalisierung ein wichtiger Wegbereiter, die eine Anpassung von Produktionsprozessen sowie von Produkt- und Dienstleistungssystemen ermöglicht. Für Unternehmen kann das Zusammenspiel von kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen auf der einen Seite und digitalen Lösungen auf der anderen Seite Einsparpotenziale bieten. Allerdings sind insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) bislang nicht ausreichend digitalisiert. Diese Studie analysiert vor diesem Hintergrund die Zusammenhänge zwischen digital gestützten kreislauforientierten Maßnahmen, den dafür eingesetzten Ressourcen und dem Beitrag dieser Maßnahmen zur Erreichung von Zirkularität. Diese Zusammenhänge werden praxisorientiert für KMU, in Form eines Leitfadens zur Messung der Effizienz zirkulärer Maßnahmen, aufbereitet.

Vorgehen und Methodik der Studie

Diese Studie arbeitet Ressourceneffizienzpotenziale durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen für KMU in fünf aufeinander aufbauenden Arbeitspaketen strukturiert heraus. Ein Methodenmix, der aktuelle Literatur aus der Forschung, praxisnahe Beispiele aus einer repräsentativen Unternehmensbefragung und Experteninterviews umfasst, wird dabei angewendet. Ergänzend wird ein zielgruppenspezifischer Leitfaden für industrielle KMU entwickelt, der ein Vorgehen sowie eine Indikatorik zur Messung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen beinhaltet.

Ressourceneffizienz durch zirkuläre Maßnahmen

Zirkuläre Strategien können sich auf den gesamten Produktlebenszyklus beziehen und werden durch zirkuläre Maßnahmen umgesetzt. Aus der großen Bandbreite zirkulärer Strategien sowie Maßnahmen in der Literatur lassen sich fünf zirkuläre Strategien sowie elf zirkuläre Maßnahmen herausarbeiten, die einerseits digital gestützt und andererseits insbesondere für KMU relevant sind. Ein Abgleich der Zirkularitätsstrategien mit den digital gestützten zirkulären Maßnahmen ermöglicht eine erste Abschätzung der Wirkungsweise der Maßnahmen und des Zusammenspiels von Maßnahmen und Strategien und gibt Hinweise auf die Ressourceneffizienzpotenziale einzelner Maßnahmen.

Die Mehrheit der befragten KMU im verarbeitenden Gewerbe hat entweder zirkuläre Maßnahmen ergriffen oder plant dies. Hierbei steigt der Anteil der Unternehmen mit zirkulären Maßnahmen deutlich mit dem Unternehmenserfolg. Dabei konzentrieren sie sich aktuell hauptsächlich noch auf Maßnahmen zur Energieeinsparung und -effizienz sowie auf prozessbezogene innerbetriebliche Optimierungsmaßnahmen, die im Sinne der R-Strategie „Reduce“ zu Verringerung des Ressourcenverbrauchs führen. Es werden weniger Ansätze verfolgt, die direkt auf das Produkt eingehen, sei es durch den Einsatz neuer Materialien oder die Erweiterung des Angebots um Produkt-Service-Systeme. Auch gibt es Verbesserungspotenzial beim Einsatz neuer und recycelter Rohstoffe. Hilfreich wäre hier, wenn mehr Unternehmen die Kreislaufführung ihrer Ressourcen systematisch erfassen und strategisch managen würden.

Digitale Technologien für zirkuläre Maßnahmen

Unternehmen setzen digitale Technologien beispielsweise ein, um eine Transparenz ihrer Prozesse herzustellen oder identifizierte Effizienzpotenziale zu heben. Vor diesem Hintergrund können digitale Technologien beim Einsatz zirkulärer Maßnahmen einen wesentlichen Beitrag zu mehr Zirkularität in Unternehmen leisten. Das Zusammenspiel von Strategien sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufführung und digitalen

Lösungen bietet Potenziale zur Effizienzsteigerung, die es noch zu heben gilt.

In der Praxis von KMU spielen digitale Technologien für die Umsetzung zirkulärer Maßnahmen bislang jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Die Gründe dafür sind vielfältig: So fällt beispielsweise die Beurteilung der Aufwand-Nutzen-Relation digital gestützter zirkulärer Maßnahmen sehr unterschiedlich in den Unternehmen aus. Auch die Hemmnisse für den Einsatz sind weitreichend. Häufig genannt werden unter anderem das mangelnde Fachwissen, die fehlenden Informationen und Beratungsmöglichkeiten zu Kosten, Nutzen und Zielgrößen, die nicht vorhandenen Komplettlösungen zur umfassenden Datenerhebung und -nutzung, die nicht gegebene Nachrüstbarkeit bestehender Anlagen sowie die fehlende Finanzkraft.

Bestimmung der Zirkularitätseffizienz

Für KMU spielt neben den Ressourceneffizienzpotenzialen, die durch den Einsatz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen erreicht werden können, auch die Effizienz der getroffenen Maßnahme in Bezug auf die Umsetzung einer bestimmten Zirkularitätsstrategie eine zentrale Rolle. Bislang existieren keine Indikatoren, mit denen die Zirkularitätseffizienz bestimmt werden kann. Es werden daher ein Indikatoren-Set sowie ein Vorschlag zur Berechnung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen vorgestellt. Der Leitfaden soll es insbesondere KMU ermöglichen, passende Indikatoren zur Bewertung zu finden und diese auch praxistauglich anwenden zu können.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass einige Unternehmen in Bezug auf die Nutzung natürlicher Ressourcen durchaus positive Effekte durch digital gestützte Maßnahmen wahrnehmen. Gleichzeitig ist aber der Anteil der Unternehmen, der keine Effekte beobachtet, sehr hoch. Insgesamt verdeutlicht die Befragung, dass die Mehrheit der Unternehmen große Schwierigkeiten hat, die Effekte eingesetzter zirkulärer Maßnahmen zu bestimmen.

Handlungsempfehlungen

Erstes Ziel sollte es sein, dass mehr Unternehmen zirkuläre Strategien realisieren. Hierfür müssen adäquate Anreize über eine Stärkung der Nachfrage seitens der öffentlichen Hand, aber auch flankierende Unterstützungsmaßnahmen wie der Wissenstransfer sowie Vernetzungsmöglichkeiten geschaffen bzw. gestärkt werden. Dazu gehört ebenso, dass die wissenschaftliche Erforschung neuartiger zirkulärer Produkte und/oder Dienstleistungen stattfindet und ein schneller Transfer in die Unternehmenspraxis erfolgt.

Zweites Ziel sollte es sein, Unternehmen bei der Umsetzung digitaler Lösungen zu unterstützen sowie zu befähigen, mit Daten umzugehen und diese als Basis für zirkuläre Maßnahmen einsetzen zu können. Hierfür müssen die Rahmenbedingungen – wie etwa die digitale Infrastruktur und der regulatorische Rahmen – passend gestaltet werden, um die Risiken der Digitalisierung und des Datenaustauschs für Unternehmen zu minimieren.

Drittes Ziel sollte es sein, besser über den Aufwand und den Nutzen digital gestützter zirkulärer Maßnahmen zu informieren bzw. die bereitgestellten Informationen in der Praxis zur Anwendung zu bringen. Für die Politik bedeutet dies, dass Informationsangebote, Orientierungshilfen und Standards zur Messung etabliert werden sollten. Unternehmen können diese Angebote nutzen und innerbetrieblich implementieren. Voraussetzung dafür ist, dass sie den Einsatz von Vorprodukten, Materialien und Rohstoffen strukturiert und zielgerichtet managen und dazu Kooperationen mit anderen Unternehmen entlang der Wertschöpfung eingehen. Die Wissenschaft kann einen Beitrag zur Umsetzung dieses Ziels leisten, indem sie die Zirkularitätsmessung weiterentwickelt und praxisnahe Tools entwickelt, die von Unternehmen eingesetzt werden können, um so die Hürden in den Einstieg der Zirkularitätsmessung zu reduzieren.

EXECUTIVE SUMMARY

Aim of this study

The transformation to a climate-neutral economy includes the transition from a linear economy to a circular economy. The aim is to use products, product parts, materials and raw materials for as long and as intensively as possible, keeping them in cycles. Digitalisation is a key enabler, facilitating the adaptation of production processes as well as product and service systems. For companies, the interplay of circular strategies and measures on the one hand, and digital solutions on the other hand, can offer potential savings. However, small and medium-sized enterprises (SMEs) are often not sufficiently digitalised yet. Against this background, this study analyses the relationships between digitally supported circular measures, the resources used for this purpose, and the contribution of these measures to achieving circularity. These correlations are presented in a practice-oriented way for SMEs in the form of a guideline for measuring the efficiency of circular measures.

Approach and methodology of this study

This study systematically identifies resource efficiency potentials through digitally supported circular measures for SMEs in five interrelated modules. A mix of methods is applied, including current research literature, practical examples from a representative company survey and from expert interviews. Additionally, a target-group-specific guide for industrial SMEs is developed, which includes a procedure and indicators for measuring the circularity efficiency of digitally supported circular measures.

Resource efficiency through circular measures

Circular strategies cover the entire product life cycle and are implemented through circular measures. From the wide range of circular strategies and measures found in the literature, five circular strategies and eleven circular measures can be identified that are both digitally supported and

particularly relevant for SMEs. Matching the circularity strategies with the digitally supported circular measures allows for an initial assessment of their effects and interrelation, providing insights into the resource efficiency potentials of individual measures.

Many of the surveyed SMEs in the manufacturing sector have either implemented circular measures or plan to do so. The proportion of companies with circular measures increases significantly with the company's success. They are currently still focusing mainly on energy saving and efficiency measures as well as process-related internal optimisation measures that lead to a reduction in resource consumption in line with the R-Strategy 'Reduce'. There is also potential for improvement in the use of new and recycled raw materials. Fewer approaches directly address the product itself, such as the use of new materials or the expansion of the product range to include product-service systems.

Digital technologies for circular measures

Companies use digital technologies, for instance, to create transparency in their processes or to exploit identified efficiency potentials. In this context, digital technologies can make a significant contribution to increased circularity when implementing circular measures. The interplay of strategies and measures for improving circularity and digital solutions offers new potential for efficiency improvements.

In practice, however, digital technologies play only a minor role in the implementation of circular measures within SMEs. The reasons for this are diverse: the cost-benefit assessment of digitally supported circular measures varies greatly among companies. Additionally, the obstacles to their use are extensive. Barriers are often a lack of expertise, insufficient information and advisory services, the absence of comprehensive solutions for data collection and usage, the inability to retrofit existing equipment, and a lack of financial resources.

Determination of circularity efficiency

For SMEs, the efficiency of digitally supported circular measures in implementing a specific circularity strategy is just as crucial as the resource efficiency potentials these measures can achieve. Currently, there are no indicators available to determine circularity efficiency. Therefore, an indicator set and a method for calculating the circularity efficiency of digitally supported circular measures are presented. The guidelines are intended to enable SMEs to identify suitable indicators for evaluation and apply them in practice.

The results of the survey show that some companies do perceive positive effects from digitally supported measures with regard to the use of natural resources. At the same time, however, the proportion of companies that do not observe any effects is very high. Overall, the survey indicates that many companies find it challenging to determine the impact of implemented circular measures.

Recommendations

The first objective should be that more companies implement circular strategies. To this end, adequate incentives must be created by strengthening demand on the part of the public sector, as well as flanking support measures such as knowledge transfer and networking opportunities. This also includes scientific research into new types of circular products and/or services and a rapid transfer to business practice.

The second objective should be to support companies in implementing digital solutions and to enable them to handle data and use it as a basis for circular measures. To this end, the framework conditions - such as the digital infrastructure and the regulatory framework - must be appropriately designed and applied to minimise the existing risks of digitalisation and data exchange for companies.

The third objective should be to provide better information about the costs and benefits of digitally supported circular measures and to apply the information provided in practice. For policymakers, this means that information services, guidance and standards for measurement should be established. Companies can utilise these offers and implement them. One prerequisite is that they manage the use of preliminary products, materials and raw materials in a structured and targeted manner and enter co-operations with other companies along the value chain. The scientific community can contribute to the realisation of this goal by further developing circularity measurement and expanding practical tools that can be used by companies to reduce the barriers to the introduction of circularity measurement.

1 AUSGANGSLAGE

Kapitel 1.1 erklärt den Hintergrund und die Motivation der Studie. Kapitel 1.2 stellt kurz die wesentlichen Fragestellungen der Studie vor.

1.1 Einleitung und Motivation

Der Übergang von einer linearen Wirtschaft zu einer Circular Economy, die Produkte, Produktteile, Materialien und Rohstoffe so lange wie möglich nutzt, ist ein wichtiger Baustein auf dem Weg zur Klimaneutralität. Relevant werden zirkuläre Geschäftsmodelle, die strategisch auf die Ermöglichung, Schließung, Schaffung oder Verlängerung von Kreisläufen ausgerichtet sind. Die Umsetzung dieser Zirkularitätsstrategien erfolgt, indem konkrete Maßnahmen, wie beispielsweise die Wiederverwendung, das strategische Ressourcenmanagement oder der Einsatz neuer zirkularitätsfördernder Techniken, in Unternehmen ergriffen werden¹.

Die Digitalisierung ist ein wichtiger Wegbereiter für die Anpassung von Produktionsprozessen, Produkt- und Dienstleistungssystemen. Sie kann somit bei der Entwicklung veränderter oder sogar neuer zirkulärer Geschäftsmodelle unterstützen, da sie die intelligente Nutzung von Innovationen und den Zugang zu Daten beispielsweise über digitale Produktpässe ermöglicht. Das Zusammenspiel von Strategien sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufführung und digitalen Lösungen bietet Einsparpotenziale hinsichtlich Material- und/oder Energieeinsatz.

Allerdings stehen in diesem Zusammenhang zahlreiche Unternehmen, insbesondere kleine und mithilfetändische Unternehmen (KMU), vor einigen Herausforderungen, da sie (noch) nicht ausreichend digitalisiert sind. Viele Daten aus den betrieblichen Wertschöpfungsprozessen werden nicht digital gespeichert und (noch) nicht effizient bewirtschaftet^{2, 3}. Unternehmen

¹ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 80.

² Vgl. Büchel, J. und Engels, B. (2023b), S. 38.

³ Vgl. Neligan, A.; Schleicher, C.; Engels, B. und Kroke, T. (2023b), S. 4.

schöpfen bisher das Potenzial der verfügbaren Daten nicht hinreichend aus, um beispielsweise ihre Prozesse datenbasiert zu optimieren oder ihr Geschäftsmodell datenbasiert anzupassen. Zudem ist es insbesondere für KMU aufgrund technischer, organisatorischer, finanzieller und personeller Herausforderungen oftmals kaum möglich zu beurteilen, ob sich eine Maßnahme bzw. eine Investition in Zirkularität lohnt.

Die Wirkzusammenhänge zwischen digital gestützten zirkulären Maßnahmen, den dafür eingesetzten Ressourcen und den realisierbaren Ressourceneffizienzpotenzialen werden in dieser Studie näher analysiert und praxisorientiert für KMU, in Form eines Leitfadens zur Bestimmung der Effizienz zirkulärer Maßnahmen, aufbereitet.

1.2 Forschungsfragen

Um das Zusammenspiel zirkulärer Ansätze und digitaler Lösungen zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu untersuchen, stehen folgende Leitfragen im Zentrum der Studie:

- Status quo: Welche Anwendung finden zirkuläre Maßnahmen? Inwieweit sind diese digital gestützt?
- Umsetzung: Welche Aufwände sind mit digital gestützten zirkulären Maßnahmen verbunden? Was sind relevante Herausforderungen bei der Umsetzung?
- Effekte: Welche Effekte haben digital gestützte zirkuläre Maßnahmen auf die Ressourceneffizienz?
- Messung: Inwieweit wird Zirkularität in Unternehmen gemessen? Wie kann die Effizienz von zirkulären Maßnahmen gemessen bzw. bestimmt und deren Nutzen für Unternehmen bewertet werden?

2 VORGEHEN UND METHODIK

Dieses Kapitel beinhaltet die Vorgehensweise und zugrunde liegende Methodik der Studie. Zunächst beschreibt Kapitel 2.1 die Zielsetzung, den Ablauf sowie die genutzte Methodik in den einzelnen Arbeitspaketen. Kapitel 2.2 erklärt die Struktur der Studie. Abschließend liefert Kapitel 2.3 die verwendeten Definitionen wesentlicher Begriffe im Kontext von Ressourceneffizienz, Circular Economy und Digitalisierung.

2.1 Ziel und Aufbau der Studie

Ziel dieser Studie ist es, Ressourceneffizienzpotenziale durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen für KMU im deutschen verarbeitenden Gewerbe zu identifizieren. Zur Beantwortung dieser Fragen wird ein Methoden-Mix angewendet. Unter Berücksichtigung der aktuellen Forschung und Literatur wird das Thema mit aktuellen, maßgeblichen Fakten und Praxisbeispielen auf Basis einer repräsentativen Unternehmensbefragung und Experteninterviews systematisch beleuchtet. Außerdem liefert ein für industrielle KMU zielgruppengerecht aufbereiteter Leitfaden Ansätze für die Bestimmung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen.

Die Durchführung der Studie fand in fünf Arbeitspaketen statt:

- (1) Mithilfe von Desk-Research wurden zu Beginn theoretische Ressourceneffizienzpotenziale digital gestützter zirkulärer Maßnahmen evaluiert, indem die bisherige Erkenntnislage sowie offene Fragestellungen in diesem Themenbereich aus der Literatur analysiert wurden.
- (2) Um den Status quo der Verbreitung digital gestützter Maßnahmen und damit verbundenen Ressourceneinsparpotenziale zu erfassen, wurde im Anschluss eine Unternehmensbefragung von KMU im verarbeitenden Gewerbe durchgeführt. Empirisch erhoben wurde, welche digital gestützten zirkulären Maßnahmen in der industriellen Praxis angewendet werden, welche Aufwände damit für die KMU einher-

- gehen und welche Ressourceneffizienzpotenziale dadurch erschlossen werden.
- (3) Anschließend wurde ein Praxis-Leitfaden für KMU entwickelt mit dem Ziel, die Effizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen in Bezug auf ihre Zirkularitätsziele für Unternehmen sichtbar zu machen.
 - (4) Die abschließenden Experteninterviews geben tiefere Einblicke in die Unternehmenspraxis und zeigen Beispiele für die erfolgreiche Umsetzung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen.
 - (5) Abgeleitete Handlungsempfehlungen für Industrie, Politik und Wissenschaft runden die Studie ab. Diese werden aus den Untersuchungen der Treiber, Hemmnisse und Erfolgsfaktoren zur Umsetzung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen herausgearbeitet.

2.1.1 Desk-Research

Das Desk Research bildet eine Bestandsaufnahme der bisherigen Erkenntnislage. Eine umfangreiche Recherche der verfügbaren wissenschaftlichen (Fachliteratur) und grauen Literatur (Gutachten, Studien, Broschüren) bildet die Basis. Hierfür konnte auf schon durchgeführten Literaturrecherchen aus verschiedenen Vorstudien des IW aufgesetzt werden. Dabei wurden umfassende und viel zitierte Meta-Literaturstudien berücksichtigt. Erweitert wurde diese thematische Recherche gezielt mit Blick auf die für die Studie angedachten Fragestellungen. Dafür wurde der Fokus auf Veröffentlichungen ab dem Jahr 2015 gelegt. Suchbegriffe waren auf Deutsch und auf Englisch folgende: Wortzusammensetzungen wie zirkuläre Maßnahmen, zirkuläre Strategien, zirkuläre Geschäftsmodelle, zirkuläre Wirtschaft/Kreislaufwirtschaft, Ressourceneffizienz(-potenziale), Digitalisierung und digitale Technologien, aber auch Indikatoren für Zirkularitätseffizienz.

Die Begriffe wurden nicht nur getrennt gesucht, sondern ebenfalls gemeinsam als Suchkriterium angelegt, um relevante Studien zur Digitalisierung mit Fokus auf die Realisierung von Zirkularität zu finden. Genutzt

wurden für die Fachliteratur einschlägige Datenbanken wie Researchgate, Econstor, econlit, OECD iLibrary sowie für die graue Literatur eine allgemeine Internetsuche.

Die recherchierte Literatur wurde strukturiert und ergebnisorientiert aufbereitet. Die gewonnenen Erkenntnisse aus der verfügbaren Literatur und den schon vorhandenen Daten fanden auf folgenden Wegen Eingang in das Projekt:

- als Grundlage für die Entwicklung des Mappings zirkulärer Maßnahmen und der Ableitung geeigneter Indikatoren zur Effizienzbewertung zirkulärer Maßnahmen,
- zur Entwicklung des Fragebogens für die geplante Unternehmensbefragung,
- zur Entwicklung der Leitfäden für die geplanten Experteninterviews,
- zur Identifikation möglicher Handlungsempfehlungen für Industrie, Politik und Wissenschaft.

2.1.2 Unternehmensbefragung

Datengrundlage

Basis für die empirische Untersuchung ist eine Unternehmensbefragung, die das Institut der deutschen Wirtschaft (IW) im Rahmen der 46. Welle des IW-Zukunftspanels zwischen dem 15.11.2023 und 19.01.2024 durchgeführt hat. Beim IW-Zukunftspanel handelt es sich um eine wiederkehrende Online-Unternehmensbefragung, die neben verschiedenen Strukturdaten Daten zu aktuellen wirtschaftsrelevanten Veränderungsprozessen erhebt. Befragt werden Geschäftsführungen, Vorstände oder Leitende der Strategieabteilungen in Unternehmen der Industrie und der industrienahe Dienstleistungsbranche.

An dieser Umfrage haben 982 Unternehmen teilgenommen, davon haben 438 insgesamt bzw. 380 KMU (bis 249 Mitarbeitende) aus dem verarbeitenden Gewerbe die Fragen im Themenbereich „digital gestützte zirkuläre Maßnahmen“ beantwortet (vgl. Tabelle 1). Aufgrund von Relevanzfiltern nach der Einstiegsfrage können die Fallzahlen bei einzelnen Fragen nach unten abweichen. Alle Ergebnistabellen enthalten die ungewichteten Fallzahlen für die jeweilige Frage.

Tabelle 1: Nettostichprobe der Umfrage – Anzahl der Unternehmen, ungewichtet⁴

Branchen	Mitarbeitenden-(MA-)Größenklassen				
	Bis 49 MA	50 bis 249 MA	KMU gesamt	Ab 250 MA	Gesamt
Chemie-, Pharma-, Gummi- und Kunststoffindustrie	42	18	60	5	65
Metallerzeugung und -bearbeitung sowie Herstellung von Metallerzeugnissen	58	46	104	13	117
Maschinenbau, Elektroindustrie, Fahrzeugbau	84	48	132	21	153
Andere Branchen des verarbeitenden Gewerbes	61	23	84	19	103
Verarbeitendes Gewerbe gesamt	245	135	380	58	438

⁴ IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023

Befragungsmethodik

Für diese Studie wurden neun Fragen exklusiv gestellt, die ein Gesamtbild des Status quo in KMU des verarbeitenden Gewerbes liefern sollen. Sie behandeln die folgenden Themen:

- Vorhandensein, Nutzungsgrad und Digitalisierungsgrad von zirkulären Maßnahmen,
- Nutzungsgrad digitaler Technologien bei zirkulären Maßnahmen,
- Effekte des Einsatzes digitaler Lösungen bei zirkulären Maßnahmen,
- Ermittlungsgüte der Effekte zirkulärer Maßnahmen,
- Bewertung der Ressourceneffizienz durch den Einsatz digitaler Lösungen bei zirkulären Maßnahmen,
- Hemmnisse beim Einsatz digitaler Technologien zur Umsetzung zirkulärer Maßnahmen.

Außerdem werden im IW-Zukunftspanel simultan eine Vielzahl von Struktur- und Erfolgsfaktoren abgefragt, die als Typisierungsvariablen genutzt werden können. Es werden zudem Kreuzvariablen zur Typisierung nach Mitarbeitenden-Größenklasse, Unternehmenserfolg und Digitalisierungsgrad verwendet. Dabei werden folgende Definitionen zugrunde gelegt:

- **Mitarbeitenden-Größenklassen:** Für die Definition von KMU wird, angelehnt an die EU-Definition, die Grenze bei 249 Mitarbeitenden gezogen. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse für KMU bis 49 Mitarbeitende fast identisch mit den Ergebnissen für KMU insgesamt sind, da diese Größenklasse die Mehrheit der Unternehmen darstellt und damit den Durchschnitt maßgeblich bestimmt (siehe auch Gewichtung unten).
- **Erfolgsklassen:** Für den Unternehmenserfolg wird ein Erfolgsindex mit zwei Komponenten verwendet – einer Komponente, die auf gleichgewichteten Angaben zur Unternehmensentwicklung der jüngeren Vergangenheit basiert (Umsatz-, Beschäftigungs- und Nettoumsatzrenditeentwicklung, Erreichung der Unternehmensziele), und einer weiteren

Komponente, die die kurzfristigen Zukunftseinschätzungen (Erwartungen bezüglich Umsatz-, Beschäftigungs- und Investitionsentwicklung) gleichgewichtet beinhaltet. In den Gesamtindex fließt die Komponente der vergangenen Unternehmensentwicklung mit einem Gewicht von 70 Prozent und diejenige zur Einschätzung der zukünftigen Entwicklung mit einem Gewicht von 30 Prozent ein. Die Unternehmen werden auf dieser Basis in drei Erfolgsgruppen (niedrig, mittel, hoch) eingeteilt⁵.

- **Digitalisierungsgrad:** Der Digitalisierungsgrad wird auf Basis der Fragen zum Beitrag des Einsatzes digitaler Technologien zur Verbesserung der Kreislaufführung sowie zur Nutzung digitaler Technologien bei kreislaufforientierten Maßnahmen festgelegt. Je mehr die abgefragten digitalen Technologien in hohem Maße eingesetzt werden, desto höher ist der Digitalisierungsgrad des Unternehmens. Diese Fragen wurden nur den Unternehmen gestellt, die bereits kreislaufforientierte Maßnahmen einsetzen oder dies planen.

Die Stichprobe für die Befragung wurde folgendermaßen ausgewählt und repräsentativ hochgerechnet:

- **Stichprobe:** Die teilnehmenden Unternehmen basieren auf einer nach Anzahl der Beschäftigten und der Branche geschichteten Zufallsstichprobe, die aus der Unternehmensdatenbank beAddress gezogen wurde. In der Stichprobe sind anteilig mehr große Unternehmen enthalten als in der Grundgesamtheit. Dieses Vorgehen erlaubt es, auch bei dieser Gruppe eine für die Auswertung hinreichend hohe Fallzahl zu erzielen.
- **Gewichtung:** Um repräsentative Werte für die Grundgesamtheit (Industrieunternehmen und industrienaher Dienste) zu ermitteln, wurden die Befragungsergebnisse mit Anzahlgewichten (nach der Unternehmensanzahl anhand von Daten des Unternehmensregisters des Statistischen Bundesamtes) berechnet. Dabei werden bis zu zehn Branchen

⁵ Vgl. Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022), S. 20.

und drei Mitarbeitenden-Größenklassen (1 bis 49 Mitarbeitende, 50 bis 249 Mitarbeitende und ab 250 Mitarbeitende) berücksichtigt. Die Ergebnisse geben Aufschluss darüber, wie das durchschnittliche Unternehmen einen Sachverhalt einschätzt. Zusätzlich erfolgte im Rahmen der Hochrechnung eine Korrektur von „Nonresponse-Bias“. Unter „Nonresponse-Bias“ versteht man die potenzielle Verzerrung von Hochrechnungsergebnissen, die entstehen kann, wenn es strukturelle Unterschiede in der Teilnahmebereitschaft zwischen verschiedenen Unternehmenstypen, beispielsweise nach Unternehmensgröße, gibt und diese Unterschiede Einfluss auf die Ergebnisse der Befragung haben.

2.1.3 Entwicklung von Indikatoren und des Praxis-Leitfadens für KMU

Für die Entwicklung eines praxisorientierten Leitfadens für KMU wurden zunächst adäquate Indikatoren zur Messung und Bewertung der Effizienzsteigerung durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen identifiziert. Der Praxis-Leitfaden soll es Unternehmen ermöglichen, die Effekte ihrer getroffenen Maßnahmen auf die Zirkularitätsstrategien selbstständig und zielorientiert zu bestimmen. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

- (1) In einem ersten Schritt wurden bestehende Verfahren und Indikatoren zur Messung von Zirkularität und/oder Ressourceneffizienz aus der Literatur analysiert und bewertet. Die Literaturrecherche ist breit angelegt, da es bislang wenig Indikatoren zur Messung von Zirkularitätseffizienz gibt. Aufbauend auf der Literaturrecherche sowie Bewertung der dort entwickelten und vorgestellten Indikatoren wurden passende Indikatoren im Hinblick auf die Zielgruppe KMU im verarbeitenden Gewerbe abgeleitet. Die Indikatoren sollen dabei berücksichtigen, welche Daten in KMU verfügbar sind oder mit vertretbarem Aufwand in Erfahrung gebracht werden können.

- (2) In einem zweiten Schritt fand ein Abgleich zwischen den entwickelten Indikatoren und den Zirkularitätsstrategien statt, indem die Indikatoren den jeweiligen Strategien und somit den dazugehörigen Maßnahmen zugeordnet wurden.
- (3) Der Praxis-Leitfaden gibt schließlich in einem dritten Schritt einen systematischen Überblick über den passenden Einsatz verschiedener Indikatoren zur Messung der Ressourceneffizienzsteigerung in KMU sowie eine Checkliste zu Voraussetzungen für die erfolgreiche Bewertung. Zudem liefert der Leitfaden eine kurze Erläuterung der Indikatoren und darüber, welche Daten für die Berechnung der Indikatoren zur Verfügung stehen müssen.

2.1.4 Experteninterviews

Ziel der Experteninterviews war es, nicht nur unternehmerische Praxisbeispiele für die erfolgreiche Umsetzung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen zu gewinnen, sondern auch vertiefende Fragen zu der konkreten Umsetzung und den damit verbundenen Chancen, aber auch Herausforderungen in Unternehmen anhand von Einzelfällen zu diskutieren. Außerdem haben diese Unternehmensvertretenden den KMU-Leitfaden im Nachgang erprobt und ein Feedback dazu gegeben. Die Steckbriefe der Unternehmen sind in Anhang 2 zu finden.

In einer Abschlussfrage der Unternehmensbefragung wurde die grundsätzliche Teilnahmebereitschaft der Unternehmen für ein vertiefendes Experteninterview abgefragt. 77 KMU im verarbeitenden Gewerbe haben dieser Frage zugestimmt. Aus diesem Pool wurde eine nach Branchen- und Größenmix passende Auswahl von 15 Unternehmen angeschrieben. Es wurden insgesamt sieben Experteninterviews im Juni 2024 durchgeführt. Darunter waren Unternehmen aus der Textil-, Verpackungs- und Kunststoffindustrie sowie aus der Stahlverarbeitung und dem Werkzeugbau. Die befragten Unternehmen beschäftigen zwischen vier und 140 Mitarbeitende.

Die Experteninterviews wurden als semi-strukturierte Interviews digital über Microsoft Teams geführt und haben etwa 45 bis 60 Minuten gedauert. Ein Gesprächsleitfaden mit Leitthemen und Beispielfragen wurde als Basis genutzt. Ziel dieser Herangehensweise war das Schaffen einer offenen und natürlichen Gesprächsatmosphäre. Die Ergebnisse wurden systematisch und ergebnisorientiert erfasst.

2.2 Struktur der Studie

Die Struktur der Studie orientiert sich an den in Kapitel 1.2 definierten inhaltlichen Forschungsfragen unter der Verwendung der Ergebnisse aus den in Kapitel 2.1 beschriebenen Arbeitspaketen. In den Kapiteln 3 bis 5 werden zunächst die für die jeweilige Fragestellung relevante Theorie und darauf basierende Ableitungen kompakt beschrieben. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Unternehmensbefragung jeweils separat dargestellt. Einzelne Ergebnisse der Experteninterviews werden an geeigneter Stelle ergänzt. Daraus ergibt sich folgender Aufbau für die sich anschließenden Kapitel:

- Kapitel 3 zeigt auf, wie Unternehmen Ressourceneffizienz durch zirkuläre Strategien und die damit verbundenen Maßnahmen steigern können.
- Kapitel 4 beleuchtet die Rolle digitaler Technologien bei der Umsetzung zirkulärer Strategien und Maßnahmen.
- Kapitel 5 geht detailliert darauf ein, wie die Zirkularitätseffizienz in der vorliegenden Studie definiert wird und in Unternehmen bestimmt werden kann.
- Kapitel 6 liefert Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft und Wissenschaft.

2.3 Begriffsdefinitionen

Im Folgenden werden die für die Studie wesentlichen Definitionen der genutzten Begriffe im Kontext von Ressourceneffizienz, Circular Economy und Digitalisierung kurz beschrieben.

2.3.1 Ressourcen

Diese Studie bezieht sich beim Ressourcenbegriff auf die Definition „natürlicher“ Ressourcen der Richtlinie VDI 4800 Blatt 1⁶, die methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien zur Bewertung von Ressourceneffizienz liefert. Hierzu zählen die erneuerbaren und nicht erneuerbaren Primärrohstoffe, Energieressourcen, aber auch Flächen oder Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft) als Senken für Abfälle oder Emissionen sowie Ökosystemleistungen⁷.

Um die gesellschaftliche Zielstellung der Ressourcenschonung mit betrieblichen Handlungsmöglichkeiten verknüpfen zu können, greift die vorliegende Studie auf eine Erweiterung dieser Definition aus der Studie "Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes" des VDI ZRE zurück. Darin wird der Ressourcenbegriff in vier verschiedene Kategorien unterteilt: natürliche, betriebliche, materiell betriebliche und immateriell betriebliche.⁸ Die Schnittmenge beider Definitionen ist die Teilmenge betrieblicher Ressourcen: materielle betriebliche Ressourcen, nämlich Materialien und Energie⁹. Es zeigt sich, dass die natürlichen Ressourcen durch bestimmte betriebliche Ressourcen beeinflusst werden, wie Endenergieverbrauch, Materialien und Fläche/Boden. Diese Teilmenge stellt die materiellen betrieblichen Ressourcen dar. Darüber hinaus führen auf betrieblicher Ebene auch Emissionen in Luft und

⁶ Vgl. VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

⁷ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2023), S. 7.

⁸ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (2017), S. 21 ff.

⁹ Vgl. Schebeck, L. (2018), S. 69.

Wasser sowie das Aufkommen von Abfällen zum Verbrauch natürlicher Ressourcen, der die Tragfähigkeit der Umwelt beansprucht¹⁰.

2.3.2 Ressourceneffizienz und Ressourceneffizienzpotenziale

Wesentliches Ziel der Ressourceneffizienz ist in dieser Studie die Verringerung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen bei der Güterproduktion, insbesondere beim Einsatz von Rohstoffen und Wasser, bei der Inanspruchnahme von Flächen und bei der Minderung von Umweltbelastungen gemäß der Richtlinie VDI 4800 Blatt 1¹¹. Zu berücksichtigen ist, dass in der betrieblichen Praxis häufig nur die Verbräuche betrieblicher Ressourcen direkt gemessen werden können¹².

Bislang gibt es keine einheitliche Definition von Ressourceneffizienz. Aus volkswirtschaftlicher Sicht wurden sowohl auf nationaler als auch europäischer Ebene Indikatoren-Sets aufgestellt, um die Fortschritte in der Ressourcennutzung abzubilden¹³. Im deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess) ist die Rohstoffproduktivität eine wichtige Bezugsgröße, welche um die Gesamtrohstoffproduktivität ergänzt wurde¹⁴.

Aus ökonomischer Perspektive versteht man unter „Effizienz“ die Erzeugung eines vorgegebenen Outputs durch einen minimalen Input (Minimalprinzip) oder die Erzeugung eines maximalen Outputs durch einen vorgegebenen Input (Maximalprinzip). Die Richtlinie VDI 4800 Blatt 1¹⁵ definiert Ressourceneffizienz als das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses in Relation zum dafür nötigen Ressourceneinsatz (natürliche Ressourcen)¹⁶. Der Nutzen oder das Ergebnis kann die Herstellung eines Produkts, die Durchführung eines Prozesses, aber auch eine

¹⁰ Vgl. Schebeck, L. (2018), S. 22.

¹¹ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 13.

¹² Vgl. Schebeck, L. (2018), S. 69.

¹³ Vgl. Biebeler, H. und Lang, T. (2014), S. 7 ff.

¹⁴ Vgl. BMU (2020), S. 23.

¹⁵ Vgl. VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

¹⁶ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2023), S. 9.

Dienstleistung wie ein Warentransport oder die Bereitstellung von Informationen über elektronische Medien sein¹⁷. Wesentliche Maßnahmen auf betrieblicher Ebene zur Steigerung der Ressourceneffizienz zielen auf die Einsparungen von Primärrohstoffen und Energieressourcen, auf die Verringerungen der Umweltbelastungen (Emissionen, Abfälle, Abwasser), auf die Erhöhung der Versorgungssicherheit und die Reduzierung von Herstellungskosten ab.

Entsprechend der Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 muss eine zirkuläre Maßnahme die Ressourceneffizienz über den gesamten Produktlebensweg betrachtet verbessern, um eine Ressourcenschonung zu erzielen¹⁸. Das bedeutet, dass es innerhalb einer Wertschöpfungskette oder eines Produktlebenswegs nicht nur zu lokalen Verschiebungen des Aufwands, beispielsweise zu Zuliefernden, kommen darf. Die Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 gibt vor, für welche Maßnahmen zur Ressourceneffizienz eine Lebensweganalyse erforderlich ist¹⁹. Ressourceneffizienzpotenziale werden nicht explizit definiert. Das Potenzial entspricht hier stattdessen einer möglichen Verbesserung der Ressourceneffizienz durch eine spezifische Veränderung, die aus der Durchführung einer Maßnahme aus der Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 resultiert²⁰.

Im Folgenden wird unter dem Begriff „Ressourceneffizienzpotenzial“ das Potenzial der in Abbildung 1 dargestellten Verhältnisse verstanden. Es wird aufgezeigt, wie sich Ressourceneffizienz unter Verwendung digitaler zirkulärer Maßnahmen verbessern kann. Der erbrachte Nutzen und der damit verbundene Aufwand im Vergleich zu einem Referenzzustand werden dazu miteinander verglichen. Unter dem Referenzzustand ist hier der konventionelle Prozess definiert, der durch die digitale Technologie verändert wird. Für den Ausweis der natürlichen Ressourcen selbst sind Datensätze

¹⁷ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017a), S. 24.

¹⁸ Vgl. VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

¹⁹ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 14.

²⁰ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017a), S. 62.

für den vollständigen Lebenszyklus, wie Ökobilanzdatenbanken, notwendig. Diese Datensätze dienen dazu, das Ressourceneffizienzpotenzial zu berechnen, indem ihre Faktoren mit dem Verbrauch natürlicher Ressourcen multipliziert werden²¹.



Abbildung 1: Definition des Begriffs der Ressourceneffizienz²²

2.3.3 Circular Economy und zirkuläre Geschäftsmodelle

Das **Grundprinzip einer Circular Economy** besteht darin, Produkte, Materialien und Rohstoffe so lange wie möglich zu nutzen. Dadurch werden der Material- und Energiebedarf sowie die Abfälle und Emissionen eines Wirtschaftssystems minimiert. Im Mittelpunkt steht hierbei die gesamte Wertschöpfungskette bzw. der gesamte Produktlebenszyklus. Dazu gehören die Gewinnung von Rohstoffen, das Produktdesign, die Herstellung von Halbfertig- und Fertigwaren und Produkten sowie die Verwendung und das Recycling von Materialien. Im Idealfall werden Produkte für eine möglichst lange Lebensdauer, für die Wiederverwendung sowie für das Recycling konzipiert. Zudem werden in der Entwurfsphase Entscheidungen über den Einsatz kreislaufgerechter Materialien und Rohstoffe (z. B. nachwachsende Rohstoffe, recycelte Materialien) im zu designenden Produkt getroffen. Hierfür müssen bestehende Produkt- und Dienstleistungssysteme

²¹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017a), S. 62 f.

²² Eigene Darstellung auf Basis von VDI 4800 Blatt 1: 2016-02. Wiedergegeben mit Erlaubnis des Verein Deutscher Ingenieure e. V.

jedoch angepasst werden. Zusätzlich wird Raum für neue Geschäftsmodelle geboten, die diese Anforderungen erfüllen²³.

Das **Konzept der Circular Economy** wird in Politik, Unternehmenspraxis und Wissenschaft derzeit intensiv diskutiert. Dennoch liegt keine einheitliche Definition vor, so dass es hier unterschiedliche Auffassungen und keine Kohärenz gibt, wie es die Überblicksstudie von Kirchherr et al. (2017) mit ihrem Vergleich von 114 Definitionen verdeutlicht²⁴. Am häufigsten wird die Circular Economy als eine Kombination aus Reduktion, Wiederverwendung und Recycling verstanden, ohne hervorzuheben, dass ein systemischer Wechsel hierfür notwendig ist²⁵. Insbesondere wurde in der Vergangenheit der deutsche Begriff der „Kreislaufwirtschaft“ lediglich im Zusammenhang mit einer Recycling- bzw. Abfallwirtschaft herangezogen. Das hier untersuchte Konzept der Circular Economy ist an die umfängliche Bedeutung des Begriffs angelehnt, die heutzutage auch zunehmend in der Öffentlichkeit Anwendung findet²⁶.

Demnach sind die Ziele einer Circular Economy die Optimierung der Ressourcennutzung, beispielsweise durch Reduktion des Ressourceneinsatzes und Verlängerung der Nutzungsdauer und letztlich die Rückführung und Wiederverwendung von Ressourcen in einem geschlossenen Kreislauf. Auf diese Weise kann Primärmaterial eingespart werden bei gleichzeitiger Vermeidung von negativen Effekten auf die Umwelt. Zusätzlich können Material- und Energieinputs durch ein recyclinggerechtes Produktdesign sowie angepasste Produktionsprozesse minimiert werden^{27, 28}.

²³ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 79.

²⁴ Vgl. Kirchherr, J.; Reike, D. und Hekkert, M. (2017), S. 228 f.

²⁵ Vgl. Kirchherr, J.; Reike, D. und Hekkert, M. (2017), S. 221.

²⁶ Vgl. Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022), S. 8.

²⁷ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 79.

²⁸ Vgl. Fluchs, S. und Schleicher, C. (2021), S. 5 f.

Zirkuläre Geschäftsmodelle sind Geschäftsmodelle, die sich darauf konzentrieren, Werte so lange wie möglich zu erhalten und Ressourcen einzusparen bei gleichzeitigem Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit^{29, 30}. Geschäftsmodelle beschreiben, wie Unternehmen ihre Geschäfte gestalten. Im Fokus steht, wie ein Unternehmen sein Nutzenversprechen, die Wertschöpfungsarchitektur und das Ertragsmodell in die Wettbewerbsstrategie einbettet. Allgemeine Annahme ist, dass Unternehmen die Gewinnmaximierung als ihr Ziel festsetzen, welches durch die Kostenminimierung sowie die Umsatzsteigerung erreichbar ist. Ressourcen werden als unendlich verfügbarer Inputfaktor betrachtet. Das führt zu einer linearen Wirtschaft, bei der Güter nach einmaliger Nutzung entsorgt werden und das Wirtschaftswachstum an den Ressourcenverbrauch gekoppelt ist³¹.

Zirkuläre Geschäftsmodelle setzen sich aus verschiedenen Komponenten zusammen und verfolgen zirkuläre Strategien, die Ressourcenkreisläufe verlangsamen, verlängern und schließen. Außerdem wird mit linearen Produktions- bzw. Geschäftsmustern gebrochen, wozu beispielsweise die Annahme der unendlichen Ressourcenverfügbarkeit zählt^{32,33}. Die Gewinnmaximierung erfolgt nicht länger nur durch die Minimierung der Kosten und die Maximierung des Umsatzes, sondern ebenso durch die Maximierung der Nutzungsdauer von Produkten und Ressourcen. Dies wiederum bedeutet eine Minimierung des Ressourceneinsatzes³⁴.

Zirkuläre Strategien werden durch zirkuläre Maßnahmen umgesetzt. Dadurch wird der Ressourceninput in die Organisation verringert und der Erhalt von Werten maximal ausgeweitet³⁵. Dies gelingt an entsprechender

²⁹ Vgl. Geissdoerfer, M.; Savaget, P.; Bocken, N. M.P. und Hultink, E. J. (2017), S. 763.

³⁰ Vgl. Neligan, A.; Baumgartner, R. J.; Geissdoerfer, M. und Schöggel, J.-P. (2022), S. 1176 f.

³¹ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 80.

³² Vgl. Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022), S. 10.

³³ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 80.

³⁴ Vgl. Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022), S. 9.

³⁵ Vgl. Bocken, N. M. P.; Pauw, I. de; Bakker, C. und van der Grinten, B. (2016), S. 308 f.

Stelle in der Wertschöpfung durch spezifische Maßnahmen wie die Umstrukturierung, Innovation und Erschließung neuer Geschäftsbereiche. Einige dieser Maßnahmen können eine umfassende Umstrukturierung und Umgestaltung der Geschäftsprozesse erfordern, z. B. die Umstellung auf ein Produkt-Service-System, während andere hingegen abhängig vom Produkt einfacher zu realisieren sind, z. B. die Reparatur. Einzelne Maßnahmen können verschiedene Strategien zur Förderung der Circular Economy unterstützen. Viele Unternehmen bauen ihr Geschäftsmodell daher aus einem Mix verschiedener Maßnahmen auf³⁶. Die einzelnen Komponenten eines solchen Systems sind komplex und voneinander abhängig. Die Wirkungen der zirkulären Maßnahmen entfalten sich daher nicht isoliert, sondern interagieren und ergänzen sich gegenseitig³⁷. Kapitel 3.1 geht noch detaillierter auf zirkuläre Strategien und Maßnahmen ein.

2.3.4 Digitalisierung und digitale Technologien

Das technische Fundament der Digitalisierung bildet die Umwandlung von Daten der analogen Welt in digitale Daten. Diese Verbindung zwischen realer und virtueller Welt ist der Kern der Digitalisierung, da so die reale Welt am Computer oder durch einen Computer erfasst, analysiert und sogar beeinflusst werden kann.³⁸

Die Digitalisierung stellt zudem einen Megatrend dar³⁹. Hierbei handelt es sich um eine grundlegende Entwicklung mit weitreichenden Konsequenzen für die gesamte Volkswirtschaft, welche die Grundlage für zahlreiche weitere Innovationen und Entwicklungen bildet. Beispielsweise repräsentiert die Digitalisierung den grundlegenden Megatrend für Entwicklungen wie Industrie 4.0, das autonome Fahren, Smart Contracts oder den Aufstieg digitaler Plattformen. Daher fällt es zwar leicht, das technische Fundament und den Kern der Digitalisierung zu beschreiben (siehe oben), aber

³⁶ Vgl. OECD (2019a), S. 25.

³⁷ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 81.

³⁸ Vgl. Demary, V.; Engels, B.; Röhl, K.-H. und Rusche, C. (2016), S. 5.

³⁹ Vgl. Naisbitt, J. (2015), S. 5.

eine einheitliche Definition des Begriffs Digitalisierung hat sich bis dato nicht etabliert.

Zur Operationalisierung wird folgende Definition nach BMWK (vormals BMWi) genutzt: „Digitalisierung bedeutet die Verwendung von digitalen Daten und algorithmischen Systemen als Produktionsfaktor oder als Bestandteil neuer oder verbesserter Prozesse und Produkte. Kennzeichen sind die Virtualisierung und Vernetzung von Produkten und Prozessen, das Teilen von Daten sowie die plattformbasierte Organisation und Steuerung von Wertschöpfungsketten. Aus der Kombination der genannten Aspekte ergeben sich neue digitale Geschäftsmodelle“⁴⁰. Diese Definition enthält wesentliche Teilaspekte der Digitalisierung, die auch zur Kategorisierung von Technologien verwendet werden können. Dies beinhaltet: Vernetzung, Virtualisierung, Datenverarbeitung, Prozesse, Produkte und Geschäftsmodelle^{41, 42}.

Zudem stellt besagte Definition die Bedeutsamkeit von Daten heraus, indem diese an erster Stelle genannt werden: Digitale Daten stehen demnach am Anfang aller digitalen Entwicklungen, da sie unter anderem ein digitales Abbild der Realität erst ermöglichen. Zur Operationalisierung werden in dieser Studie die aus der Definition resultierenden sechs Kategorien zur Analyse digitaler Technologien verwendet. Im Hinblick auf eine bessere Verständlichkeit in der späteren Befragung wird die Kategorie „Virtualisierung“ in „Digitale Zwillinge“ umbenannt und die Kategorie „Digitale Prozesse“ wird durch den Hinweis auf „digitale Informationssysteme“ spezifiziert. Konkret kommen folgende Kategorien und deren Definitionen, die sich an Stich et al. (2021) orientieren, zur Anwendung⁴³:

⁴⁰ Stich, V.; Hicking, J.; Stroh, M.-F.; Abbas, M.; Kremer, S. und Henke, L. (2021), S. 10.

⁴¹ Vgl. Stich, V.; Hicking, J.; Stroh, M.-F.; Abbas, M.; Kremer, S. und Henke, L. (2021), S. 9.

⁴² Vgl. Büchel, J.; Demary, V.; Goecke, H.; Mertens, A.; Rusche, C. und Wendt, J. M. (2021), S. 5.

⁴³ Vgl. Stich, V.; Hicking, J.; Stroh, M.-F.; Abbas, M.; Kremer, S. und Henke, L. (2021), S. 14 ff.

- (1) **Digitale Datenerfassung:** alle Technologien, mit deren Hilfe digitale Daten generiert, gespeichert, verarbeitet und analysiert werden können. Beispiele sind der Einsatz von Sensoren oder von Big-Data-Anwendungen, mit deren Hilfe aus großen, unstrukturierten Datenmenngen Informationen abgeleitet werden können.
- (2) **Digitale Vernetzung:** alle Technologien, mit deren Hilfe Daten und Informationen zusammengeführt, ausgetauscht und weitergeleitet werden können. Beispiele sind Bluetooth oder WLAN.
- (3) **Digitale Zwillinge:** alle Technologien, die ein digitales Abbild der Realität anhand digitaler Daten erzeugen oder dies ermöglichen.
- (4) **Digitale Prozesse im Sinne betrieblicher Informationssysteme:** digitale Anwendungen, die bei betrieblichen Prozessen eingesetzt werden oder diese ermöglichen. Die Nutzung von Cloud-Computing, gängigen Standardanwendungen (z. B. Enterprise-Resource-Planning (ERP) oder Produktdatenmanagement-(PDM-)Systeme) sind Beispiele.
- (5) **Digitale Produkte:** digitale Technologien, die bei physischen Produkten oder Dienstleistungen eines Unternehmens eingesetzt werden und zumindest einen Bestandteil dieses Produktes ausmachen sowie beispielsweise die Kommunikation mit der Umwelt ermöglichen. Beispiele sind Apps, App-Stores oder Assistenzsysteme.
- (6) **Digitale bzw. datengetriebene Geschäftsmodelle:** Geschäftsmodelle, die darauf basieren, digitale Informationen zentral bereitzustellen bzw. zu nutzen. Beispiele sind die Nutzung von Software oder Plattforminfrastruktur als Service für die Kundschaft (SaaS und PaaS).

Durch diese Kategorisierung können Teilaspekte der Digitalisierung sowie ihre Bedeutung für die Circular Economy und entsprechende Maßnahmen eingehender betrachtet werden. Relevant werden diese digitalen Technologien auch für den geplanten digitalen Produktpass (DPP), der als ein zentrales Instrument für eine Circular Economy angesehen wird. Wie in einem „Produktgedächtnis“ sollen in einem Datensatz Informationen über das Produkt wie Herstellende, Material, Eigenschaften, Reparatur- und

Entsorgungsmöglichkeiten digital für alle Akteure bereitgestellt werden, um so die Transparenz über den gesamten Produktlebenszyklus zu erhöhen. Dabei muss der DPP sowohl inhaltliche als auch technische Anforderungen erfüllen.

2.3.5 Zirkularitätseffizienz

Der Begriff der **Zirkularitätseffizienz** findet noch keine Anwendung in der betrachteten Literatur. Für die Bewertung der Wirksamkeit zirkulärer Maßnahmen in Bezug auf eine verfolgte Zirkularitätsstrategie spielt sie aber eine wesentliche Rolle. Daher wird der Begriff im Rahmen der Studie eingeführt. Analog zur Ressourceneffizienz nach VDI 4800 Blatt 1⁴⁴, dient die Zirkularitätseffizienz dazu, den Beitrag einer digital gestützten zirkulären Maßnahme zur Erreichung einer Zirkularitätsstrategie relativ zum Aufwand für die Umsetzung dieser Maßnahme zu messen bzw. bestimmen. Basierend auf einem Vergleich der Zirkularitätseffizienzen verschiedener Maßnahmen können Unternehmen abschätzen, welche Maßnahme einen höheren Beitrag zur Erreichung der Zirkularitätsstrategie als andere leistet, und so ihre Maßnahmen entsprechend priorisieren.

Die Messung konkreter Aufwände für die Umsetzung einer digital gestützten zirkulären Maßnahme ist in der Praxis jedoch häufig schwierig. Einerseits fehlen einheitliche und verlässliche Daten zur Bilanzierung von Ressourcenaufwänden spezifischer Produkte (z. B. Hardwarekomponenten) bzw. Anwendungen (z. B. Betrieb einer Software). Vorhandene Daten gehen häufig auf wissenschaftliche Untersuchungen zurück, die aggregierte Durchschnittswerte im Ergebnis darstellen und für KMU bspw. nicht frei zugänglich oder schwer verständlich sein können.

Andererseits ist eine konkrete Zuordnung von Ressourcenverbräuchen zu einzelnen Maßnahmen in der Praxis kaum möglich. So werden IT-Infrastrukturen wie z. B. Server selten nur für eine einzelne Softwareanwendung beschafft oder betrieben. Eingesetzte Anwendungen wie z. B.

⁴⁴ Vgl. VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

ERP-Systeme unterstützen wiederum mehr als nur eine Maßnahme. Folglich sind auch die entsprechenden Energieverbräuche für den Betrieb von Hardware und Softwareanwendungen nicht ohne weiteres den einzelnen Anwendungsfällen zuzuordnen.

Ferner sind häufig umfangreiche Umrechnungen notwendig, um Einsparungen und verschiedene Arten von Aufwänden auf eine vergleichbare Einheit zu überführen. So müssten z. B. zur Berechnung der Effizienz einer Maßnahme erzielte Materialeinsparungen (z. B. x Liter einer Chemikalie in der Produktion) sowie Materialaufwände für Hardwarekomponenten (z. B. x kg Silizium) und Energieaufwände für den Betrieb von Software (z. B. x kWh) auf ihre jeweiligen äquivalenten THG-Emissionen oder Kosten umgerechnet werden. Die für eine derartige Umrechnung benötigten Daten sind für KMU ebenfalls nur schwer zugänglich, da hierfür zurzeit nur wenige kommerzielle Anbieter existieren.

Zugunsten der Praxistaglichkeit bei der Betrachtung der Zirkularitätseffizienz werden die Ressourcenaufwände im Rahmen dieser Studie und des dazugehörigen Leitfadens daher nur indirekt betrachtet. Dies erfolgt mithilfe der Indikatoren, die ebenfalls in dieser Studie entwickelt werden. Sie werden in Kapitel 5.1 sowie im Praxis-Leitfaden ausführlich beschrieben. Zum besseren Verständnis sei an dieser Stelle nur erwähnt, dass diese Indikatoren jeweils Effekte erfassen, die durch die Umsetzung einer bestimmten Maßnahme erzielt werden können (z. B. Einsparung von Energie).

Die Ressourcenaufwände schlagen sich in einigen dieser Indikatoren insofern nieder, dass sie Einsparungen verringern bzw. überkompensieren. Demnach kann die Einführung einer Softwareanwendung im Rahmen einer zirkulären Maßnahme dazu führen, dass mehr Energie verbraucht wird, als durch selbige Maßnahme eingespart wird. Weiterhin gibt es Indikatoren, die konkrete Aufwände auf der monetären Ebene messen, wie z. B. initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie.

Aufgrund der größtenteils indirekten Betrachtung der Aufwände wird in der Studie von einer Bestimmung der Zirkularitätseffizienz anstatt von einer Messung gesprochen.

3 RESSOURCENEFFIZIENZ DURCH ZIRKULÄRE MAßNAHMEN

Zirkuläre Strategien können an unterschiedlichen Stellen im Lebenszyklus von Produkten ansetzen und werden durch zirkuläre Maßnahmen realisiert. Zirkuläre Maßnahmen, wie die Optimierung der Herstellungsprozesse, ressourcenschonendes Produktdesign oder auch Wiederverwertung, können dazu beitragen, die Ressourceneffizienz zu steigern. Dieses Kapitel setzt sich mit der Relevanz zirkulärer Maßnahmen auseinander. In Kapitel 3.1 werden anhand von Erkenntnissen aus der einschlägigen Literatur für KMU des verarbeitenden Gewerbes relevante zirkuläre Strategien und Maßnahmen definiert und zueinander über einen Abgleich in Bezug gesetzt. In Kapitel 3.2 werden die Ergebnisse aus der für diese Studie durchgeführten Unternehmensbefragung hinsichtlich des Vorhandenseins und Nutzungsgrads verschiedener zirkulärer Maßnahmen dargestellt.

3.1 Zirkuläre Maßnahmen in Unternehmen - Literatur

Kernaussagen

- Zirkuläre Strategien werden durch zirkuläre Maßnahmen umgesetzt.
- Für diese Studie werden elf zirkuläre Maßnahmen identifiziert, die einerseits digital gestützt und andererseits insbesondere für KMU relevant sind.
- Es wird ein Abgleich der identifizierten Zirkularitätsstrategien mit den digital gestützten zirkulären Maßnahmen vorgenommen, um Hinweise auf die Wirkungsweise, das Zusammenspiel und die Ressourceneffizienzpotenziale einzelner Maßnahmen zu erhalten.

3.1.1 Zirkuläre Strategien

Die Betriebswirtschaftslehre definiert eine Strategie im Rahmen der Unternehmensplanung als ein grundlegendes und langfristig ausgerichtetes Handeln eines Unternehmens zur Realisierung angestrebter Ziele⁴⁵. Zirkuläre Strategien zur Umsetzung einer Circular Economy lassen sich entlang der Wertschöpfungskette kategorisieren und umfassen das Schließen, das Ermöglichen, das Schaffen sowie das Verlängern von Kreisläufen⁴⁶. Während die Ellen MacArthur Foundation (EMF, 2013) bereits im Jahr 2013 vier zirkuläre Strategien definiert hat, wurden diese von Potting et al. (2017) zwecks Abbildung des gesamten Produktlebenszyklus auf die sogenannten 9R-Strategien (R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R3 Reuse, R4 Repair, R5 Refurbish, R6 Remanufacture, R7 Repurpose, R8 Recycle und R9 Recover) erweitert^{47, 48}. In Anlehnung an EMF (2013) identifizieren Lichtenthäler/Neligan (2023) vier Zirkularitätsstrategien, im Folgenden IW-Strategien genannt, die ebenfalls den gesamten Produktlebenszyklus betrachten: Kreisläufe schließen, Kreisläufe ermöglichen, neue Kreisläufe schaffen, Kreisläufe verlängern⁴⁹.

Diese vier Strategien werden in der vorliegenden Studie um den Aspekt der Erhöhung der Ressourceneffizienz ergänzt. Lichtenthäler/Neligan (2023) inkludieren die Ressourceneffizienz in ihrer Strategie „Kreisläufe ermöglichen“ und nehmen dabei insbesondere Bezug auf das Ökodesign. Aufgrund der Bedeutung der Ressourceneffizienz bei der Herstellung soll besagte Strategie im Rahmen dieser Studie aus der Ermöglichung von Kreisläufen herausgelöst und gesondert betrachtet werden. Die innerhalb dieser Studie genutzten Definitionen für die Zirkularitätsstrategien lauten wie folgt⁵⁰:

⁴⁵ Vgl. Müller-Stewens, G. (2018).

⁴⁶ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 80.

⁴⁷ Vgl. Ellen MacArthur Foundation (2013), S. 7.

⁴⁸ Vgl. Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E. und Hanemaaijer, A. (2017), S. 14 ff.

⁴⁹ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 80.

⁵⁰ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023), S. 80.

- **Strategie 1 – Kreisläufe schließen (S1):** Durch das Schließen der Lücke zwischen dem Lebenszyklusende eines Produkts oder Produktteils und dem Inputfaktor für seine Herstellung soll ein Kreislauf entstehen.
- **Strategie 2a – Verbesserte Ressourceneffizienz im Herstellungsprozess (S2a):** Durch eine gesteigerte Ressourceneffizienz im Herstellungsprozess sollen Abfälle vermieden sowie natürliche Ressourcen geschont werden.
- **Strategie 2b – Kreisläufe ermöglichen (S2b):** Das Ziel der Kreislaufführung soll bereits bei der Planung, der Entwicklung und dem Design der Produkte berücksichtigt werden.
- **Strategie 3 – Neue Kreisläufe schaffen (S3):** Durch Material- und Produktionssubstitution werden neue Zirkularitätsoptionen erzeugt. Das Abfallprodukt eines Prozesses kann so als Input für einen neuen Prozess dienen.
- **Strategie 4 – Kreisläufe verlängern (S4):** Produkte und Produktteile sollen so intensiv wie möglich genutzt werden, um den Wert so lange wie möglich zu erhalten.

Tabelle 2 gibt einen Überblick, inwiefern die bestehende Literatur die für diese Studie definierten Zirkularitätsstrategien betrachtet. Diese ist blau markiert. Sie enthält zudem Metastudien, in denen bereits umfangreiche Literaturrecherchen durchgeführt worden sind. Beispielhaft ist hier die Studie von Bjørnbet et al. (2021) zu nennen⁵¹.

⁵¹ Vgl. Bjørnbet, M. M.; Skaar, C.; Fet, A. M. und Schulte, K. Ø. (2021), S. 9.

Tabelle 2: Abdeckung der verschiedenen in dieser Studie definierten Zirkularitätsstrategien in der gesichteten Literatur⁵²

	Anzahl Strategien	S1	S2a	S2b	S3	S3
acatech/CEID/ SYSTEMIQ (2020)	4	x	-	-	-	x
Björnhet et al. (2021)	4	x	x	-	-	x
Bocken et al. (2016)	3	x	x	x	x	x
econsense (2021)	4	x	x	x	-	x
EEA (2021)	5	x	x	x	x	x
EMF (2013)	4	x	-	-	x	x
Fluchs et al. (2022)	4	x	-	x	x	x
Geissdoerfer et al. (2020)	4	x	-	x	x	x
Kirchher et al. (2017)	10	x	x	x	x	x
Lichtenthäler/Neligan (2023)	4	x	-	x	x	x
Neligan et al. (2021)	3	x	x	x	-	x
OECD (2018)	3	x	x	x	-	x
OECD (2019)	5	x	-	x	-	x
Potting et al. (2017)	10	x	x	x	x	x
VDI 4800 Blatt 1	3	x	x	x	-	-
wbcscd/BCG (2018)	6	x	x	x	x	x

S1 – Kreisläufe schließen; S2a – Ressourceneffizienz verbessern; S2b – Kreisläufe ermöglichen; S3 – Kreisläufe schaffen

3.1.2 Zirkuläre Maßnahmen

Analog zur Vielfalt der Strategien existiert eine ebenso große Bandbreite an Literatur zu zirkulären Maßnahmen. Eine Begriffsdefinition liefert bereits Kapitel 2.3. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Auswahl der oben identifizierten Literatur, in der zirkuläre Maßnahmen erläutert werden. Sie veranschaulicht, dass sich die konkreten Maßnahmen je nach Schwerpunkt der Quelle zwar unterscheiden, es aber durchaus große Schnittmengen sowie ein ähnliches Verständnis gibt.

⁵² Eigene Darstellung.

Tabelle 3: Literatur, die zirkuläre Maßnahmen behandelt

Studie	Maßnahmen
acatech/CEID/SY STEMIQ (2020) ⁵³	Wartung, Upgrades, Erkennen von Defekten und Austausch defekter Teile, Inspektion, Weitervertrieb eines funktionierenden Produkts, Wiederherstellung, funktionales Recycling, Downcycling, Redesign, Take-back-Systeme, Produkt-Service-Systeme, Abfallmanagement
Bocken et al. (2016) ⁵⁴	Design von langlebigen Gütern, Design für eine verlängerte Produktlebensdauer, Design für einen biologischen Kreislauf, Design für Demontage, Reparatur und Wartung, Wiederaufbereitung, Recycling, Erbringung von Dienstleistungen anstelle von Besitz
econsense (2021) ⁵⁵	Zirkuläre Betriebsmittel, Produkt als Dienstleistung, Erweiterung der Produktnutzung, gemeinsame Nutzung, Ressourcenrückgewinnung
EEA (2021) ⁵⁶	Verringerung von Ressourcen und Produktionsabfällen, Recycling, Verringerung des Materialverbrauchs, Design für eine Circular Economy, Wiederaufbereitung, Wiederverwendung, Reparatur, Umdenken
Fluchs et al. (2022), ⁵⁷ Neligan et al. (2021a) ⁵⁸	Ressourcenschonendes Produktdesign, Produkt-Service-Systeme, strategisches Ressourcenmanagement, Optimierung der Herstellungsprozesse, Verwendung neuer Techniken, Einsatz neuer Materialien, Energieeffizienz, interne Kreislaufführung, betriebsübergreifende Kreislaufführung
Geissdoerfer et al. (2020)	Recycling, Wiederverwendung, Wiederherstellung, Wiederaufbereitung, langlebiges Design, Marketing, Wartung, Reparatur, gemeinsame Nutzung, Softwarelösungen
OECD (2018) ⁵⁹	Produktreparatur und Wiederaufbereitung, Materialrecycling, robuste und langlebige Produkte durch Design, Wiederverwendung und Reparatur, erhöhte Materialproduktivität, erhöhte Anlagenauslastung, verändertes Verbraucherverhalten
OECD (2019) ¹	Recycling, Wiederverwendung, Wartung und Reparatur, Wiederaufarbeitung und Wiederherstellung, Herstellung von Rohstoffen aus Abfällen, gemeinsame Nutzung/Leasing, Ersatz von Produktionsmitteln durch biobasierte/erneuerbare/wiedergewonnene Materialien, langlebiges Produktdesign

⁵³ Vgl. acatech; Circular Economy Initiative Deutschland und SYSTEMIQ (2021).

⁵⁴ Vgl. Bocken, N. M. P.; Pauw, I. de; Bakker, C. und van der Grinten, B. (2016).

⁵⁵ Vgl. econsense (2021).

⁵⁶ Vgl. Gilllabel, J.; Manshoven, S.; Grossi, F.; Fogh Mortensen, L. und Coscieme, L. (2021).

⁵⁷ Vgl. Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022).

⁵⁸ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a).

⁵⁹ Vgl. OECD (2018).

Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 ¹	Materialsstitution, Einsatz von Sekundärrohstoffen, nutzungsgerechte Produktgestaltung, Verlängerung der technischen Produktlebensdauer, Kaskadennutzung von Produkten, Reparierbarkeit, recyclinggerechte Produktgestaltung, vorausschauende Wartung, Modularisierung von Anlagen, Vermeiden von Verlusten in der Produktion, Recycling von Produktionsabfällen
wbcsd/BCG (2018) ¹	Recycling, Wiederverwendung, abfallfreie Produktion, ressourceneffiziente Produktion, Sharing/Leasing, verantwortungsvolle Produktnutzung, Sammeln und Wiederverwerten von Produkten, regenerative Materialnutzung

Neben der hier präsentierten Literatur gibt es weitere umfangreichere Darstellungen zirkulärer Maßnahmen im Rahmen verschiedener Regularien auf Ebene der Europäischen Union. Hierunter fällt beispielsweise die EU-Taxonomie-Verordnung für nachhaltige Investitionen. Diese nennt in Artikel 13 Absatz 1 (a-l) zahlreiche Wirtschaftstätigkeiten, die dem Übergang zu einer Circular Economy dienlich sind⁶⁰.

Die darin aufgeführten Wirtschaftstätigkeiten sind zum Teil so hinreichend spezifisch, dass sie als zirkuläre Maßnahme gezählt werden können. Beispielfhaft zu nennen sind Wirtschaftstätigkeiten, die:

- die Haltbarkeit, Reparaturfähigkeit, Nachrüstbarkeit oder Wiederverwendbarkeit von Produkten verbessern.
- die Nutzung von Produkten unter anderem durch Wiederverwendung, Design für Langlebigkeit, Umfunktionierung, Demontage, Wieder-aufarbeitung, Modernisierung und Reparatur sowie die gemeinsame Nutzung von Produkten verlängern.
- die Wiederverwendung und das Recycling von Abfällen verstärkt vorbereiten.
- das Abfallaufkommen vermeiden bzw. verringern.

Die EU-Ökodesignverordnung formuliert in Artikel 5 Absatz 1 ähnliche produktgruppenspezifische Anforderungen, damit europaweit bereits bei der Produktplanung für leichteres Recycling, einfache Reparatur, längere

⁶⁰ Vgl. Europäische Kommission (2020).

Produktlebensdauer und Ressourceneinsparungen gesorgt wird⁶¹.⁶² Diese Ökodesignanforderungen sollen jeweils spezifisch für eine bestimmte Produktgruppe gelten oder es können auch gemeinsame Anforderungen wie die Ausstattung mit einem gemeinsamen Ladegerät für mehrere Produktgruppen (beispielsweise elektronische Geräte) horizontal festgelegt werden, sofern es technische Ähnlichkeiten ermöglichen.

In der überarbeiteten Fassung der Richtlinie VDI 4800 Blatt 1⁶³ werden insgesamt 48 Maßnahmen für mehr Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung mit Bezug zum Produkt und zur Produktion genannt⁶⁴. Mit der Maßnahme „Fertigungsbezogene Kreislaufführung“ (Nr. 32) wird hinsichtlich der Produktion die inner- und überbetriebliche Kreislaufführung explizit genannt. Auch auf Basis einer früheren Version dieser Richtlinie sowie der zu dem Zeitpunkt verfügbaren Literatur identifizieren Neligan et al. (2021b) 80 konkrete Maßnahmen aus Produktsicht und 61 Maßnahmen auf Prozessebene für mehr Ressourceneffizienz und Ressourcenschonung⁶⁵.

3.1.3 Typisierung relevanter zirkulärer Maßnahmen

Mit dem Ziel, die Rolle digitaler Lösungen zur Unterstützung der Circular Economy herauszuarbeiten und die anschließenden Wirkungen auf Ressourceneffizienz offenzulegen, zeigt Tabelle 4 elf zirkuläre Maßnahmen, die einerseits digital gestützt und andererseits insbesondere für KMU relevant sind. Diese elf zirkulären Maßnahmen werden in der vorliegenden Studie zugrunde gelegt. Dabei decken die Maßnahmen alle Strategien gemäß den IW-Strategien von Lichtenthäler/Neligan (2023), aber auch

⁶¹ Vgl. Neligan, A.; Lichtenthäler, S. und Schmitz, E. (2023a), S. 8 f.

⁶² Vgl. Amtsblatt der Europäischen Union (2024), S. 33.

⁶³ Vgl. VDI 4800 Blatt 1: 2016-02.

⁶⁴ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2023), S. 21.

⁶⁵ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021b), S. 14 ff.

Potting et al. (2017) sowie wbcSD/BCG (2018) ab^{66, 67, 68}. Potting et al. (2017) stellen mit ihrem 9R-Framework einen wesentlichen Strategieansatz dar. Zudem werden die Kategorien Produkt- und Prozessebene gemäß Neligan et al. (2021a) und die wesentlichen Aspekte der Maßnahmen in Tabelle 4, wie ein entsprechendes Produktdesign, Recycling, eine verlängerte Nutzungsdauer und die Verwendung von Sekundärrohstoffen, abgedeckt⁶⁹.

Tabelle 4: Identifizierte zirkuläre Maßnahmen inklusive Zuordnung zu den jeweiligen Zirkularitätsstrategien

	Verwendete zirkuläre Strategien	Lichtenthäler/Neligan (2023)	Potting et al. (2017)	wbcSD/BCG (2018)
Elf betriebliche Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufführung		Vier IW-Strategien	9R-Strategien	Sechs übergreifende Strategien
Produktebene/Geschäftsmodelle				
Einsatz neuer Materialien	S3	S3	R1 (Umdenken) R2 (Reduzieren)	Kaufen, Designen, Herstellen
Einsatz von Sekundärrohstoffen	S1	S1	R8 (Recyclen)	Kaufen, Sammeln und Recyclen
Kreislaufgerechtes Produktdesign	S2b	S2	Alle 9R-Strategien	Designen
Produktergänzende Serviceangebote	S4	S4	R1 (Umdenken)	Verkaufen

⁶⁶ Vgl. Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022), S. 14.

⁶⁷ Vgl. Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E. und Hanemaaijer, A. (2017), S. 5.

⁶⁸ Vgl. wbcSD/BCG (2017), S. 5.

⁶⁹ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 34 ff.

Wieder- verwendung und -aufbereitung von Produkten und/oder Produktteilen	S4	S4	R3 (Wieder- verwenden), R4 (Repa- rieren), R5 (Wiederauf- bereiten), R6 (Wiederher- stellen), R7 (Umfunktio- nieren)	Nutzen, Sammeln und Recyclen
Prozessebene				
Maßnahmen zur Energieeffizienz und -einsparung	S2a	S2	R2 (Reduzieren)	Herstellen
Optimierung der Herstellungs- prozesse zur Ressourcenschonung und Abfall- vermeidung (ohne Energieeffizienz und -einsparung)	S2a	S2	R2 (Reduzieren)	Herstellen
Weiter- und Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien	S1, S4	S1, S4	R3 (Wieder- verwenden), R4 (Repa- rieren), R5 (Wiederauf- bereiten), R6 (Wiederher- stellen), R7 (Umfunktio- nieren), R8 (Recyclen)	Herstellen, Nutzen
Wiederverwertung (Recycling) von Rohstoffen und Materialien	S1, S3	S1, S3	R6 (Wiederher- stellen), R7 (Umfunktio- nieren), R8 (Recyclen)	Sammeln und Recyclen

Strategisches Management kreislaufforientierter Maßnahmen	S1-S4	S1 – S4	Alle 9R-Strategien	Alle 6 übergreifenden Strategien
Informationssysteme zur Kreislaufrführung	S1-S4	S1 – S4	Alle 9R-Strategien	Alle 6 übergreifenden Strategien

S1 – Kreisläufe schließen; **S2a** – Verbesserte Ressourceneffizienz; **S2b bzw. S2** (IW-Strategie) – Kreisläufe ermöglichen; **S3** – Neue Kreisläufe schaffen; **S4** – Kreisläufe verlängern

3.2 Zirkuläre Maßnahmen - Unternehmensbefragung

Kernaussagen

- Die Mehrheit der befragten KMU im verarbeitenden Gewerbe hat entweder zirkuläre Maßnahmen ergriffen oder plant dies. Dabei steigt der Anteil der Unternehmen mit zirkulären Maßnahmen deutlich mit dem Unternehmenserfolg.
- Der Fokus liegt auf Maßnahmen zur Energieeinsparung und -effizienz sowie auf prozessbezogenen innerbetrieblichen Optimierungsmaßnahmen und weniger auf Ansätzen, die direkt auf das Produkt eingehen, wie die Erweiterung des Angebots um Produkt-Service-Systeme.
- Auch gibt es Verbesserungspotenzial beim Einsatz neuer und recycelter Rohstoffe.

3.2.1 Vorhandensein zirkulärer Maßnahmen

Für Unternehmen existieren zahlreiche Möglichkeiten, Maßnahmen zu ergreifen, um die Kreislaufrführung von Rohstoffen, Materialien, Produkten und/oder Produktteilen zu verbessern. Diese Maßnahmen zahlen wiederum, wie in Kapitel 3.1 erläutert, auf Unternehmensstrategien ein und haben unterschiedliche Ziele.

Die Mehrheit der befragten KMU im verarbeitenden Gewerbe hat entweder zirkuläre Maßnahmen ergriffen oder plant dies zumindest. Der Blick auf die Mitarbeitenden-Größenklassen verdeutlicht, dass kleinere Unternehmen seltener als mittelgroße Unternehmen kreislaforientierte Ansätze realisieren.

Abbildung 2 zeigt, dass aktuell bereits mehr als die Hälfte der KMU im verarbeitenden Gewerbe kreislaforientierte Maßnahmen einsetzt, während weitere elf Prozent deren Einsatz planen. Bei den Unternehmen mit 50 bis 249 Mitarbeitenden sind es schon knapp zwei Drittel der Unternehmen, die über zirkuläre Maßnahmen verfügen. Mehr als vier von fünf großen Unternehmen (ab 250 Mitarbeitende) geben an, kreislaforientierte Maßnahmen aktuell zu ergreifen oder künftig ergreifen zu wollen.

Der Anteil der Unternehmen, der solche Maßnahmen jedoch weder aktuell einsetzt noch für die Zukunft plant, ist in beiden KMU-Mitarbeitenden-Größenklassen mit 24 Prozent (50 bis 249 Mitarbeitende) bzw. 31 Prozent (bis 49 Mitarbeitende) vergleichsweise hoch. Bei großen Unternehmen (ab 250 Mitarbeitenden) liegt er deutlich niedriger.

Folgende Ausführungen aus den Experteninterviews geben einen ersten Eindruck, wie Unternehmen Zirkularität umsetzen. Dabei handelt es sich bei Aussagen mit Anführungszeichen um Zitate und ohne Anführungszeichen um Zusammenfassungen wesentlicher Aussagen aus den Gesprächen.

Experteninterview #3 (Kunststoffindustrie): „Wir recyceln unsere Ausschüsse zu 100 Prozent – sie werden direkt wieder der Produktion beigemischt.“ Was verkauft ist, ist jedoch verkauft. Es findet keine Rückführung der Produkte statt.

Experteninterview #6 (Werkzeugbau): Recycling im Sinne der Verschrottung und Rückführung in den Stahlherstellungskreislauf ist in der Branche üblich.

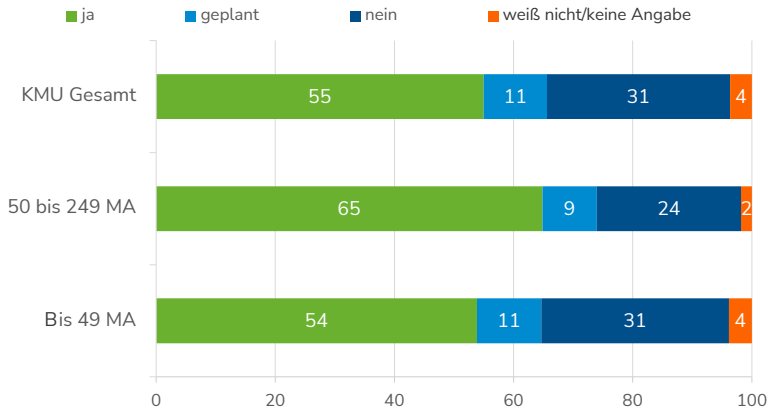


Abbildung 2: Vorhandensein von kreislauforientierten Maßnahmen⁷⁰

Die Relevanz kreislauforientierter Maßnahmen wird insbesondere bei der Unterscheidung ihres Einsatzes – unternehmensintern oder verbundübergreifend, das heißt in Kooperation mit anderen Unternehmen/Einrichtungen – sichtbar (vgl. Abbildung 3). Bisher finden besagte zirkuläre Ansätze jedoch eher unternehmensintern (43 Prozent) und weniger verbundübergreifend (18 Prozent) Anwendung. Außerdem lässt sich erkennen, dass die Umsetzung der Maßnahmen im Verbund verstärkt von größeren KMU des verarbeitenden Gewerbes verfolgt wird.

⁷⁰ Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe nach Größenklasse

Frage: „Hat Ihr Unternehmen Maßnahmen ergriffen, um die Kreislaufführung von Rohstoffen, Materialien, Produkten und/oder Produktteilen zu verbessern?“

Eigene Typisierung mit folgenden Mehrfachantwortmöglichkeiten: ja, unternehmensintern; ja, im Verbund mit anderen Unternehmen oder Einrichtungen; nein, ist aber geplant; nein, ist auch nicht geplant; weiß nicht. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 380

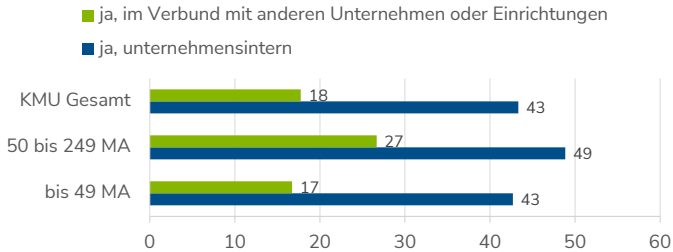


Abbildung 3: Anwendung kreislaufforientierter Maßnahmen⁷¹

Experteninterview #2 (Verpackungsindustrie): „Wir sind nur ein kleiner Teil der Lieferkette. Das Potenzial für eine Kreislaufwirtschaft besteht. Jedoch haben noch nicht alle Beteiligten der Lieferkette die notwendigen Voraussetzungen zur Umsetzung geschaffen.“

Experteninterview #6 (Werkzeugbau): „Unternehmensübergreifende Kooperationen wären hinsichtlich der Kreislaufwirtschaft hilfreich, um die Ressourcen jedes Unternehmens zu nutzen, da die Margen immer geringer werden und der Preisdruck immer größer wird.“

Bezogen auf den Unternehmenserfolg lässt sich ein Trend zu höherem Erfolg bei häufigerer Umsetzung kreislaufforientierter Maßnahmen erkennen (vgl. Abbildung 4).

⁷¹ Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe nach Größenklassen
 Frage: „Hat Ihr Unternehmen Maßnahmen ergriffen, um die Kreislaufführung von Rohstoffen, Materialien, Produkten und/oder Produktteilen zu verbessern?“
 Mehrfachantworten möglich bei: ja, unternehmensintern; ja, im Verbund mit anderen Unternehmen oder Einrichtungen; nein, ist aber geplant; nein, ist auch nicht geplant; weiß nicht. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 380

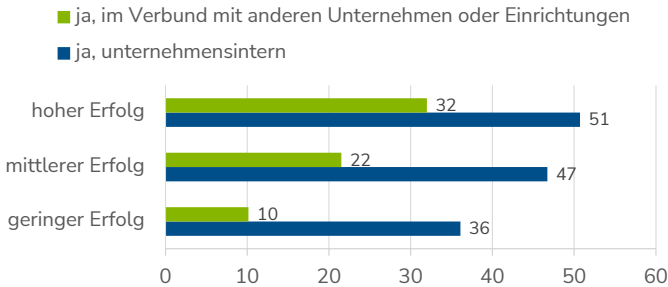


Abbildung 4: Anwendung kreislaufforientierter Maßnahmen nach Unternehmenserfolg⁷²

Während bei Unternehmen mit hohem Erfolg mehr als zwei Drittel zirkuläre Maßnahmen ergreifen, reduziert sich dieser Anteil auf 62 Prozent bei Unternehmen mit mittlerem Erfolg und auf nur 45 Prozent bei Unternehmen mit geringem Erfolg. Dies gilt sowohl unternehmensintern als auch im Verbund. Etwa ein Drittel der KMU mit hohem Erfolg setzt die Maßnahmen im Verbund um und über die Hälfte der Unternehmen wendet sie unternehmensintern an.

Bei KMU mit geringem und mittlerem Erfolg sind diese deutlich niedriger. Allerdings bleibt an dieser Stelle ungeklärt, was die wesentlichen Treiber für den Einsatz kreislaufforientierter Maßnahmen in Unternehmen sind bzw. ob weniger erfolgreiche Unternehmen die Möglichkeiten für den Einsatz zirkulärer Maßnahmen unterschätzen. Diese Ergebnisse geben einen Hinweis darauf, dass im Einsatz kreislaufforientierter Maßnahmen eine Möglichkeit zur Steigerung des Unternehmenserfolgs gesehen wird.

⁷² Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe nach Erfolgsklassen

Frage: „Hat Ihr Unternehmen Maßnahmen ergriffen, um die Kreislaufführung von Rohstoffen, Materialien, Produkten und/oder Produktteilen zu verbessern?“

Mehrfachantworten möglich bei: ja, unternehmensintern; ja, im Verbund mit anderen Unternehmen oder Einrichtungen; nein, ist aber geplant; nein, ist auch nicht geplant; weiß nicht. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 210

3.2.2 Nutzung zirkulärer Maßnahmen

Die Reduzierung des Ressourcenverbrauchs ist nicht nur ein bedeutendes Ziel für Unternehmen, sondern auch entscheidend für die effizientere Ressourcennutzung. Bisher konzentrieren sich Unternehmen hauptsächlich auf Maßnahmen zur Energieeinsparung und -effizienz sowie auf klassische Prozessoptimierungen, wie Abbildung 5 verdeutlicht.

Die Mehrheit (etwa 93 Prozent) der befragten industriellen KMU gibt an, Energieeffizienz- bzw. Energieeinsparmaßnahmen zumindest in geringem Maße zu nutzen. Ein ebenso hoher Anteil der Unternehmen (93 Prozent) optimiert die Herstellungsprozesse mit dem Zweck der Abfallvermeidung und Ressourcenschonung mindestens in geringem Maße. An dieser Stelle wird deutlich, dass unter den abgefragten Maßnahmen diejenigen besonders genutzt werden, deren Zweck nicht allein die Schonung von Ressourcen ist, sondern die vielmehr auch auf andere Unternehmensziele einzahlen.

An den Beispielen der Energieeffizienz sowie der Abfallvermeidung zeigt sich, dass übergreifende Ziele, wie monetäre Einsparungen durch geringere Energie- bzw. Materialverbräuche, über diese Maßnahmen zusätzlich verfolgt werden können. Diese Tatsache könnte eine mögliche Erklärung für den hohen Nutzungsgrad besagter Maßnahmen liefern⁷³.

Die Wiederverwertung von Rohstoffen/Materialien ist unter den abgefragten Maßnahmen diejenige, die die meisten Unternehmen in hohem Maße nutzen (28 Prozent). Dies zeigt, dass es einige Unternehmen gibt, die explizit kreislauffördernde Maßnahmen implementieren und zum Zwecke der Ressourcenschonung einsetzen. Einen hohen Nutzungsgrad in geringem bis hohem Maße weisen außerdem die Maßnahmen der Weiter-/Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien (82 Prozent), der

⁷³ Vgl. Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022), S. 25 ff.

Wiederverwendung/-aufbereitung von Produkten und/oder Produktteilen (80 Prozent) sowie des kreislaufgerechten Produktdesigns (65 Prozent) auf.



Abbildung 5: Nutzungsgrad kreislauforientierter Maßnahmen⁷⁴

⁷⁴ Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe, die zirkuläre Maßnahmen umsetzen.

Frage: „In welchem Maße nutzt Ihr Unternehmen folgende Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufführung von Rohstoffen, Materialien, Produkten und/oder Produktteilen?“ Antwortmöglichkeiten: bisher noch nicht; in geringem Maße; in mittlerem Maße, in hohem Maße. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 189 bis 193

Insgesamt zeigt die Umfrage, dass weniger Ansätze verfolgt werden, die direkt auf das Produkt eingehen, sei es durch den Einsatz neuer Materialien oder die Erweiterung des Angebots um Produkt-Service-Systeme. In vielen Unternehmen sind somit grundlegende Weichenstellungen für eine echte Circular Economy noch nicht vorhanden⁷⁵.

Ebenso wird der Ansatz der begleitenden Informationssysteme zur Kreislaufführung nur von acht Prozent der KMU in hohem Maße und von insgesamt 38 Prozent in mittlerem oder geringem Maße umgesetzt. Potenzielle Erklärungen könnten in der unterschiedlichen Bewertung des Aufwands im Verhältnis zum Nutzen der einzelnen Maßnahmen liegen, was in Kapitel 4.2.3 näher untersucht wird.

Die aktuellen Befragungsergebnisse unterstützen die Aussage zum Nutzungsgrad verschiedener zirkulärer Maßnahmen aus früheren Studien von Neligan et al. (2021a), Neligan/Schmitz (2017) und Biebeler (2014)^{76,77,78}. Hier liegen weitere Ressourceneinsparpotenziale wie Material- und Energieeinsparungen, die durch die Digitalisierung gehoben werden können. Auch zeigt ein Blick in die geplanten Maßnahmen von industriellen KMU in der Befragung keine Trendwende hin zu Maßnahmen, die direkt am Produkt ansetzen. Hier lässt sich ein entsprechender Handlungsbedarf identifizieren, da produktbezogene kreislauforientierte Maßnahmen nach dem derzeitigen Stand des Wissens sehr erfolgversprechend sind⁷⁹. Es werden auch Unternehmen betrachtet, die zirkuläre Maßnahmen planen, da davon ausgegangen wird, dass innerhalb des Unternehmens diesbezüglich bereits eine Auseinandersetzung stattgefunden hat. So sind unter den getätigten und geplanten Maßnahmen diejenigen zur Energieeffizienz/-

⁷⁵ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 35.

⁷⁶ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 35 f.

⁷⁷ Vgl. Neligan, A. (2018), S. 103.

⁷⁸ Vgl. Biebeler, H. (2014), S. 35.

⁷⁹ Vgl. Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022), S. 39.

einsparung ebenso die, welche am meisten Anwendung finden, während produktergänzende Serviceangebote und Informationssysteme zur Kreislaufführung am geringsten genutzt werden.

Ergänzend zeigen die Experteninterviews die wesentlichen Gründe für die Umsetzung zirkulärer Maßnahmen:

Experteninterview #3 (Kunststoffindustrie): Der wesentliche Grund für die Implementierung von Maßnahmen zur Energieeffizienz/-einsparung sind die Kosten.

Experteninterview #5 (Stahlverarbeitung): Kreislauforientierte Maßnahmen werden aus intrinsischen Gründen, aber ebenso aus betriebswirtschaftlichen Gründen zur Kosteneinsparung genutzt, teilweise auch durch Vorgaben der Kundschaft, die Zertifikate und entsprechendes Reporting fordern. Ein weiterer Grund ist das Image des Unternehmens.

4 DIGITALE TECHNOLOGIEN FÜR ZIRKULÄRE MAßNAHMEN

Digitale Technologien können innerhalb eines Unternehmens zur Anwendung kommen, um beispielsweise eine Transparenz der Prozesse herzustellen und identifizierte Effizienzpotenziale zu heben. Das wesentliche Potenzial digitaler Technologien liegt generell jedoch in der unternehmensübergreifenden Vernetzung sowie dem unternehmensübergreifenden Datenaustausch. Vor diesem Hintergrund setzt sich das vorliegende Kapitel mit dem Nexus aus digitalen Technologien und den zirkulären Maßnahmen auseinander.

In Kapitel 4.1 werden anhand von Erkenntnissen aus der einschlägigen Literatur die Vorbedingungen, das Ausmaß der Nutzung und die Potenziale digitaler Technologien für die Circular Economy analysiert. In Kapitel 4.2 werden die Erkenntnisse bezüglich Digitalisierung aus der Unternehmensbefragung, die im Rahmen dieser Studie durchgeführt wurde, zusammengefasst und analysiert. Doch zunächst sind hier zwei Zitate aus den Experteninterviews angegeben, die einen ersten Eindruck aus der Unternehmenspraxis von der Bedeutung der Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft ermöglichen:

Experteninterview #1 (Textilindustrie): „Unternehmensübergreifende Kooperation ist wichtig, auch bereits bei der Berechnung des CO₂-Fußabdrucks, da jeder Teilnehmer nur kleinere Wertschöpfungsstufen abdeckt. Die Sammlung glaubwürdiger Daten und deren Teilung sind wichtig. Hier ist Digitalisierung hilfreich.“

Experteninterview #2 (Verpackungsindustrie): „Unternehmensübergreifende Kooperation ist entscheidend für die Kreislaufwirtschaft.“

4.1 Digitale Technologien - Literatur

Kernaussagen

- Die Digitalisierung ist ein wichtiger Wegbereiter bei der Anpassung von Produktionsprozessen, Produkt- und Dienstleistungssystemen sowie bei der Entwicklung veränderter oder sogar neuer zirkulärer Geschäftsmodelle in Richtung einer Circular Economy.
- Das Zusammenspiel von Strategien sowie Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufführung und digitalen Lösungen bietet Einsparpotenziale und Potenziale zur Effizienzsteigerung, die es noch zu heben gilt.
- Zur Hebung der Potenziale digitaler Technologien in Hinblick auf die Kreislaufwirtschaft müssen die technischen Voraussetzungen erfüllt und eine effiziente Datenbewirtschaftung sowie eine unternehmensübergreifende Vernetzung vorhanden sein.

In den Experteninterviews wurde zudem auf die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung für mehr Ressourceneffizienz hingewiesen.

Experteninterview #2 (Verpackungsindustrie) ermöglicht dahingehend einen Einblick: „Der Mix aus einer Betrachtung von Produkt, Prozess und Digitalisierung ist entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit und die Ressourceneffizienz allgemein.“

4.1.1 Digitalisierungsanforderungen

Die Anforderungen zur Hebung der Digitalisierungspotenziale und damit auch der Einsatz digitaler Technologien für die Circular Economy lassen sich auf der Basis der zuvor ermittelten Technologienunterteilung (vgl. Kapitel 2) identifizieren. Zunächst muss konstatiert werden, dass die bloße Nutzung von Computern und des Internets zwar eine unabdingbare Vorbedingung für die Digitalisierung darstellt, dennoch geht die Digitalisierung weit über diese Vorbedingung hinaus. Zum Beispiel erfolgen die Vernetzung und der Datenaustausch in der Regel über Unternehmensgrenzen

hinweg⁸⁰. Die technische Ausstattung der Unternehmen ist eine notwendige, aber keine hinreichende Bedingung für die entsprechende Nutzung digitaler Technologien. Für eine umfassende Digitalisierung gelten folgende Anforderungen, die im Weiteren genauer beschrieben werden:

- (1) effiziente Datenbewirtschaftung,
- (2) unternehmensübergreifende Vernetzung.

4.1.1.1 Effiziente Datenbewirtschaftung

Zur grundlegenden Bedeutung von Daten haben sich die Experten und Expertinnen beispielhaft wie folgt geäußert:

Experteninterview #4 (Kunststoffindustrie): „Das Unternehmen ist papierlos. Daten werden erfasst (Statistiken sind das A und O). Die Verkäufe von Artikeln und der Verbrauch von Rohstoffen etc. werden dokumentiert und auf dieser Basis wird geplant (zum Beispiel die Lagerbestände).“

Experteninterview #5 (Stahlverarbeitung): „Grundlage ist zunächst das Sammeln und Auswerten der Daten. Anschließend können die Prozesse auf diese Weise optimiert werden.“

Unternehmen sind in der Regel zu einer effizienten Datenbewirtschaftung in der Lage, wenn Datenspeicherung, Datenmanagement und Datennutzung fortgeschritten sind⁸¹. Ziel einer effizienten Datenbewirtschaftung ist es, die gesammelten und gespeicherten Daten vielfältig sowie gezielt zu nutzen, um so einen Mehrwert generieren zu können. Beispiele für eine vielfältige Nutzung sind Prozessautomatisierungen und -steuerungen, die Prognose von Prozessentwicklungen und eine datenbasierte (Weiter-)Entwicklung von Geschäftsmodellen.

Konkret bildet die digitale Datenerfassung die Grundlage jeglicher weitergehenden digitalen Anwendung, da nur so Informationen der realen Welt

⁸⁰ Vgl. Demary, V.; Engels, B.; Röhl, K.-H. und Rusche, C. (2016), S. 16.

⁸¹ Vgl. Büchel, J. und Engels, B. (2022a), S. 75.

digital verarbeitet werden können. Inwiefern Möglichkeiten der effizienten Nutzung von Daten in deutschen Unternehmen angewendet werden, wird an der Data Economy Readiness deutlich^{82, 83}. Dieses Reifegradmodell ist Teil des Projekts „Incentives and Economics of Data Sharing – IEDS“, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) bis zum Jahr 2024 gefördert wurde.

Es evaluiert, ob Unternehmen Daten effizient bewirtschaften können. Dazu werden entsprechend einem dahinterliegenden Modell Anforderungen postuliert, die für ein effizientes Datenmanagement erfüllt sein müssen. Anschließend werden Unternehmen in einer Unternehmensbefragung dahingehend befragt, um das Ausmaß der Data Economy Readiness in Deutschland zu erforschen.

Anhand von Abbildung 6 wird deutlich, dass größere Unternehmen in der Regel eher in der Lage sind, Daten effizient zu bewirtschaften. Während es zuletzt im Jahr 2023 nur 32 Prozent der kleinen Unternehmen (bis einschließlich 49 Mitarbeitende) waren, die Daten gemäß der durchgeführten Analyse effizient bewirtschaften konnten, waren es 62 Prozent der mittleren Unternehmen (50 – 249 Mitarbeitende) und 73 Prozent der Großunternehmen (mehr als 249 Mitarbeitende). Im Vergleich zu 2021 ist die Data Economy Readiness für alle Unternehmensgrößenklassen gestiegen. Der deutlichste Zuwachs von 22 Prozentpunkten fand bei den großen Unternehmen statt. Während der Anteil bei kleinen und mittleren Unternehmen seit 2021 kontinuierlich gestiegen ist, konnte bei den großen Unternehmen im Jahr 2022 mit 77 Prozent der höchste Wert verzeichnet werden.

⁸² Vgl. Büchel, J. und Engels, B. (2022a), S. 75.

⁸³ Vgl. Büchel, J. und Engels, B. (2022b), S. 1.

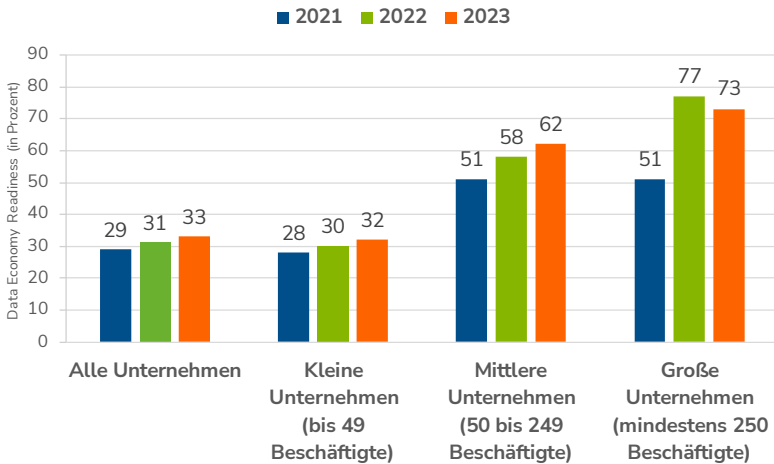


Abbildung 6: Data Economy Readiness nach Unternehmensgrößenklassen ⁸⁴

Eine Kategorisierung als Data Economy Ready heißt nicht zwangsläufig, dass ein Unternehmen die Potenziale von Daten und damit der Digitalisierung auch für die Circular Economy nutzt. Andererseits können Unternehmen, die nicht als Data Economy Ready gelten, digitale Technologien beispielsweise für die Kreislaufführung einsetzen. Dennoch liefert die Data Economy Readiness einen Hinweis darauf, ob Unternehmen zumindest in der Lage sind, die Digitalisierung in vollem Umfang für sich und die Circular Economy zu nutzen.

Zusätzlich können daraus noch bestehende Potenziale abgeschätzt werden: Ist nur eine Minderheit der Unternehmen in der Lage, Daten effizient zu nutzen, bestehen diesbezüglich mit Sicherheit noch Ausbaupotenziale. In der Folge sollten ungenutzte Potenziale hinsichtlich der Etablierung einer Circular Economy und damit zur Steigerung der Ressourceneffizienz vorhanden sein.

⁸⁴ Eigene Darstellung auf Basis von Bakalis, D. und Büchel, J. (2024), S. 28.

4.1.1.2 Unternehmensübergreifende Vernetzung

In Experteninterview #7 (Stahlverarbeitung) wurde zum Stand der Vernetzung Folgendes geäußert: „Bisher existiert nur ein äußerst rudimentärer Datenaustausch über die Unternehmensgrenzen hinweg. Nur mit einem Kunden werden automatisiert Daten ausgetauscht. Dies hängt auch mit der Größe zusammen: Automatisierter Datenaustausch lohnt sich nur für große Unternehmen mit hoher Stückzahl. Handwerksbetriebe, Kleinbetriebe usw. schicken ihre Einzelaufträge per E-Mail. Aufwändige Systeme lohnen sich da nicht.“

Der wesentliche Nutzen der Digitalisierung und auch der Circular Economy besteht in der Vernetzung über die Unternehmensgrenzen hinweg. Idealerweise erfolgt die Kommunikation aus Sicht der Circular Economy entlang des gesamten Wertschöpfungsnetzwerks. Die Bedeutung des unternehmensübergreifenden Datenaustauschs wird anhand einer Analyse der OECD deutlich, die die Potenziale von Digitalisierung für Ressourceneffizienz und Circular Economy thematisiert⁸⁵. Insbesondere die Verringerung von Transaktionskosten und Informations-asymmetrien erfordert einen Austausch von Daten. Dieser Austausch ist umso effizienter, wenn er automatisiert erfolgt. Jedoch sind weder der Datenaustausch noch die digitale Vernetzung Standard bei Unternehmen in Deutschland. Bakalis und Büchel (2024) kommen in ihrer Untersuchung des Data Sharings auf Basis einer Befragung von mehr als 1.000 Industrieunternehmen und industrienahe Dienstleistern im Herbst 2023 zu dem Schluss, dass 61 Prozent der Unternehmen keine externen Daten empfangen und 81 Prozent keine Daten an externe Partner abgeben⁸⁶.

Der Datenaustausch mit anderen Unternehmen, Behörden, Forschungsinstituten usw. ist ein Indiz für den Umfang der digitalen Vernetzung von Unternehmen. Doch der Grad der digitalen Vernetzung von Unternehmen in Deutschland wurde auch analytisch untersucht. So ist die Vernetzung ein Indikator des Digitalisierungsindex im Auftrag des Bundesministe-

⁸⁵ Vgl. Barteková, E. und Börkey, P. (2022), S. 9.

⁸⁶ Vgl. Bakalis, D. und Büchel, J. (2024), S. 31.

riums für Wirtschaft und Klimawandel^{87, 88}. Zur Ermittlung des Grades der Vernetzung werden Unternehmen in Deutschland befragt, in welchem Ausmaß einzelne Prozesse unternehmensintern sowie mit Kunden und Kundinnen, Zuliefernden und anderen Akteuren in der Wertschöpfungskette vernetzt sind. Während der Anteil der extern vernetzten Unternehmen im Jahr 2022 nahezu 19 Prozent bei den kleinen Unternehmen betrug, waren 26 Prozent der mittleren und 33 Prozent der großen Unternehmen extern vernetzt. Die Anteile sind im Vergleich zum Jahr 2020 gestiegen. Doch noch ist nur eine Minderheit aller Unternehmen in Deutschland extern vernetzt (rund 19 Prozent)⁸⁹.

4.1.2 Ressourceneffizienzpotenziale digital gestützter zirkulärer Maßnahmen

Das Potenzial der Digitalisierung für die Implementierung der Kreislaufwirtschaft wird auch in den Experteninterviews gesehen.

Hier schließt sich ein Beispiel aus Experteninterview #2 (Verpackungsindustrie) an: „Digitalisierung bietet den entscheidenden Hebel zur Umsetzung der Kreislaufwirtschaft.“

Die Betrachtung der Ressourceneffizienzpotenziale der durch digitale Lösungen unterstützten zirkulären Maßnahmen erfolgt qualitativ. Zugrunde gelegt werden zwei existierende Studien in diesem Themengebiet. In Nelligan et al. (2021a) wird die Bedeutung der Digitalisierung für Ressourceneffizienz anhand des direkten Einflusses digitaler Technologien auf Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz untersucht. Dabei zeigt sich, dass die Ressourceneinsparpotenziale in der deutschen Wirtschaft keineswegs erschöpft sind. Das absolute Ressourceneinsparpotenzial im Produzierenden Gewerbe liegt auf Basis einer Unternehmensbefragung grob geschätzt bei mehr als zehn Milliarden Euro oder gut einem Prozent der industriellen Bruttowertschöpfung. Digitalisierung könnte hier

⁸⁷ Vgl. Büchel, J. und Engels, B. (2023b).

⁸⁸ Vgl. Büchel, J.; Demary, V.; Goecke, H.; Mertens, A.; Rusche, C. und Wendt, J. M. (2021).

⁸⁹ Vgl. Büchel, J. und Engels, B. (2023b), S. 54.

ein wesentlicher Hebel sein, um diese Potenziale zu heben⁹⁰. Die Bedeutung digitaler Technologien für die Etablierung einer ressourceneffizienten Wirtschaft im Sinne einer Circular Economy wird in der Studie von Barteková und Börkey (2022) thematisiert. Es muss darauf hingewiesen werden, dass beide Studien erhebliche Unterschiede hinsichtlich der betrachteten Technologien aufweisen. Die aufgeführten Technologien werden von Neligan et al. (2021a) in die Cluster Daten/Analytics, künstliche Intelligenz, IoT (Internet of Things – Internet der Dinge)/Robotics, Virtualisierung, Greentech (die Verknüpfung digitaler Technologien mit Umwelttechnologien⁹¹), Standards als Enabler, Netzwerke als Enabler sowie Hardware und Interfaces als Enabler unterteilt⁹². Die Autorinnen und Autoren kommen auf Basis einer Unternehmensbefragung zu dem Schluss, dass die Datenanalyse aktuell den höchsten Stellenwert hinsichtlich Ressourceneffizienz einnimmt. Die Erhebung von Daten und die Etablierung von Schnittstellen sind diesbezüglich jedoch wichtige Vorbedingungen. Darüber hinaus nutzen Unternehmen digitale Plattformen, das Prozessmonitoring und die prädiktive Wartung zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Selten kommen Technologien zum Einsatz, wenn es um die weitere Vernetzung und Kollaboration oder Modellierung sowie Simulation geht⁹³.

Barteková und Börkey (2022) konzentrieren sich auf sieben spezifische Technologien: IoT, Big Data Analytics, künstliche Intelligenz, Blockchain (eine Blockchain ist ein dezentrales Hauptbuch, das hauptsächlich das Eigentum an Vermögenswerten aller Teilnehmenden an diesem Netzwerk erfasst⁹⁴), Cloud Computing, digitale Plattformen und 3D-Druck⁹⁵. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass in der Regel mehrere der besagten

⁹⁰ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 43.

⁹¹ Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2024).

⁹² Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 79 f.

⁹³ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 66.

⁹⁴ Vgl. Demary, M. und Demary, V. (2017), S. 1.

⁹⁵ Vgl. Barteková, E. und Börkey, P. (2022), S. 56 ff.

Technologien gleichzeitig von Unternehmen angewendet werden und es daher kaum möglich ist, den Beitrag einer einzelnen Technologie zur Etablierung einer ressourceneffizienten Wirtschaft anzugeben⁹⁶. Ein wesentlicher Aspekt dieser Studie ist die Umsetzung von Politikmaßnahmen. Daneben werden digitale Technologien insbesondere dahingehend betrachtet, inwiefern Marktversagenstatbestände wie imperfekte Informationen, Transaktionskosten und externe Effekte im Hinblick für mehr Ressourceneffizienz und Kreislaufwirtschaft verringert werden können.

Beide Studien belegen einen möglichen positiven Zusammenhang zwischen digitalen Technologien und der erfolgreichen Umsetzung einer ressourceneffizienten Wirtschaft. Werden digitale Technologien angewandt, um zirkuläre Maßnahmen effizient umzusetzen, dürfte dies die Ressourceneffizienz ebenfalls fördern.

4.1.3 Ableitung qualitativer Ressourceneffizienzpotenziale

Auf Basis der vorangegangenen Literaturanalyse können in diesem Kapitel folgende Ableitungen auf die Ressourceneffizienzpotenziale durch digitale Technologien vorgenommen werden:

- **Ressourceneffizienzpotenzial durch digitale Vernetzung:** Im Rahmen der digitalen Vernetzung kann auf Basis der Ergebnisse von Neligan et al. (2021a) sowie von Büchel/Engels (2023b) geschlussfolgert werden, dass bisher ungenutztes Ressourceneffizienzpotenzial besteht^{97,98}. Die digitale Vernetzung kann insbesondere zur Schließung (S1), Ermöglichung (S2b) und Schaffung (S3) von Kreisläufen beitragen. In der Nutzungsphase, also der Verlängerung von Kreisläufen (S4), sind ebenfalls Potenziale vorhanden.

⁹⁶ Vgl. Barteková, E. und Börkey, P. (2022), S. 17.

⁹⁷ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 31.

⁹⁸ Vgl. Büchel, J. und Engels, B. (2023b), S. 31.

- **Ressourceneffizienzpotenzial durch den digitalen Zwilling:** Auch der Technologie des digitalen Zwillings kommt ein hohes Ressourceneffizienzpotenzial zu. Zur Hebung der Potenziale mithilfe einer Circular Economy können digitale Zwillinge insbesondere für eine effizientere Nutzung der Ressourcen in der Produktion, z. B. durch Simulation (S2a), die Berücksichtigung der Kreislauffähigkeit beim Design und/oder die Material- und Produktionssubstitution (S2b), eingesetzt werden.
- **Ressourceneffizienzpotenzial durch Prozessdatenerfassung:** Das Erfassen von Prozessdaten kann innerhalb des Unternehmens vor allem deshalb zu einer ressourceneffizienteren Produktion beitragen, da mithilfe einer Datenanalyse mehr Transparenz geschaffen werden kann. Durch eine Unterstützung der Prozesse entlang der Wertschöpfungskette anhand digitaler Technologien können auch dort vorhandene Effizienzen gehoben werden.
- **Ressourceneffizienzpotenzial durch digitale Produkte und Dienstleistungen:** Digitale sowie teildigitalisierte Produkte und Dienstleistungen bieten Chancen für die Umsetzung einer Circular Economy und die Steigerung der Ressourceneffizienz, da durch digitale Komponenten Daten gesammelt und Dienstleistungen angeboten werden können, die den Übergang zu einer Circular Economy unterstützen bzw. ermöglichen. Da der Umsatzanteil, den Unternehmen in Deutschland mit rein digitalen Produkten und Dienstleistungen im Jahr 2022 erwirtschafteten, lediglich zwölf Prozent betrug, besteht hier wesentliches Potenzial zur Steigerung der Ressourceneffizienz⁹⁹.
- **Ressourceneffizienzpotenzial durch digitale Geschäftsmodelle:** Nelson et al. (2021a) zeigen, dass es für Unternehmen schwierig ist, digitale Geschäftsmodelle mit dem Ziel einer gesteigerten Ressourceneffizienz zu entwickeln. Ressourceneffizienz manifestiert sich eher in kleinteiligeren Konzepten unternehmerischen Handelns, die nicht unbedingt in direkter Verbindung zur Wertschöpfung stehen. Nur wenige

⁹⁹ Vgl. Büchel, J. und Engels, B. (2023b), S. 56.

Unternehmen sind bei Ressourceneffizienzmaßnahmen stark digitalisiert. Folglich mangelt es daran, Digitalisierung und Ressourceneffizienz ganzheitlich zu betrachten und die Möglichkeiten der Digitalisierung voll auszunutzen, wodurch noch ungehobene Ressourceneffizienzpotenziale vorhanden sein dürften¹⁰⁰. Dies wird auch von Barteková und Börkey (2022) in Hinblick auf die Circular Economy bestätigt¹⁰¹. So können Sharing- und Plattformgeschäftsmodele insbesondere Kreisläufe schließen (S1), ermöglichen (S2b) bzw. verlängern (S4).

4.2 Digitale Technologien - Unternehmensbefragung

Kernaussagen

- Es gibt einen positiven Zusammenhang zwischen der Ergreifung von Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufführung und dem Erfolg der befragten Unternehmen.
- Die Mehrheit der Unternehmen ist sich der Notwendigkeit zur Erhebung einer hinreichenden Datenlage bewusst, so dass die Vorbedingungen für eine erfolgreiche Nutzung digitaler Technologien im Kontext einer Circular Economy vorhanden sind.
- Jedoch spielen digitale Technologien für die Umsetzung zirkulärer Maßnahmen in der Praxis von KMU bislang nur eine untergeordnete Rolle – viele Unternehmen sind im Hinblick auf zirkuläre Maßnahmen noch nicht digitalisiert.
- Für die Unternehmen muss sich der Einsatz digitaler Lösungen bei kreislaufforientierten Maßnahmen wirtschaftlich lohnen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Beurteilung der Aufwand-Nutzen-Relation digital gestützter zirkulärer Maßnahmen fällt sehr unterschiedlich in den Unternehmen aus – es gibt sowohl Unternehmen, die den Nutzen höher bewerten als den Aufwand, als auch

¹⁰⁰ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 7.

¹⁰¹ Vgl. Barteková, E. und Börkey, P. (2022), S. 19 ff.

andersherum, und gleichzeitig finden sich einige Unternehmen, die die Relation als ausgeglichen betrachten, und diejenigen, die keine Abschätzung treffen können.

- Unternehmen, die digitale Technologien für zirkuläre Maßnahmen bereits im mittleren bis hohen Maße nutzen, beurteilen die Nutzen-Aufwand-Relation deutlich positiver.
- Wichtige Hemmnisse für den Einsatz digitaler Technologien sind das mangelnde Fachwissen, die fehlenden Informationen und Beratungsmöglichkeiten, die nicht vorhandene Komplettlösung zur umfassenden Datenerhebung und -nutzung, die nicht gegebene Nachrüstbarkeit bestehender Anlagen sowie die fehlende Finanzkraft.

4.2.1 Rolle digitaler Technologien zur Verbesserung der Kreislauf-führung

Zur Rolle digitaler Technologien zur Verbesserung der Kreislaufführung konnte in Experteninterview #6 (Werkzeugbau) Folgendes festgehalten werden: „Die Digitalisierung bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Unterstützung/Umsetzung der Kreislaufwirtschaft. Dies erfolgt über die Kooperation über Unternehmensgrenzen hinweg. Die Branche ist zwar eher konservativ und es gibt Hürden zu überwinden, dennoch ist ein Meinungsumschwung in Richtung Digitalisierung absehbar.“

Digitale Technologien spielen für die Umsetzung zirkulärer Maßnahmen in KMU bislang nur eine untergeordnete Rolle (vgl. Abbildung 7). Die betrachteten KMU im verarbeitenden Gewerbe, welche kreislauforientierte Maßnahmen nutzen, gelten dahingehend zu 57 Prozent als nicht digitalisiert. Das bedeutet jedoch lediglich, dass digitale Technologien in Unternehmen kaum für die direkte Umsetzung kreislauforientierter Maßnahmen eingesetzt werden. Der Nutzungsgrad digitaler Technologien in Hinblick auf zirkuläre Maßnahmen ist bei 19 Prozent der KMU gering und kann bei 18 Prozent mit „mittel“ angegeben werden. Lediglich sechs Prozent der KMU verfügen bei der Nutzung zirkulärer Maßnahmen bereits über einen hohen Digitalisierungsgrad.

■ gar nicht ■ gering ■ mittel ■ hoch

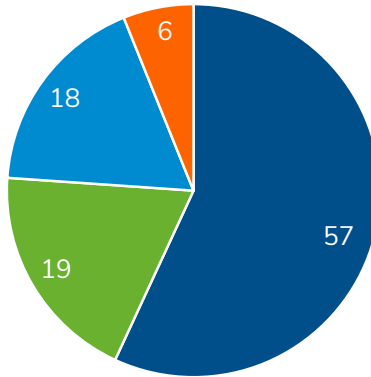


Abbildung 7: Verteilung der KMU entsprechend dem Digitalisierungsgrad der umgesetzten zirkulären Maßnahmen¹⁰²

Tabelle 5 gibt mithilfe von Daten zu KMU, die keine digitalen Technologien für kreislauforientierte Maßnahmen heranziehen, einen weiteren Einblick in die Nutzung digitaler Technologien zur Unterstützung zirkulärer Maßnahmen. Die Darstellung des Anteils der Nicht-Nutzenden offenbart zudem, ob noch Ressourceneffizienzpotenziale mithilfe digitaler Technologien gehoben werden können. Je höher der Anteil der Nicht-Nutzenden, desto eher könnten digitale Technologien durch ihre Anwendung tendenziell zu mehr Ressourceneffizienz führen. Werden alle KMU betrachtet, nutzt eine Mehrheit der Unternehmen lediglich bei dem Einsatz von Sekundärrohstoffen (63 Prozent) und der Wiederverwendung und -aufbereitung von Produkten und/oder Produktteilen (50 Prozent) keine digitalen

¹⁰² Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe, die kreislauforientierte Maßnahmen bereits umgesetzt haben.

Eigene Typisierung auf Basis von zwei Fragen: „In welchem Maße tragen digitale Anwendungen/Technologien zur Verbesserung der Kreislaufführung in Ihrem Unternehmen bei?“, „In welchem Maße nutzt Ihr Unternehmen digitale Technologien bei kreislauforientierten Maßnahmen? Jeweils mit den Antwortmöglichkeiten: gar nicht; in geringem Maße; in mittlerem Maße; in hohem Maße. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 190

Technologien. Bei allen anderen Maßnahmen überwiegt der Anteil an Unternehmen, die zumindest in geringem Maße digitale Technologien einsetzen. Dies gilt insbesondere für Unternehmen bis 49 Mitarbeitende. Bei dieser Größenklasse ist der Anteil der Nicht-Nutzenden auch bei der Wiederverwertung (Recycling) von Rohstoffen und Materialien mit circa 49 Prozent so hoch, dass nur eine sehr knappe Mehrheit digitale Technologien zumindest in geringem Maße einsetzt. Am meisten werden von den kleinen Unternehmen digitale Technologien für produktergänzende Serviceangebote (64 Prozent) sowie für Maßnahmen zur Energieeffizienz und -einsparung (61 Prozent) herangezogen.

Bei Unternehmen mit 50 bis 249 Mitarbeitenden zeigt sich, dass bei allen kreislaforientierten Maßnahmen nur eine Minderheit keine digitalen Technologien einsetzt. Die höchsten Anteile an Nicht-Nutzenden nehmen die Weiter- und Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien (39 Prozent), der Einsatz von Sekundärrohstoffen sowie das kreislaufgerechte Produktdesign (jeweils 35 Prozent) ein. Am häufigsten werden in dieser Größenklasse digitale Technologien zur Energieeffizienz und -einsparung eingesetzt. Lediglich zehn Prozent der befragten Unternehmen nutzen hierbei keine digitalen Technologien. Bei den Unternehmen ab 250 Mitarbeitenden, die aufgrund des Fokus auf KMU nicht in Abbildung 8 enthalten sind, zählt bei den genannten kreislaforientierten Maßnahmen nur eine Minderheit zu den Nicht-Nutzenden von digitalen Technologien. Die Anzahl an Antworten in dieser Größenklasse ist allerdings mit 21 Antworten (produktergänzende Serviceangebote) bis 38 Antworten (Optimierung der Herstellungsprozesse) gering und muss daher vorsichtig interpretiert werden. Dies gilt für sämtliche Aussagen zu großen Unternehmen im Rahmen dieses Kapitels. Alle antwortenden Unternehmen dieser Größenklasse nutzen digitale Technologien für produktergänzende Serviceangebote. Mehr als 92 Prozent wenden digitale Technologien bei Maßnahmen zur Energieeffizienz und -einsparung an. Die höchsten Anteile der Nicht-Nutzenden liegen bei der Wiederverwertung (Recycling) von Rohstoffen und Materialien, beim kreislaufgerechten Produktdesign und Einsatz von Sekundärrohstoffen vor.

Tabelle 5: KMU, die keine digitalen Technologien für die elf betrachteten kreislauforientierten Maßnahmen nutzen¹⁰³

	KMU gesamt	bis 49 MA	50 bis 249 MA
Einsatz neuer Materialien	42	44	30
Einsatz von Sekundärrohstoffen	63	67	35
Kreislaufgerechtes Produktdesign	40	41	35
Produktergänzende Serviceangebote	34	36	23
Wiederverwendung/-aufbereitung v. Produkten und/oder Produktteilen	50	53	30
Maßnahmen zur Energieeffizienz/-einsparung	35	39	10
Optimierung der Herstellungsprozesse zur Ressourcenschonung/Abfallvermeidung	42	46	17
Weiter-/Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien	43	44	39
Wiederverwertung (Recycling) von Rohstoffen/Materialien	47	49	30
Strategisches Management kreislauforientierter Maßnahmen	41	46	14
Informationssysteme zur Kreislaufführung	37	42	16

4.2.2 Effekte und Evaluationsmöglichkeiten digital gestützter zirkulärer Maßnahmen

Digital gestützte zirkuläre Maßnahmen können verschiedene Auswirkungen im Unternehmen und darüber hinaus entfalten, die unmittelbar oder mittelbar sind.

¹⁰³ Anteile der Kategorie „gar nicht“ in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe mit umgesetzten kreislauforientierten Maßnahmen nach Größenklassen
Frage: „In welchem Maße nutzt Ihr Unternehmen digitale Technologien bei kreislauforientierten Maßnahmen?“ Antwortmöglichkeiten: gar nicht; in geringem Maße; in mittlerem Maße; in hohem Maße.
Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 86 bis 162

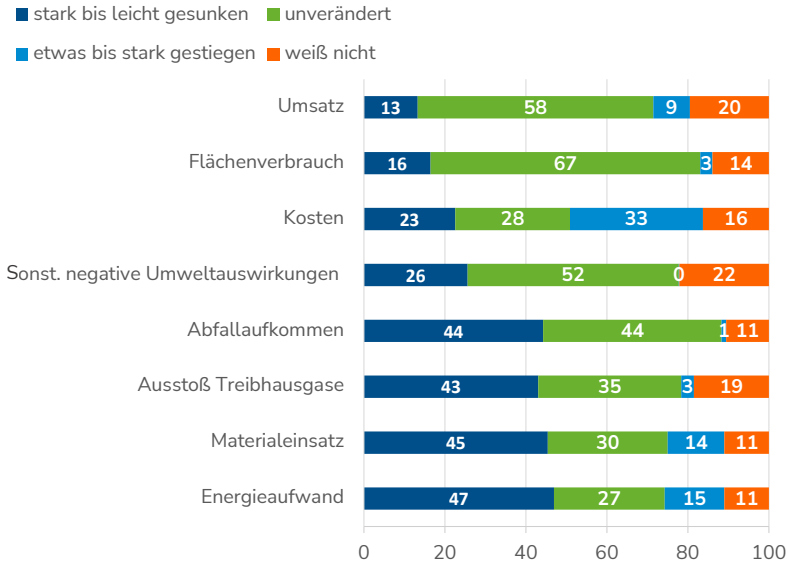


Abbildung 8: Effekte digitaler Lösungen bei zirkulären Maßnahmen¹⁰⁴

Abbildung 8 gibt die Einschätzungen der KMU an, die bereits digitale Technologien zur Unterstützung der Kreislaufführung einsetzen und die Frage beantwortet haben, welche Auswirkungen im Unternehmen durch den Einsatz digitaler Lösungen bei zirkulären Maßnahmen erzielt worden sind. Darin wurde insbesondere die Inanspruchnahme von natürlichen Ressourcen, wie der Flächenverbrauch oder der Ausstoß von Treibhausgasen, thematisiert. Jedoch wurden die Unternehmen ebenfalls nach den Auswirkungen auf Kosten und Umsatz gefragt, was eine Aussage über die

¹⁰⁴ Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe mit umgesetzten zirkulären Maßnahmen

Frage: „Welche Effekte hat der Einsatz digitaler Lösungen bei den kreislauforientierten Maßnahmen in Ihrem Unternehmen auf ...?“ Antwortmöglichkeiten: stark gesunken; leicht gesunken; unverändert; etwas gestiegen; stark gestiegen; weiß nicht.

Sonstige negative Umweltauswirkungen, z. B. Verunreinigung von Luft, Wasser, Boden. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 124

Wirtschaftlichkeit des Technologieeinsatzes zur Unterstützung zirkulärer Maßnahmen ermöglicht.

Anhand der Betrachtung der Differenz aus den Anteilen der KMU, die „stark bis leicht gesunken“, und denen, die „etwas bis stark gestiegen“ angegeben haben, kann Folgendes über die Ausprägung der Entwicklung der antwortenden Unternehmen ausgesagt werden:

- Mit einer Ausprägung von +40 ist der deutlichste Effekt beim Ausstoß von Treibhausgasen feststellbar. Das bedeutet, der Anteil an Unternehmen, die eine Reduktion festgestellt haben, ist um 40 Prozentpunkte höher als der Anteil derjenigen Unternehmen, die mehr Treibhausgasemissionen ermittelt haben.
- Bei dem Energieaufwand (+32 Prozentpunkte), dem Materialeinsatz (+31 Prozentpunkte) sowie dem Abfallaufkommen und sonstigen negativen Umweltwirkungen (z. B. Verunreinigung von Luft, Wasser und Boden) mit jeweils +26 Prozentpunkten konnten ebenfalls überwiegend positive Wirkungen festgestellt werden.
- Durch den Einsatz digitaler Lösungen haben mehr KMU Kostensteigerungen festgestellt. Der Anteil an Unternehmen, bei denen die Kosten gestiegen sind, liegt zehn Prozentpunkte höher als der Anteil der Unternehmen, die sinkende Kosten beobachtet haben.
- Die gestiegenen Kosten sind nur zum Teil durch höhere Umsätze ausgeglichen worden: Der Anteil an Unternehmen mit höheren Umsätzen liegt um vier Prozentpunkte niedriger als der Anteil an Unternehmen mit sinkenden Umsätzen. Bei 13 Prozent der KMU ist der Umsatz leicht oder stark gesunken. Stark oder etwas gestiegen ist er nur bei neun Prozent der KMU, die digitale Technologien bereits genutzt haben.

Einen Einblick in die unternehmerische Praxis von KMU ermöglichen die Experteninterviews.

Dort wird in Experteninterview #5 (Stahlverarbeitung) angegeben:
„Ressourceneffizienz ist im Unternehmen eher kostengetrieben. Wenn die Kosten zu hoch sind, wird reagiert und dann wird geschaut, ob die Situation verbessert werden konnte.“

Die getroffenen Aussagen werden jedoch durch den hohen Anteil an Unternehmen, die keine Effekte beobachtet haben oder nicht wissen, ob es überhaupt Effekte gab, relativiert. So konnten bezüglich des Flächenverbrauchs 81 Prozent der KMU keine Wirkung feststellen oder sie wussten nicht, ob es eine Wirkung gab. Ähnliche Unsicherheiten zeigen sich bei dem Umsatz (78 Prozent gaben „weiß nicht“ oder „unverändert“ an) und sonstigen negativen Umweltauswirkungen (74 Prozent). Die größte Eindeutigkeit des Vorhandenseins von Effekten fand sich bei dem Energieaufwand (38 Prozent gaben „weiß nicht“ oder „unverändert“ an), dem Materialaufwand (41 Prozent) und den Kosten (44 Prozent). Hier geht folglich eine absolute Mehrheit der befragten Unternehmen vom Vorhandensein eines Effekts aus. Am besten konnten somit die entstehenden Kosten und der Verbrauch von Energie und Material eingeschätzt werden. Bei allen anderen Aspekten konnte eine Mehrheit der befragten KMU aus dem verarbeitenden Gewerbe keine Wirkung identifizieren. Dies legt nahe, dass die Effekte digitaler Lösungen mit Verbindung zu zirkulären Maßnahmen immer noch schwer zu messen bzw. zu bestimmen sind und es somit eine Erkenntnislücke gibt.

Zwischen den verschiedenen KMU-Größenklassen bestehen nur geringfügige Unterschiede: Die größeren KMU geben insgesamt deutlichere Effekte beim Einsatz digitaler Lösungen für kreislauforientierte Maßnahmen auf den Energieaufwand an. Der Anteil an Unternehmen, die einen gesunkenen Energieaufwand durch den Einsatz digitaler Lösungen feststellen, beträgt 58 Prozent bei den Unternehmen mit 50 bis 249 Mitarbeitenden und lediglich 45 Prozent bei den kleineren Unternehmen. Der Anteil an Unternehmen mit höherem Energieaufwand ist für beide Größenklassen gleich (15 Prozent). Ebenfalls deutlichere Effekte verzeichnen die größeren KMU beim Ausstoß von Treibhausgasen: 51 Prozent gaben sinkende Ausstöße an. Bei den kleineren KMU sind es 42 Prozent. In beiden

Größenklassen berichten Unternehmen kaum über höhere Treibhausgasemissionen (drei Prozent der kleinen und ein Prozent der größeren KMU).

Ein weiterer Unterschied kann bezüglich des Umsatzes festgestellt werden. Bei den Unternehmen bis einschließlich 49 Mitarbeitende gaben 15 Prozent sinkende und sechs Prozent steigende Umsätze durch den Einsatz digitaler Technologien für die Unterstützung zirkulärer Maßnahmen an. Bei den Unternehmen mit 50 bis einschließlich 249 Mitarbeitenden führten vier Prozent sinkende und 24 Prozent steigende Umsätze an. Folglich profitieren die größeren KMU im verarbeitenden Gewerbe von digitalen Technologien bei der Kreislaufführung, während kleine Unternehmen tendenziell mit sinkenden Umsätzen konfrontiert sind. Da die kleineren Unternehmen häufiger vertreten sind, kommt es zu den Ergebnissen in Abbildung 9, wonach mehr Unternehmen fallende Umsätze beobachten. Die Entwicklung der Kosten ist bei beiden Größenklassen gleich. Der Anteil an Unternehmen mit höheren Kosten ist bei beiden ungefähr zehn Prozentpunkte höher als der Anteil an Unternehmen mit sinkenden Kosten.

4.2.3 Evaluationsmöglichkeiten der Effekte digital gestützter zirkulärer Maßnahmen

Der hohe Anteil an Unternehmen, der nicht wusste, ob ein Effekt eingesetzter digitaler Technologien für kreislaforientierte Maßnahmen existiert, deutet bereits Schwierigkeiten bei der Einschätzung entstehender Effekte an. Dies wird durch die Ergebnisse einer weiteren Frage („Wie gut kann Ihr Unternehmen die Effekte der kreislaforientierten Maßnahmen auf die einzelnen Punkte ermitteln?“) bestärkt: Die Unternehmen haben in der Mehrheit große Schwierigkeiten, die Effekte eingesetzter kreislaforientierter Maßnahmen zu bestimmen.

Abbildung 9 stellt die Ergebnisse der Befragung nach den Bewertungsmöglichkeiten kreislaforientierter Maßnahmen für KMU dar. Die besten Einschätzungsmöglichkeiten haben die KMU beim Materialeinsatz: 51 Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe können die Veränderungen

beim Materialeinsatz durch kreislauforientierte Maßnahmen eher gut bis sehr gut einschätzen. Bei allen anderen Punkten gibt eine Mehrheit der Unternehmen an, die Effekte eher schlecht bis sehr schlecht oder gar nicht einschätzen zu können oder die Antwort auf die Frage nicht zu wissen.

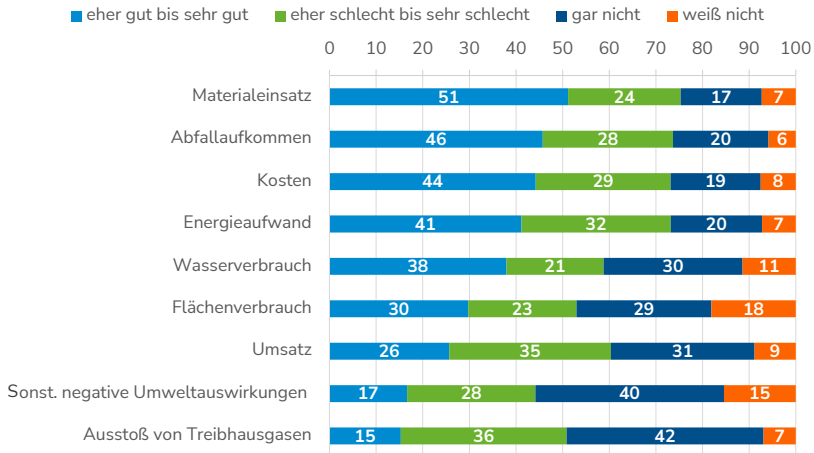


Abbildung 9: Güte der Bewertungsmöglichkeiten der Effekte von kreislauforientierten Maßnahmen¹⁰⁵

Die Betrachtung nach Unternehmensgröße ergibt diesbezüglich nur geringe Unterschiede. KMU mit 50 bis 249 Mitarbeitenden können den Ausstoß an Treibhausgasen sowie den Energieaufwand besser einschätzen als kleinere KMU. Im Gegensatz dazu können die kleineren KMU die Kosten besser einschätzen. Bei allen anderen Punkten sind die Unterschiede zwischen den KMU eher gering: Der größte Unterschied besteht bei der Einschätzung der Effekte kreislauforientierter Maßnahmen auf den Umsatz mit einer Differenz von vier Prozentpunkten.

¹⁰⁵ Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe mit umgesetzten zirkulären Maßnahmen

Frage: „Wie gut kann Ihr Unternehmen die Effekte der kreislauforientierten Maßnahmen auf die einzelnen Punkte ermitteln?“ Antwortmöglichkeiten: gar nicht; sehr schlecht; eher schlecht; eher gut; sehr gut; weiß nicht. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 161

Die Frage nach der Güte der Bewertungsmöglichkeit haben auch 31 Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes mit mehr als 249 Mitarbeitenden beantwortet. Diese können die kreislauforientierten Effekte deutlich besser einschätzen als die befragten KMU. Mit Ausnahme des Umsatzes und sonstiger negativer Umweltwirkungen gibt bei allen Punkten eine Mehrheit an, die Effekte eher gut oder sehr gut einschätzen zu können. Die beste Einschätzung ist beim Materialeinsatz und Energieaufwand möglich (jeweils 73 Prozent).

4.2.4 Aufwand-Nutzen-Relation

Bezüglich der Aufwand-Nutzen-Relation wurde in Experteninterview #3 (Kunststoffindustrie) zusammenfassend angeführt, dass die Potenziale einer weiteren Vernetzung gegeben sind, aber bisher die Kosten-Nutzen-Abwägung negativ ist.

Befragt nach der Relation zwischen Aufwand und Nutzen beim Einsatz digitaler Lösungen bei kreislauforientierten Maßnahmen zeigt sich ein gemischtes Bild (vgl. Abbildung 10). Insgesamt beurteilen gut zwei Fünftel der KMU den Aufwand höher im Vergleich zum Nutzen, während nur ein Fünftel den Nutzen im Vergleich zum Aufwand höher und 16 Prozent diese Relation als ausgeglichen betrachten. Kaum ein KMU gibt an, dass der Nutzen den Aufwand stark übertrifft. Gleichzeitig führt jedes fünfte Unternehmen an, hier keine Einschätzung abgeben zu können. Dies ist insbesondere bei kleinen KMU bis 49 Mitarbeitende der Fall.

Zur Vollständigkeit ist ein Blick auf die großen Unternehmen interessant, die aufgrund des Fokus auf KMU nicht in Abbildung 10 enthalten sind. Bei den 31 befragten großen Unternehmen ab 250 Mitarbeitenden überwiegt häufiger als bei den KMU der Nutzen den Aufwand. Mehr als ein Drittel der großen Unternehmen hat dahingehend geantwortet.

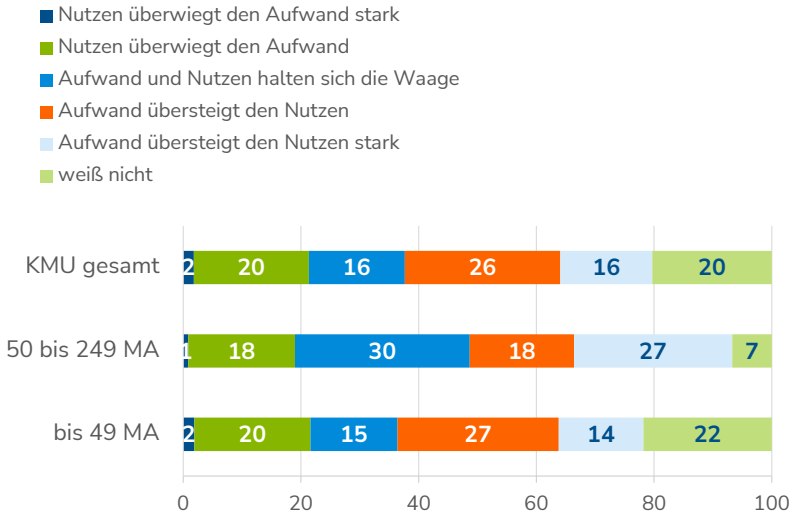


Abbildung 10: Beurteilung Aufwand-Nutzen-Relation beim Einsatz digitaler Lösungen für zirkuläre Maßnahmen¹⁰⁶

Ein ausgewogeneres Bild in Bezug auf die Nutzen-Aufwand-Relation zeigt sich, wenn man die Unternehmen gemäß ihrem Digitalisierungsgrad einteilt. Unternehmen, die digitale Technologien für zirkuläre Maßnahmen bereits im mittleren bis hohen Maße nutzen, bewerten die Nutzen-Aufwand-Relation deutlich positiver (vgl. Abbildung 11).

¹⁰⁶ Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe mit umgesetzten zirkulären Maßnahmen nach Größenklassen.

Frage: „Wie beurteilen Sie ‚unter dem Strich‘ die Relation zwischen Aufwand und Nutzen beim Einsatz digitaler Lösungen bei kreislaforientierten Maßnahmen?“
 Antwortmöglichkeiten: Nutzen überwiegt den Aufwand stark; Nutzen überwiegt den Aufwand; Aufwand und Nutzen halten sich die Waage; Aufwand übersteigt den Nutzen; Aufwand übersteigt den Nutzen stark; weiß nicht. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 183

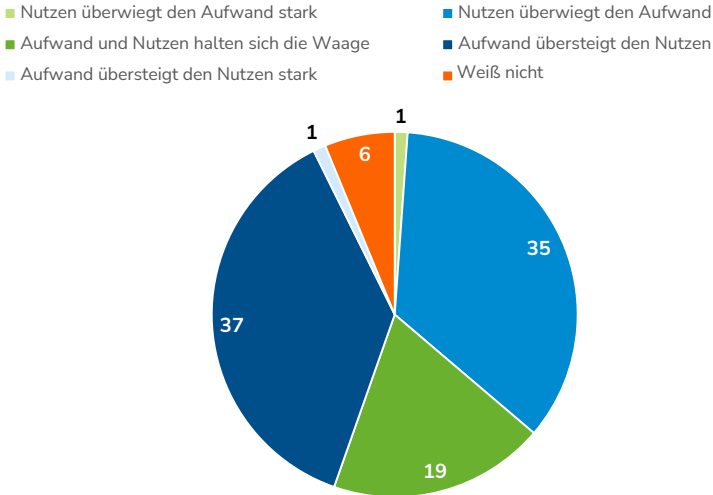


Abbildung 11: Digitalisierte KMU: Bewertung der Aufwand-Nutzen-Relation¹⁰⁷

Insgesamt bewertet mehr als ein Drittel der mittel- bis hochdigitalisierten Unternehmen den Nutzen als größer als den Aufwand. Ein weiteres Drittel gibt diesbezüglich eine gegenteilige Bewertung ab. Die „Weiß-nicht“-Quote dieser Unternehmen (sechs Prozent) ist im Vergleich zu allen KMU im verarbeitenden Gewerbe (20 Prozent) gering. Das verdeutlicht, dass Unternehmen, die bereits digitale Technologien nutzen und Erfahrungen gesammelt haben, den Einsatz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen besser einschätzen können. Dies stellt wiederum eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Implementierung besagter Maßnahmen dar. Dagegen überwiegt bei nahezu jedem zweiten „gar nicht bis gering“ digitalisierten Unternehmen der Aufwand den Nutzen; bei jedem dritten dieser

¹⁰⁷ Anteile in Prozent der mittel- bis hochdigitalisierten KMU im verarbeitenden Gewerbe mit umgesetzten zirkulären Maßnahmen

Frage: „Wie beurteilen Sie ‚unter dem Strich‘ die Relation zwischen Aufwand und Nutzen beim Einsatz digitaler Lösungen bei kreislauforientierten Maßnahmen?“

Antwortmöglichkeiten: Nutzen überwiegt den Aufwand; Aufwand und Nutzen halten sich die Waage; Aufwand übersteigt den Nutzen; Aufwand übersteigt den Nutzen stark; weiß nicht. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 61 mittel- bis hochdigitalisierte KMU

„gar nicht bis gering“ digitalisierten Unternehmen ist keine Beurteilung möglich.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass viele Unternehmen noch am Anfang der Digitalisierung stehen. Für sie ist der Aufwand der initialen Umsetzung bzw. des Einsatzes digitaler Lösungen bei kreislauforientierten Maßnahmen zunächst entsprechend höher als für bereits digitalisierte Unternehmen. Die Umfrageergebnisse deuten darauf hin, dass sich die Relation zwischen Aufwand und Nutzen ändern kann, wenn Unternehmen digitalisiert sind. An dieser Stelle wird deutlich, dass Unternehmen einen gewissen Digitalisierungsgrad benötigen, um den entsprechenden Nutzen aus der Einführung digital gestützter kreislauforientierter Maßnahmen ziehen zu können. Nichtsdestotrotz bleibt für viele digitalisierte Unternehmen der Aufwand weiterhin hoch.

4.2.5 Herausforderungen beim Einsatz digitaler Technologien

Die Expertinnen und Experten in den Interviews haben sich wie folgt geäußert:

Experteninterview #1 (Textilindustrie): Es wurde zusammenfassend angegeben, dass das Sammeln von Daten und deren Glaubwürdigkeit als das zu überwindende Problem gesehen werden. Bei der anschließenden Übermittlung der Daten kann die Digitalisierung jedoch helfen.

Experteninterview #2 (Verpackungsindustrie): Es kommt auf das Mindset an: „Der Wandel beginnt bei jedem selbst: Jeder muss seine eigenen Potenziale heben und die Voraussetzungen für die Kooperation mit anderen Partnern schaffen.“

Experteninterview #3 (Kunststoffindustrie): „Die Maschinen sind wenig digitalisiert, sie sind teuer: Es rechnet sich nicht, neue anzuschaffen oder bestehende nachzurüsten. Zudem werden Probleme mit Datenschutz, Virenschutz etc. befürchtet.“

Experteninterview #5 (Stahlverarbeitung): „Es gibt wenig Standards und viele Köche, die alle eine Lösung haben. Jeder will möglichst alles anbieten und andere rausdrängen, aber es müsste das Beste von allem geben. Die Politik sollte Unternehmen stärken, sich selbst zu helfen und voranzubringen.“

Erfolgreichere Unternehmen setzen eher auf kreislauforientierte Maßnahmen, wie Lichtenthäler et al. (2023) gezeigt haben¹⁰⁸. Zudem können digitale Technologien bei der Umsetzung dieser Maßnahmen unterstützen. Allerdings gibt es noch einige Herausforderungen für KMU beim Einsatz digitaler Technologien im Rahmen zirkulärer Maßnahmen. So sehen nur wenige KMU die abgefragten Hemmnisse als irrelevant an (vgl. Abbildung 12). Gleichzeitig zeigt sich aber auch, dass viele KMU nicht beurteilen können, ob die abgefragten Hemmnisse für sie relevant sind oder nicht. Die wichtigsten Hemmnisse für alle KMU im verarbeitenden Gewerbe sind:

- das fehlende Fachwissen bzw. die fehlenden Fachkräfte (für 60 Prozent stellt dies ein großes oder mittleres Hemmnis dar),
- die fehlende Komplettlösung zur umfassenden Datenerhebung und -nutzung (59 Prozent sehen dies als mittleres oder großes Hemmnis),
- die fehlenden Informations- und Beratungsmöglichkeiten zu Kosten, Zielgrößen und Nutzen (55 Prozent),
- die nicht gegebene Nachrüstbarkeit bestehender Anlagen (50 Prozent) und
- die fehlende Finanzkraft (49 Prozent).

Fehlende Normen und Standards, prozesshemmende interne Abläufe, mangelndes Vertrauen in die Datensicherheit sowie eine unzulängliche Breitbandstruktur werden jeweils von rund der Hälfte der Unternehmen als zumindest geringes Hemmnis gesehen. Jedoch bewerten jeweils

¹⁰⁸ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023).

lediglich zehn bis 15 Prozent der Unternehmen diese Punkte als mittleres oder großes Hemmnis.

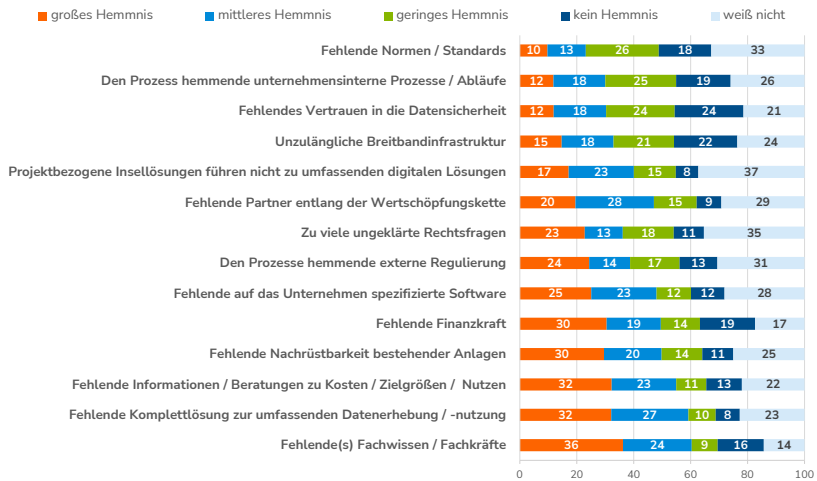


Abbildung 12: Relevanz der vorhandenen Hemmnisse bei KMU¹⁰⁹

Die Unternehmensbefragung zeigt außerdem, dass die Wahrnehmung der Hemmnisse von der Mitarbeitenden-Größenklasse abhängig ist. Vier Fünftel der größeren KMU empfinden die fehlenden Partner entlang der Wertschöpfungskette zumindest als geringes Hemmnis, während dies nur auf drei Fünftel der kleinen KMU zutrifft. Weniger ausschlaggebend für größere KMU sind die unzugängliche Breitbandinfrastruktur sowie das Vertrauen in die Datensicherheit mit jeweils 55 Prozent bzw. 49 Prozent Zustimmung. Zweiteres ist das einzige Hemmnis, welches eine höhere Zustimmungsrate (55 Prozent) von kleinen KMU erfährt als von größeren KMU. Wesentliche Unterschiede in der Wahrnehmung zeigen sich bei der

¹⁰⁹ Anteile in Prozent der KMU des verarbeitenden Gewerbes

Frage: „Welche Hemmnisse erfährt Ihr Unternehmen beim Einsatz digitaler Technologien zur Umsetzung kreislauforientierter Maßnahmen?“

Antwortmöglichkeiten: kein Hemmnis; geringes Hemmnis; mittleres Hemmnis; großes Hemmnis; weiß nicht. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 280 bis 289

Einschätzung, ob projektbezogene Insellösungen, die nicht zu umfassenden digitalen Lösungen führen, eine wesentliche Herausforderung darstellen. Während diesem Punkt nur 53 Prozent der kleinen KMU zustimmen, sind es 73 Prozent der größeren KMU. Selbst bei Hemmnissen, die eine geringe Zustimmung erfahren haben, liegt der Anteil der betroffenen Unternehmen zumeist bei über 50 Prozent.

Im Vergleich zu KMU bewerten große Unternehmen ab 250 Mitarbeitenden (37 Antworten) viele der genannten Herausforderungen seltener als ein großes Hemmnis. Eine Ausnahme stellt die Antwort „fehlende Normen und Standards“ dar – hier ist der Anteil mit zwölf Prozent vergleichbar mit der Bewertung durch KMU. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass sich große Unternehmen aufgrund ihres höheren Digitalisierungsgrads bereits mit anderen Themen beschäftigen als KMU, die oft noch am Anfang der Digitalisierung stehen (vgl. Kapitel 4.2.2).

Eine interessante Perspektive auf die Hemmnisse beim Einsatz digitaler Technologien für die Kreislaufführung bietet die Unterscheidung in gar nicht bis gering digitalisierte Unternehmen und in mittel- bis hochdigitalisierte Unternehmen. Es zeigt sich eindeutig, dass die mittel- bis hochdigitalisierten KMU eine insgesamt höhere Zustimmung im Hinblick auf die genannten Hemmnisse aufweisen als die gar nicht bis gering digitalisierten KMU. Dies gilt für alle Hemmnisse mit Ausnahme der fehlenden Finanzkraft. Das wichtigste Hemmnis für mittel- bis hochdigitalisierte Unternehmen stellt mit 78 Prozent Zustimmung das fehlende Fachwissen bzw. die fehlenden Fachkräfte dar.

Zwischen dem Unternehmenserfolg und der Einschätzung der Hemmnisse besteht ein wenig überraschender Zusammenhang. So zeigt sich, dass erfolgreiche Unternehmen grundsätzlich weniger Hemmnisse beim Einsatz digitaler Technologien zur Umsetzung kreislauforientierter Maßnahmen sehen als weniger erfolgreiche Unternehmen. Diese unterschiedlichen Einschätzungen der Hemmnisse sind zum Teil sehr deutlich. So bewerten beispielsweise 84 Prozent der Unternehmen mit geringem Erfolg das

Fehlen einer Komplettlösung zur umfassenden Datenerhebung und -nutzung als Hemmnis, während dies nur auf 53 Prozent der erfolgreichen Unternehmen zutrifft. Diese Tendenz gilt in unterschiedlicher Ausprägung für alle abgefragten Hemmnisse mit Ausnahme der fehlenden Partner entlang der Wertschöpfungskette.

Im Jahr 2024 sind die Herausforderungen im Vergleich zur Umfrage von Neligan et al. (2021a) aus dem Jahr 2020 nahezu unverändert. So waren bereits 2020 die mangelnde Finanzkraft für den Aufbau vollständig digitaler Anlagen, aber auch die Nachrüstbarkeit bestehender Anlagen maßgebliche Hemmnisse. Ebenso bleibt das Problem bestehen, dass es an Komplettlösungen fehlt und Insellösungen nicht zu einer umfassenden Digitalisierung führen. Zudem bilden aufgrund mangelnder Informationen und fachkundiger Beratungen fehlendes Know-how und Unklarheit bei der Beurteilung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses eine wesentliche Herausforderung. So mangelt es beispielsweise weiterhin an einer für das Unternehmen spezifizierten eigenen Software. Des Weiteren sind die für die unternehmensübergreifende Vernetzung wichtige Breitbandinfrastruktur und Datensicherheit verbesserungswürdig. Ebenso konstatieren einige Unternehmen, dass ein Verbesserungspotenzial in Bezug auf bestehende gesetzliche Rahmenbedingungen, aber auch bezüglich fehlender Normen und Standards vorliegt¹¹⁰.

¹¹⁰ Vgl. Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a), S. 68.

5 BESTIMMUNG DER ZIRKULARITÄTSEFFIZIENZ ANHAND VON INDIKATOREN

Zusätzlich zu den erzielbaren Ressourceneffizienzpotenzialen durch den Einsatz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen, die im vorherigen Kapitel beschrieben wurden, spielt die Effizienz der Maßnahme hinsichtlich der Umsetzung einer bestimmten Zirkularitätsstrategie eine wichtige Rolle. Zur Messung dieser Zirkularitätseffizienz existieren bislang keine passenden Indikatoren, mit denen KMU berechnen können, inwiefern die eingesetzten Maßnahmen zur Erreichung ihrer Zirkularitätsziele beitragen. Dieses Kapitel behandelt folglich Möglichkeiten zur Bewertung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen. Mit einem Leitfaden, der im Rahmen dieser Studie entwickelt wurde, sollen Unternehmen dabei unterstützt werden, passende Indikatoren zur Bewertung zu finden und diese auch in der Praxis anwenden zu können.

In Kapitel 5.1 wird die existierende Literatur zur Messung von Zirkularität zusammengefasst und analysiert. Anschließend wird eine Einschätzung der erzielbaren Ressourceneffizienzpotenziale, die sich aus der Anwendung digitaler Technologien als Bestandteil von Zirkularitätsstrategien ergeben, vorgestellt. Kapitel 5.2 beschreibt die Entwicklung des Indikatoren-Sets zur Bewertung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen. In Kapitel 5.3 werden die Erkenntnisse bezüglich der Bewertung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen aus der Unternehmensbefragung zusammengefasst und analysiert und mit Beispielen aus den Experteninterviews ergänzt.

5.1 Zirkularitätseffizienz durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen

Kernaussagen

- Die Zirkularitätseffizienz durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen kann mithilfe von Indikatoren bestimmt werden.
- Es gibt eine große Vielfalt an Literatur in diesem Themenbereich, wobei bislang keine praxistaugliche Messung von Zirkularitätseffizienz durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen existiert.

5.1.1 Indikatoren zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz - Literaturrecherche

Zur Bestimmung der Zirkularität werden Indikatoren herangezogen, die den Grad der Zirkularität beziffern sollen. Laut der Literatur ist ein Indikator die operative Darstellung einer Eigenschaft eines Systems durch eine quantitative oder qualitative Variable¹¹¹. Die Darstellung eines Werts erfolgt in Bezug auf einen Referenzwert. Übertragen auf die Zirkularitätseffizienz misst ein Indikator, inwiefern eine digital gestützte zirkuläre Maßnahme zur Erreichung einer Zirkularitätsstrategie beiträgt, relativ zum Aufwand zur Umsetzung dieser Maßnahme (vgl. Kapitel 2.3.5).

Die Literaturrecherche, im Wesentlichen englischsprachige wissenschaftliche Literatur, beinhaltet hauptsächlich Veröffentlichungen, die Indikatoren für die Messung von Zirkularität vorstellen. Dabei lassen sich die Quellen in Primärquellen und Meta-Studien unterscheiden (z. B. OECD, 2021; Kristensen et al., 2020)^{112, 113}. Für die Analyse existierender Indikatoren in diesem Themengebiet sind beide Ansätze relevant, da die systematischen

¹¹¹ Vgl. Waas, T.; Hugé, J.; Block, T.; Wright, T.; Benitez-Capistros, F. und Verbruggen, A. (2014), S. 5520.

¹¹² Vgl. OECD (2021).

¹¹³ Vgl. Kristensen, H. S. und Mosgaard, M. A. (2020).

Literaturübersichten eine gute Zusammenfassung und Strukturierung der Indikatoren bieten.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die für die Entwicklung eigener praxistauglicher Indikatoren analysierte Literatur. Unter anderem wurde die Richtlinie VDI 4800 Blatt 2¹¹⁴ berücksichtigt. Darin enthalten ist u. a. die Differenzierung zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen bei der Erstellung von Stücklisten (Auflistung der Komponenten) mit dem Ziel, Rohstofflisten mithilfe von Materiallisten (inkl. eingesetzter Energie) zu erhalten¹¹⁵.

Obwohl es eine Fülle an Indikatoren zur Messung von Ressourceneffizienz oder Zirkularität gibt, existiert keine einheitliche Definition des Ressourceneffizienz-Begriffs, die diesen Indikatoren zugrunde liegt. Im Rahmen dieser Studie wurde ein Ressourceneffizienz-Begriff definiert (vgl. Kapitel 2.3.2), so dass die Literatur dahingehend bewertet werden kann, inwiefern der dort genutzte Begriff mit der für diese Arbeit relevanten Definition übereinstimmt. Zusätzlich sind nicht alle Indikatoren entwickelt worden, um Ressourceneffizienz bzw. den Effekt konkreter Maßnahmen auf die Ressourceneffizienz zu messen. Sie sollen vielmehr den Umsetzungsgrad einer Circular Economy im Allgemeinen darstellen.

Die Schlussfolgerung bezüglich der uneinheitlichen Definitionen treffen bereits Huysman et al. (2015) in ihrem Vorhaben, die Indikatoren zur Bewertung von Ressourceneffizienz zu systematisieren. Die Autoren unterscheiden zwischen Level-1- und Level-2-Effizienz¹¹⁶. Erstere beschreibt das Verhältnis zwischen dem Nutzen und den gemessenen Flüssen von Ressourcen und Emissionen, letztere das Verhältnis zwischen den (beabsichtigten) Effekten bzw. dem Nutzen und den Umweltauswirkungen.

¹¹⁴ Vgl. VDI 4800 Blatt 2: 2018-03.

¹¹⁵ Vgl. VDI (2018), S. 7 f.

¹¹⁶ Vgl. Huysman, S.; Sala, S.; Mancini, L.; Ardente, F.; Alvarenga, R. A.F.; Meester, S. de; Mathieux, F. und Dewulf, J. (2015), S. 69.

Tabelle 6: Überblick über die analysierte Literatur

Referenz	Titel
Huysman et al., 2015 ¹¹⁷	Toward a systematized framework for resource efficiency indicators
Potting et al., 2017 ¹¹⁸	Circular Economy: Measuring innovation in the product chain
VDI, 2017 ¹¹⁹	Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0, Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes
VDI, 2018 ¹²⁰	Richtlinie VDI 4800 Blatt 2
Lopez et al., 2019 ¹²¹	Business Model Innovation for Resource-efficiency, Circularity and Cleaner Production: What 143 Cases Tell Us
Kristensen et al., 2020 ¹²²	A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability?
Rossi et al., 2020 ¹²³	Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronics cases
OECD, 2021 ¹²⁴	The OECD Inventory of Circular Economy indicators
Oliveira et al., 2021 ¹²⁵	Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments
Brändström et al., 2022 ¹²⁶	How circular is a value chain? Proposing a Material Efficiency Metric to evaluate business models
Goddin et al., 2019 ¹²⁷	Circularity Indicators – An approach to measuring circularity

¹¹⁷ Vgl. Huysman, S.; Sala, S.; Mancini, L.; Ardente, F.; Alvarenga, R. A.F.; Meester, S. de; Mathieux, F. und Dewulf, J. (2015).

¹¹⁸ Vgl. Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E. und Hanemaaijer, A. (2017).

¹¹⁹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017a).

¹²⁰ Vgl. VDI 4800 Blatt 2: 2018-03.

¹²¹ Vgl. Diaz Lopez, F. J.; Bastein, T. und Tukker, A. (2019).

¹²² Vgl. Kristensen, H. S. und Mosgaard, M. A. (2020).

¹²³ Vgl. Rossi, E.; Bertassini, A. C.; Ferreira, C. d. S.; Neves do Amaral, Weber Antonio und Ometto, A. R. (2020).

¹²⁴ Vgl. OECD (2021).

¹²⁵ Vgl. Oliveira, C. T. de; Dantas, T. E. T. und Soares, S. R. (2021).

¹²⁶ Vgl. Brändström, J. und Eriksson, O. (2022).

¹²⁷ Vgl. Goddin, J.; Marshall, K.; Pereira, A.; Tuppen, C.; Herrmann, S.; Jones, S.; Krieger, T.; Lenges, C.; Coleman, B.; Pierce, C. J.; Ilieski-Janols, S.; Veenendaal, R.; Stoltz, P.; Ford, L.; Goodman, T.; Vetere, M.; Mistry, M.; Graichen, F.; Natarajan, A.; Cockburn, D.; Koski, O. und Sullens, W. (2019).

Huysman et al. (2015) erläutern einige Indikatoren, die für die Messung bzw. Bestimmung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen relevant sind. Beispielsweise nennen sie die Prozesseffizienz, definiert als Quotient zwischen Output- und Inputströmen, als Indikator¹²⁸. Weitere Beispiele sind die Materialintensität, definiert als der Material-Input pro Einheit, oder die Öko-Effizienz, definiert als monetärer Output gegenüber Umweltauswirkungen. Diese Beispiele zeigen jedoch, dass es für eine Praxistauglichkeit relevant ist zu berücksichtigen, welche Daten in KMU vorliegen oder in Erfahrung gebracht werden können. Außerdem ist für den vorliegenden Anwendungsfall eine Differenzierung zwischen Primär- und Sekundärrohstoffen wichtig¹²⁹.

Hinsichtlich der Messung des Grades der Zirkularität sowie der Ressourceneffizienz existieren zudem unterschiedliche Betrachtungsebenen. Auf diese Tatsache gehen Oliveira et al. (2021) explizit ein und unterscheiden zwischen vier Ebenen der Indikatoren zur Zirkularitätsmessung: der Makro-, Meso-, Mikro- und Nanozirkularitätsebene. Die Makroebene bezieht sich auf zirkuläre Strategien in Städten, Bundesländern oder Regionen. Sie beinhaltet die Neugestaltung von Infrastruktursystemen wie saubere Energie und Transport. Die Mesoebene umfasst zirkuläre Strategien z. B. für zwischenbetriebliche Zusammenschlüsse, während sich die Mikroebene auf die Verbraucherinnen und Verbraucher bzw. einzelne Unternehmen bezieht. Die Nanoebene beinhaltet zirkuläre Strategien, die die Kreislauffähigkeit von Produkten, Komponenten und Materialien zum Ziel haben. Die im Rahmen dieser Studie entwickelten Indikatoren für KMU sind auf der Mikro- bzw. Nanoebene zu verorten¹³⁰.

Die Studie der OECD (2021) analysiert 29 Studien aus den Jahren 2018 bis 2020 und liefert die umfassendste Liste von Indikatoren zur Messung der Umsetzung einer Circular Economy. Insgesamt identifizieren die

¹²⁸ Vgl. Huysman, S.; Sala, S.; Mancini, L.; Ardente, F.; Alvarenga, R. A.F.; Meester, S. de; Mathieux, F. und Dewulf, J. (2015), S. 69.

¹²⁹ Vgl. Oliveira, C. T. de; Dantas, T. E. T. und Soares, S. R. (2021), S. 456.

¹³⁰ Vgl. Oliveira, C. T. de; Dantas, T. E. T. und Soares, S. R. (2021), S. 456.

Autorinnen und Autoren 474 Indikatoren. Viele von ihnen sind jedoch auf der Makro- oder Mesebene zu verorten. Beispiele für Indikatoren, die für diese Studie relevant sind, sind unter anderem:

- Energieeffizienz,
- Nutzung von erneuerbaren Energien,
- CO₂-Einsparung,
- Rückgewinnung von Materialien durch Wiederverwendung und Recycling,
- Anteil eingesetzter Sekundärrohstoffe in den verwendeten Materialien,
- vermiedene Abfallmenge,
- Einsatz von Sekundärmaterialien bzw. Primärmaterialien,
- Materialintensität,
- Ressourcenproduktivität¹³¹.

Rossi et al. (2020) schlagen in ihrem Artikel eine Liste an Indikatoren zur Messung der Zirkularität vor und unterteilen diese in die Dimensionen „Material“, „ökonomisch“ und „sozial“¹³². Jeder Dimension sind mehrere Indikatoren und Unterindikatoren zugeordnet. Wichtig ist unter anderem die Differenzierung zwischen tatsächlichem Recyclingmaterialeinsatz (Recyclinganteil) und der Möglichkeit des Recyclings (Recyclingfähigkeit), welche bereits während des Produktdesigns geschaffen wird. Diese Unterscheidung ist auch für die Messung der digital gestützten zirkulären Maßnahmen sinnvoll und relevant. Es gibt jedoch einige Indikatoren, wie beispielsweise „zirkuläre Investition“ und „Arbeitsplatzschaffung“, die in der Praxis entweder nicht bezifferbar oder nur schwierig auf konkrete Maßnahmen

¹³¹ Vgl. OECD (2021).

¹³² Vgl. Rossi, E.; Bertassini, A. C.; Ferreira, C. d. S.; Neves do Amaral, Weber Antonio und Ometto, A. R. (2020), S. 8 f.

zurückzuführen sind. Zudem werden qualitative und quantitative Indikatoren gemischt.

Potting et al. (2017) ordnen konkrete Zirkularitätsstrategien den von ihnen definierten R-Strategien zu. Außerdem erstellen sie eine Liste mit Diagnosefragen, um den Fortschritt des Prozesses und der Effekte auf den Übergang zu einer Circular Economy zu bestimmen¹³³. Zwar handelt es sich bei diesen Fragen um keine konkreten Indikatoren, sie helfen jedoch dabei, eine Strukturierung und einen Abgleich hinsichtlich der Vollständigkeit einer Indikatorik durchzuführen. Die Liste der nachfolgenden Diagnosefragen ist eine Weiterführung der von der EEA (2016) entwickelten Fragen¹³⁴:

- Wird der absolute Verbrauch von Primärmaterialien verringert?
- Berücksichtigt das Design die Wiederverwendung und das Recycling?
- Nimmt der Anteil gefährlicher Stoffe in Produkten ab?
- Werden die Produkte häufiger oder länger genutzt?
- Bleiben die Materialien wertbeständig und werden hochwertig recycelt?

Die von Potting et al. (2017) definierten zirkulären Strategien sind auf konkrete Anwendungsfälle bezogen und unterscheiden sich deshalb grundlegend von den hier angewendeten produktunabhängigen Zirkularitätsstrategien. Die Strategien lassen sich, unabhängig von der Art des Produkts, entlang der Wertschöpfung verorten. Jeder Strategie werden wiederum die jeweils passenden R-Strategien zugeordnet. Daraufhin wird bestimmt, in welchem Maße und in welchem Bereich sie implementiert werden¹³⁵.

Ein weiterer Ansatz ist die Entwicklung des Zirkularitätsindikators (Material Circularity Indicator, MCI) der Ellen McArthur Foundation. Dieser ist produktbezogen und misst das Ausmaß, in dem der lineare Fluss minimiert

¹³³ Vgl. Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E. und Hanemaaijer, A. (2017), S. 22.

¹³⁴ Vgl. EEA (2016).

¹³⁵ Vgl. Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E. und Hanemaaijer, A. (2017), S. 23 ff.

und der regenerative Fluss für seine Komponenten maximiert wird. Außerdem bezieht der Indikator mit ein, wie lange und intensiv das Produkt im Vergleich zu einem ähnlichen Durchschnittsprodukt der Branche genutzt wird. Der MCI wird aus drei Produktmerkmalen gebildet:

- der Masse der bei der Herstellung verwendeten Primärrohstoffe,
- der Masse der nicht verwertbaren Abfälle, welche dem Produkt zugerechnet werden, und
- einem Nutzenfaktor, der die Dauer und Intensität der Nutzung des Produkts berücksichtigt¹³⁶.

Insgesamt ist die Berechnung des MCI sehr komplex. Aus diesem Grund können die Produktmerkmale wertvollen Input für die Entwicklung der eigenen Indikatoren leisten, auch wenn die Berechnung des MCI als wenig praxistauglich für den KMU-Leitfaden eingeschätzt wird. Zudem stellt hier das Produkt den Bezugspunkt dar, während das Ziel der vorliegenden Ausarbeitung die Unternehmensebene und die dort ergriffenen digital gestützten zirkulären Maßnahmen beinhaltet.

Die Studie des VDI ZRE (2017) zu den Ressourceneffizienzpotenzialen durch Industrie 4.0 liefert wichtige Hinweise hinsichtlich der generellen Erstellung von Indikatoren. Der Fokus dieser Studie liegt jedoch auf den Ressourceneinspareffekten durch die digitale Transformation. Sie umfasst keine zirkulären Maßnahmen und Strategien. Die definierten sechs Effekte von digitalen Technologien:

- Vermeidung von Abfällen,
- Einsparung von Energie in Form von Strom,

¹³⁶ Vgl. Goddin, J.; Marshall, K.; Pereira, A.; Tuppen, C.; Herrmann, S.; Jones, S.; Krieger, T.; Lenges, C.; Coleman, B.; Pierce, C. J.; Iliefski-Janols, S.; Veenendaal, R.; Stoltz, P.; Ford, L.; Goodman, T.; Vetere, M.; Mistry, M.; Graichen, F.; Natarajan, A.; Cockburn, D.; Koski, O. und Sullens, W. (2019), S. 22 ff.

- Verringerung der Fehlerrate und des damit einhergehenden Ausschusses,
- Einsparung von Lagerraum,
- Verringerung des Materialeinsatzes und
- Einsparung von (innerbetrieblichen) Transporten

sind für die Entwicklung einer eigenen Indikatorik relevant¹³⁷.

Die vorangegangenen Ausführungen zeigen, dass die analysierte Literatur sehr heterogen hinsichtlich ihrer konkreten Zielsetzung und Entwicklung von Indikatoren ist. Alle Studien unterscheiden sich in mindestens einem Kriterium von den im Rahmen dieser Studie entwickelten Indikatoren zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen und beinhalten relevante Ansätze, die für die Entwicklung der eigenen Indikatoren berücksichtigt werden können.

Abbildung 13 liefert eine übersichtliche Veranschaulichung der Auswertung der Literatur hinsichtlich der unterschiedlichen Merkmale.

¹³⁷ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017a), S. 127 ff.

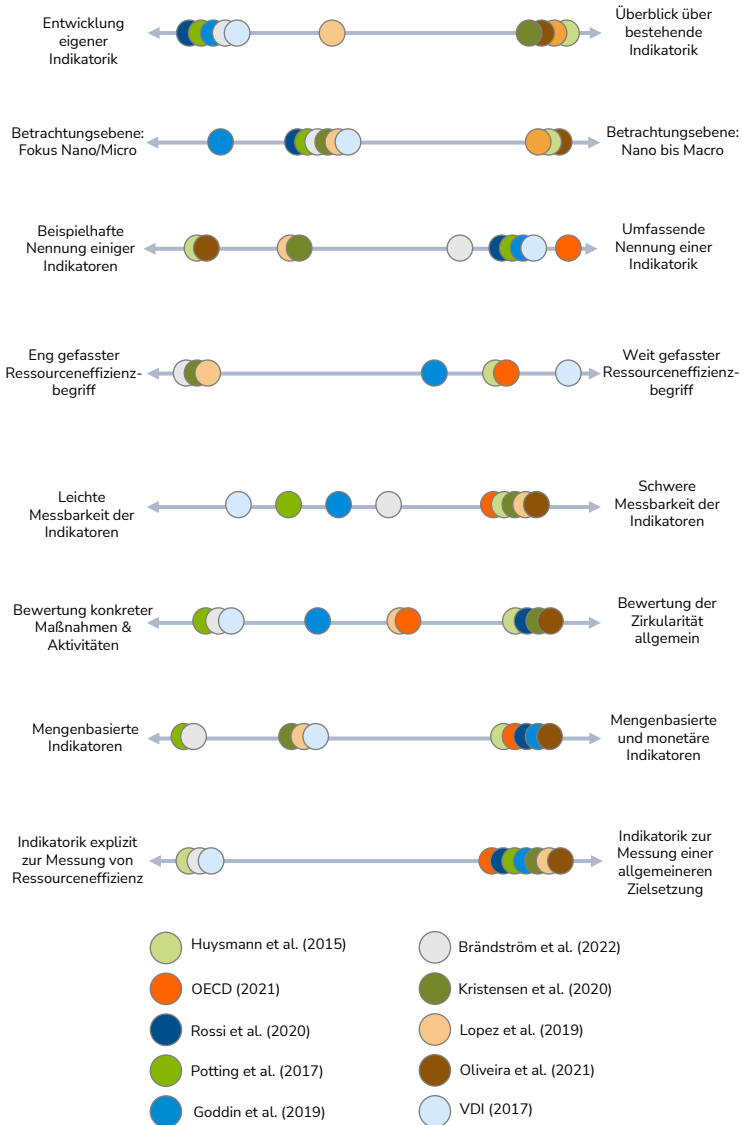


Abbildung 13: Vergleich der Indikatoren in der relevanten Literatur¹³⁸

¹³⁸ Eigene Darstellung.

Praxistools und Leitfäden

Es gibt bereits einige Ressourceneffizienz-Tools. Beispielhaft zu nennen sind verschiedene Kostenrechner sowie die Ressourcenchecks des VDI ZRE. Mit dem Fokus auf Ressourceneffizienz durch Digitalisierung sind der zu dem Thema für das BMWK erstellte KMU-Leitfaden sowie zwei Online-Tools und der Ressourcencheck des VDI ZRE zum Thema „Digitalisierung“ sowie der „Readiness Check“ des Ressourceneffizienz-Zentrums Bayern (REZ), der unter anderem auch einen Teil zur Digitalisierung aufweist, zu nennen^{139, 140, 141}. Alle diese Leitfäden verfügen jedoch über keine eindeutige Indikatorik.

Es gibt aber auch einige Praxis-Leitfäden, die sich mit der Bewertung von Zirkularität in Unternehmen beschäftigten. Eine gute Übersicht über die verschiedenen Angebote an Zirkularitätsindikatoren und damit verbundenen Bewertungstools bieten BITC (2022), CIRCLE Economy/BCG (2021) und CEIC (2023)^{142, 143, 144}. Konkret an Zirkularitätsstrategien orientierte Indikatoren sind im Leitfaden der WBCSD (2023) mit den Circular Transitions Indicators enthalten, welche mittlerweile in ihrer vierten Version vorliegen¹⁴⁵. Allerdings fehlt hier der Bezug zur Digitalisierung.

5.1.2 Abgleich digital gestützter Maßnahmen mit Zirkularitätsstrategien

Die Ressourceneffizienzpotenziale der verschiedenen digitalen Technologien variieren je nach verfolgter Strategie. Insgesamt kann die Digitalisierung bei allen Strategien sinnvoll eingesetzt werden. Die Analyse von Daten ist für digitale Technologien und die digitale Abbildung realer

¹³⁹ Vgl. VDI ZRE (o. J.).

¹⁴⁰ Vgl. REZ Bayern (o. J.).

¹⁴¹ Vgl. IW Köln; IW Consult und WIK-Consult (2020), S. 48 ff.

¹⁴² Vgl. BITC (2022), S. 6.

¹⁴³ Vgl. CEIC (2023).

¹⁴⁴ Vgl. Verstraeten-Jochemsens, J.; Oltmanns, J. und van Meeteren, O. (2021), S. 13.

¹⁴⁵ Vgl. wbcscd (2023).

Gegebenheiten von grundlegender Bedeutung. Daher nimmt die digitale Datenerfassung auch in Bezug auf das Ressourceneffizienzpotenzial eine maßgebliche Rolle ein.

Eine Vereinfachung für den Leitfaden liefert die Zusammenlegung der Strategien „Kreisläufe ermöglichen“ (S2b) und „Kreisläufe schaffen“ (S3). Diese wurde bereits in früheren Studien für den Praxisteil durchgeführt, um eine bessere Verständlichkeit seitens der Unternehmen zu erzielen¹⁴⁶. Beide Strategien ähneln sich bezüglich der zugeordneten Maßnahmen und Indikatoren, weshalb eine Zusammenlegung eine sinnvolle Vereinfachung darstellt

5.2 Entwicklung eines Indikatoren-Sets zur Bewertung der Zirkularitätseffizienz von digital gestützten Maßnahmen

Kernaussagen

- Mit den im Rahmen dieser Studie entwickelten Indikatoren können die Effekte digital gestützter zirkulärer Maßnahmen bestimmt werden.
- Die Indikatoren bieten KMU die Möglichkeit, basierend auf der verfolgten Zirkularitätsstrategie, zu entscheiden, welche zirkulären Maßnahmen getroffen werden können.
- Die Zirkularitätseffizienz kann anschließend anhand der Indikatoren bewertet werden.

5.2.1 Anforderungen an Indikatoren zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz

Die Zirkularitätseffizienz, die anhand der Indikatoren bestimmt wird, soll sowohl die eingesetzten als auch die verbrauchten Mittel und Ressourcen

¹⁴⁶ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023).

eines Unternehmens bei der Produktion von Gütern erfassen. Es soll dabei bestimmt werden, ob ein Mehrbedarf durch die digital gestützten Maßnahmen generiert wurde oder Ressourcen eingespart werden konnten. So kann es in Folge des Einsatzes einer digitalen Technologie beispielsweise zu Rohstoffeinsparungen kommen, während der Energie- oder Wasserverbrauch steigt. Der erhöhte Energieverbrauch kann zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen führen, der der Rohstoffeinsparung entgegenwirkt. Um ein aussagekräftiges Gesamtmaß für die Zirkularitätseffizienz zu erhalten, müssen diese Effekte berücksichtigt und saldiert werden.

Wie bereits erwähnt (vgl. Kapitel 1) entfalten die Maßnahmen, die in einem Unternehmen getroffen werden, ihre Wirkung oft entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Diese Effekte müssen auch hinsichtlich der Bewertung der Zirkularitätseffizienz betrachtet werden, wenngleich die Messung einiger Indikatoren nur innerhalb der Unternehmensgrenzen erfolgen kann, um Doppelzählungen zu vermeiden. Dies betrifft beispielsweise die Einsparungen von Primärrohstoffen oder Energie. Andere Indikatoren, wie beispielsweise die Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate schließen eine Betrachtung der Wertschöpfungskette mit ein, da die Phase der Wiederverwendung und -verwertung nach der Produktion und Nutzung einzuordnen ist. Für eine Gesamtbilanz ist es wichtig, die gesamte Wertschöpfungskette zu betrachten, da kreislauforientierte Maßnahmen nicht nur zu lokalen Verschiebungen der Aufwände, beispielsweise zu Zuliefernden sowie Kunden und Kundinnen, führen dürfen.

Die entwickelten Indikatoren beruhen hauptsächlich auf mengenbasierten Angaben, schließen aber auch monetäre Aspekte der Zirkularitätseffizienz insbesondere hinsichtlich des Aufwands ein. Vor allem mit Blick auf die Durchführbarkeit in der Praxis scheinen mengenbasierte Angaben für KMU realistischer im Vergleich zu eingesparten Materialwerten. Letztere basieren zusätzlich auf weiteren Angaben zu Preisen, die zeitabhängig sein können und recherchiert werden müssen. Durch einen mengenbasierten Ansatz scheint eine grundsätzliche Vergleichbarkeit zwischen KMU möglich. Es ist jedoch auch realisierbar, die Angaben beispielsweise zu den

Einsparungen monetär vorzunehmen, wenn dies von den KMU gewünscht ist. Monetäre Indikatoren sind für die Erstellung eines Effizienzmaßes unverzichtbar, weshalb beispielsweise die Erschließung neuer Einnahmequellen oder neuer Märkte mit in Betracht gezogen werden muss.

Darüber hinaus gibt es übergeordnete Indikatoren mit strategischen Komponenten, um die Effizienz im Unternehmenskontext bewerten zu können. Darunter fallen beispielsweise Informationssysteme zur Kreislaufführung sowie das strategische Management kreislauffördernder Maßnahmen. Diese Indikatoren lassen sich im Gegensatz zu den mengenbasierten Indikatoren nicht quantitativ erfassen, sondern haben nur eine binäre Ausprägung. Das heißt, der durch den Indikator erfasste bzw. repräsentierte Aspekt liegt entweder vor oder nicht.

5.2.2 Abgleich von Indikatoren mit zirkulären Strategien und Maßnahmen

Wichtig für eine Strukturierung der Indikatoren sind die Effekte zirkulärer Maßnahmen, die im Rahmen der Unternehmensbefragung definiert wurden. Diese Effekte stellen eine strukturierte Übersicht mit dem weiten Verständnis von Ressourceneffizienz dar.

Tabelle 7 liefert eine Übersicht der entwickelten Indikatoren, inklusive ihrer Zuordnung zu den Effekten zirkulärer Maßnahmen. Es wird deutlich, dass alle Effekte anhand der Indikatoren beziffert werden können und somit in die Bestimmung der Zirkularitätseffizienz einfließen. Während manche Effekte zirkulärer Maßnahmen mit nur einem Indikator abgedeckt werden können, müssen insbesondere der Materialeinsatz und die Kosten deutlich umfangreicher erfasst werden. Sonstige Umweltauswirkungen, wie die Verunreinigung von Luft, Wasser und Böden, sind nur schwer durch Indikatoren darstellbar bzw. für KMU wenig praxistauglich und damit nicht leicht abfragbar. Trotz ihrer großen Relevanz für die Ressourceneffizienz sollen sonstige Umweltauswirkungen innerhalb der Indikatoreik nicht abgefragt werden. Vielmehr soll ein Hinweis im Leitfaden erfolgen, dass auch andere Umweltauswirkungen als die genannten von den

Unternehmen zu beachten sind und Teil jeder Strategie zu einer höheren Ressourceneffizienz sein müssen.

Tabelle 7: Zuordnung der Indikatoren zu den Effekten zirkulärer Maßnahmen¹⁴⁷

	Effekte zirkulärer Maßnahmen	Indikatoren
Monetäre Indikatoren	Umsatz	<ul style="list-style-type: none"> • Erschließung neuer Einnahmequellen • Erschließung neuer Märkte oder eines größeren Marktanteils
	Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) Energie • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reduzierter Flächenbedarf • (Eingesparter) Wasserverbrauch • Einsatz von Sekundärrohstoffen • Reparier- und Upgrade-Aufwände • Strategisches Management kreislaufforientierter Maßnahmen vorhanden • Informationssysteme zur Kreislaufführung vorhanden • Initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie
Mengenbasierte Indikatoren	Materialeinsatz	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • Einsatz von Sekundärrohstoffen • Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen • Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate • Produktlebensdauerverlängerung/-intensivierung (Ressourcenlaufzeit) • Reparier- und Upgrade-Aufwände (Materialaufwand)
	Energieaufwand	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Energie
	Wasserverbrauch	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparter) Wasserverbrauch
	Flächenbedarf	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierter Flächenbedarf
	Abfallaufkommen	<ul style="list-style-type: none"> • (Vermiedener) Abfall • (Vermiedener) Verpackungsabfall
	Ausstoß von Treibhausgasen	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) CO₂-Emissionen
	Sonst. negative Umweltauswirkungen	<i>(schlecht darstellbar über Indikatoren, Hinweis im Leitfaden)</i>

¹⁴⁷ Eigene Darstellung auf Basis der gesichteten Literatur (vgl. Tabelle 5).

Im nächsten Schritt wird abgeglichen, ob die entwickelten Indikatoren alle zirkulären Maßnahmen abdecken. Die Anforderung an die Vollständigkeit der Indikatoren ist, dass die Effekte sämtlicher Maßnahmen – sowohl auf Produkt- bzw. Geschäftsmodellebene als auch auf Prozessebene – anhand der Indikatoren gemessen bzw. bestimmt werden können. Tabelle 8 zeigt, dass diese Anforderung erfüllt ist. Es gibt drei zusätzliche betriebswirtschaftliche Indikatoren: Erschließung neuer Einnahmequellen, Erschließung neuer Märkte oder eines größeren Marktanteils sowie initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie.

Tabelle 8: Zuordnung der Indikatoren zu den zirkulären Maßnahmen¹⁴⁸

	Zirkuläre Maßnahmen	Indikatoren
Produktebene / Geschäftsmodelle	Einsatz neuer Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reduzierter Flächenbedarf • (Eingesparter) Wasserverbrauch
	Einsatz von Sekundärrohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Einsatz von Sekundärrohstoffen
	Kreislaufgerechtes Produktdesign	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen • (Vermiedener) Abfall • Produktlebensdauer / -intensivierung (Ressourcenlaufzeit)
	Produktergänzende Serviceangebote	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Produktlebensdauer / -intensivierung (Ressourcenlaufzeit)
	Wiederverwendung und -aufbereitung von Produkten/-teilen	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reuse- / Recycling- / Recovery-Rate • Produktlebensdauer / -intensivierung (Ressourcenlaufzeit) • Reparier- und Upgrade-Aufwände
	Maßnahmen zur Energieeffizienz und -einsparung	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Energie • (Eingesparte) CO₂-Emissionen

¹⁴⁸ Eigene Darstellung auf Basis der gesichteten Literatur (vgl. Tabelle 6).

Prozessebene	Optimierung von Herstellungsprozessen zur Ressourcenschonung/ Abfallvermeidung	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Energie • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reduzierter Flächenbedarf • (Eingesparter) Wasserverbrauch • (Vermiedener) Abfall • (Vermiedener) Verpackungsabfall
	Weiter- und Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate • Einsatz von Sekundärrohstoffen • Reparier- und Upgrade-Aufwände
	Wiederverwertung (Recycling) von Rohstoffen und Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate • Einsatz von Sekundärrohstoffen
	Strategisches Management kreislauforientierter Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Strategisches Management kreislauforientierter Maßnahmen vorhanden
	Informationssysteme zur Kreislaufführung	<ul style="list-style-type: none"> • Informationssysteme zur Kreislaufführung vorhanden
Übergeordnet		<ul style="list-style-type: none"> • Erschließung neuer Einnahmequellen • Erschließung neuer Märkte/ eines größeren Marktanteils • Initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie

Damit KMU anhand des Leitfadens die Ressourceneffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen in Bezug auf die angestrebte Zirkularitätsstrategie bestimmen können, muss zuletzt eine Zuordnung zwischen den Strategien und Indikatoren stattfinden.

Die Übersicht in Abbildung 14 bietet KMU die Möglichkeit, basierend auf der verfolgten Zirkularitätsstrategie, zu entscheiden, welche zirkulären Maßnahmen getroffen werden können und welche Indikatoren notwendig sind, um die Zirkularitätseffizienz dieser Strategie zu bewerten. Der Eintrag x beschreibt einen direkten Einfluss, der Eintrag (x) einen indirekten Einfluss des Indikators auf eine Strategie.

Als übergeordnete Maßnahmen sind das strategische Management kreislauforientierter Maßnahmen und Informationssysteme zur Kreislaufführung keiner Strategie explizit zugeordnet, sondern können vielmehr Teil bzw. Grundlage jeder Zirkularitätsstrategie sein. Aus diesem Grund tauchen diese Maßnahmen unter allen Strategien auf. Eine weitere Besonderheit dieser Maßnahmen ist, dass die Indikatoren das Vorhandensein des strategischen Managements und der Informationssysteme zwar abfragen, aber keine Quantifizierung stattfindet.

Wichtig bei der Interpretation der Indikatorenzuordnung zu den Strategien ist der Hinweis, dass die Strategie „Ressourceneffizienz im Herstellungsprozess“ (S2a) den Prozess fokussiert und keine Änderungen am Produkt umfasst. Produktbezogene Anpassungen, wie beispielsweise das Ökodesign, werden in der Strategie „Kreisläufe ermöglichen“ betrachtet. Aus diesem Grund sind Indikatoren, wie beispielsweise die mögliche Einsparung von Primärrohstoffen, nicht der Strategie S2a zugeordnet.

Der Praxis-Leitfaden für KMU des verarbeitenden Gewerbes befindet sich im Anhang dieser Studie. In diesem sind auch ausführliche Beschreibungen zu den Indikatoren sowie Hilfen zu deren Berechnung enthalten.

Maßnahme		Kreisläufe schließen (S1)			Verbesserte Ressourceneffizienz (S2a)			Kreisläufe ermöglichen (S2b)			Neue Kreisläufe schaffen (S3)			Kreisläufe verlängern (S4)									
		Einsatz von Sekundärrohstoffen	Weiter- und Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien	Wiederverwertung (Recycling) von Rohstoffen und Materialien	Strategisches Management kreislauffördernder Maßnahmen	Informationsysteme zur Kreislaufführung	Optimierung der Herstellungsprozesse zur Ressourcenschonung	Maßnahmen zur Energieeffizienz und -einsparung	Strategisches Management kreislauffördernder Maßnahmen	Informationsysteme zur Kreislaufführung	Kreislaufgerechtes Produktdesign	Strategisches Management kreislauffördernder Maßnahmen	Informationsysteme zur Kreislaufführung	Einsatz neuer Materialien	Wiederverwertung (Recycling) von Rohstoffen und Materialien	Strategisches Management kreislauffördernder Maßnahmen	Informationsysteme zur Kreislaufführung	Produktergänzende Serviceangebote	Wiederverwendung & -aufbereitung von Produkten/-teilen	Weiter- und Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien	Strategisches Management kreislauffördernder Maßnahmen	Informationsysteme zur Kreislaufführung	
Mengenbasiert	Eingesparte Primärrohstoffe	x	x	x						(x)			x	x					x	x			
	Eingesparte Energie	(x)	(x)	(x)			x	x						(x)					(x)	(x)			
	Eingesparte CO ₂ -Emissionen	(x)	(x)	(x)			x	x						(x)					(x)	(x)			
	Reduzierter Flächenbedarf							x					x										
	Eingesparter Wasserverbrauch							x					x										
	Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate	(x)	x	x							(x)			(x)	x			(x)	x	x			
	Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen										x			(x)									
	Vermiedener Abfall	(x)	(x)	(x)				x			x			(x)				(x)	(x)	(x)			
	Vermiedener Verpackungsabfall							x										(x)					
	Produktlebensdauerverlängerung/-intensivierung (Nutzenfaktor)										x							x	x				
Übergeordnet	Einsatz von Sekundärrohstoffen	x	x	x										x							x		
	Reparier- & Upgrade-Aufwände (Materialaufwand)		x																x	x			
	Strategisches Management kreislauforientierter Maßnahmen vorhanden				x				x			x				x						x	
	Informationssysteme zur Kreislaufführung vorhanden					x				x			x				x						x
	Erschließung neuer Einnahmequellen	x	x	x			x	x			x			x	x				x	x	x		
	Erschließung neuer Märkte oder eines größeren Marktanteils	x	x	x			x	x			x			x	x				x	x	x		
Übergeordnet	Initiale und laufende Kosten für Integration digitaler Technologie	x	x	x			x	x					x	x					x	x	x		

Abbildung 14: Übersicht Indikatoren, zirkuläre Strategien und Maßnahmen (eigene Darstellung)

5.3 Bewertung von zirkulären Maßnahmen - Ergebnisse aus der Unternehmensbefragung

Kernaussagen

- Viele Unternehmen nehmen eine positive Auswirkung von digital gestützten zirkulären Maßnahmen auf die Inanspruchnahme natürlicher Ressourcen wahr.
- Der Anteil der Unternehmen, der keine Effekte feststellt, ist dennoch sehr hoch.
- Der Großteil der Unternehmen kann die Effekte eingesetzter zirkulärer Maßnahmen nicht bestimmen.
- Aus diesem Grund ist eine Quantifizierung dieser Maßnahmen notwendig.
- Genau an dieser Stelle setzt der entwickelte KMU-Leitfaden an, mit dessen Hilfe die genutzten digital gestützten zirkulären Maßnahmen hinsichtlich ihrer Effizienz beim Erreichen der Zirkularität bewertet werden können.

Die Unternehmen haben mehrheitlich große Schwierigkeiten, die Effekte eingesetzter kreislauforientierter Maßnahmen zu bestimmen. Abbildung 15 stellt dazu die Ergebnisse der Befragung nach den Bewertungsmöglichkeiten kreislauforientierter Maßnahmen dar.

Die besten Einschätzungsoptionen haben die KMU beim Materialeinsatz: 51 Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe können die Veränderungen beim Materialeinsatz durch kreislauforientierte Maßnahmen eher gut bis sehr gut einschätzen. Mit 46 Prozent beim Abfallaufkommen sowie mit 44 Prozent bei den Kosten können hohe Anteile an Unternehmen, die die Effekte eher gut bis sehr gut einschätzen können, verzeichnet werden. Die schlechtesten Bewertungsmöglichkeiten haben die KMU im verarbeitenden Gewerbe beim Ausstoß von Treibhausgasen: 78 Prozent geben an, die Effekte auf Treibhausgasemissionen von umgesetzten kreislauforien-

tierten Maßnahmen gar nicht oder eher schlecht bis sehr schlecht einschätzen zu können.

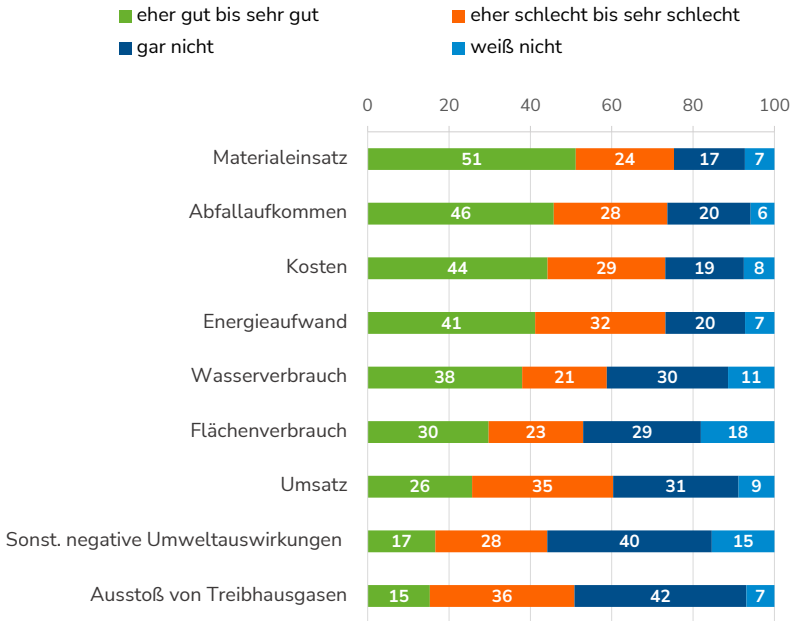


Abbildung 15: Güte der Bewertungsmöglichkeiten der Effekte von kreislauforientierten Maßnahmen¹⁴⁹

Die Betrachtung nach Unternehmensgröße bei den KMU ergibt diesbezüglich nur geringe Unterschiede. KMU mit 50 bis 249 Mitarbeitenden können den Ausstoß an Treibhausgasen sowie den Energieaufwand besser einschätzen als kleinere KMU. Im Gegensatz dazu können die kleineren KMU die Kosten besser einschätzen. Bei allen anderen Punkten sind die Unterschiede zwischen Unternehmensgrößen eher gering; Der größte Unter-

¹⁴⁹ Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe mit umgesetzten zirkulären Maßnahmen

Frage: „Wie gut kann Ihr Unternehmen die Effekte der kreislauforientierten Maßnahmen auf die einzelnen Punkte ermitteln?“ Antwortmöglichkeiten: gar nicht; sehr schlecht; eher schlecht; eher gut; sehr gut; weiß nicht. Rundungsdifferenzen möglich. – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 161

schied besteht beim Umsatz mit einer Differenz von vier Prozentpunkten. 26 Prozent der kleinen KMU und 22 Prozent der größeren KMU geben hier an, die Effekte eher gut oder sehr gut einschätzen zu können.

Unternehmen mit mehr als 249 Mitarbeitenden können die Effekte kreislauforientierter Maßnahmen deutlich besser einschätzen als die befragten KMU. Mit Ausnahme des Umsatzes und sonstiger negativer Umweltwirkungen gibt bei allen Punkten eine Mehrheit größer 50 Prozent an, die Effekte eher gut oder sehr gut einschätzen zu können. Die beste Einschätzung ist bei dem Materialeinsatz und Energieaufwand möglich. Jeweils 73 Prozent der Unternehmen führen an, die Effekte hier eher gut oder sehr gut einschätzen zu können.

Die Experteninterviews stützen das Bild, welches die Unternehmensbefragung bereits aufgezeigt hat. Auch diejenigen KMU, die in den Bereichen Digitalisierung und Kreislaufwirtschaft aktiv sind, messen zu großen Teilen ihre Ressourceneffizienz als solche nicht. Was einige der befragten Unternehmen messen, sind Energie-, Wasser-, Öl- und Gasverbrauch, aber keine Veränderungen. Indikatoren zur Messung der Ressourceneffizienz zieht keines der in den Interviews befragten Unternehmen heran.

Experteninterview #1 (Textilindustrie): „Sollten Daten über gebrauchte Produkte vorliegen, könnten diese Daten für die Kreislaufführung genutzt werden. Jedoch wird für die Datenaufarbeitung Energie benötigt. Die durch Kreislaufwirtschaft gesparten Ressourcen müssen den nötigen Energien gegenübergestellt werden.“

Experteninterview #2 (Verpackungsindustrie): „Alles spielt ineinander. Das heißt, es ist nicht klar, welcher Anteil der Digitalisierung zugeschrieben werden kann, da auch Veränderungen bei den Prozessen und dem Produkt vorgenommen wurden.“

Als Gründe für eine fehlende Messung der Ressourceneffizienz werden beispielsweise die fehlende Zeit oder zu hohe bürokratische Hürden festgestellt. Die befragten Experten und Expertinnen betonen zudem, dass eine Erhebung von Kennzahlen insbesondere dann schwierig ist, wenn sie über Unternehmensgrenzen hinausgeht. Oft fehlen Schnittstellen und entsprechende Kontakte zu Zuliefernden sowie Kunden und Kundinnen.

Experteninterview #4 (Kunststoffindustrie): „Die Mülltonne ist unser Gradmesser der Effizienz und des Rohstoffmanagements.“

6 HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Die Studie liefert Ansatzpunkte, wie KMU im verarbeitenden Gewerbe über eine verstärkte Nutzung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen die Ressourceneffizienz im Unternehmen steigern und die Zirkularitätseffizienz bewerten können. Die Erhebung des Status quo im Rahmen einer repräsentativen Unternehmensbefragung sowie die vertiefenden Experteninterviews liefern relevante Anhaltspunkte zum aktuellen Stand bei digital gestützten zirkulären Maßnahmen sowie zu den bisher vorhandenen Bewertungsmöglichkeiten der daraus entstehenden Ressourceneffizienzpotenziale.

Auf Basis der in der Studie identifizierten Handlungsbedarfe werden in diesem Kapitel drei Handlungsfelder formuliert und daraus konkrete Handlungsempfehlungen für die Politik, Industrie und Wissenschaft abgeleitet.

- Handlungsfeld 1: Stärkung zirkulärer Maßnahmen
- Handlungsfeld 2: Stärkung der Nutzung digitaler Technologien für zirkuläre Maßnahmen
- Handlungsfeld 3: Verbesserung der Mess- und Bewertbarkeit der Zirkularitätseffizienz

In den folgenden Unterkapiteln werden nach einer kurzen Zusammenfassung des Handlungsbedarfs für jedes Handlungsfeld jeweils drei konkrete Handlungsempfehlungen für die Zielgruppen Politik, Industrie und Wissenschaft beschrieben (vgl. Abbildung 16). Trotz des Zuschnittes der Handlungsempfehlungen auf die einzelnen Zielgruppen sind diese nicht überschneidungsfrei. Dies zeigt die Notwendigkeit für eine gemeinsame Denk- und Vorgehensweise unter den Beteiligten Stakeholdern und Stakeholderinnen und hebt die Relevanz solcher Maßnahmen hervor.

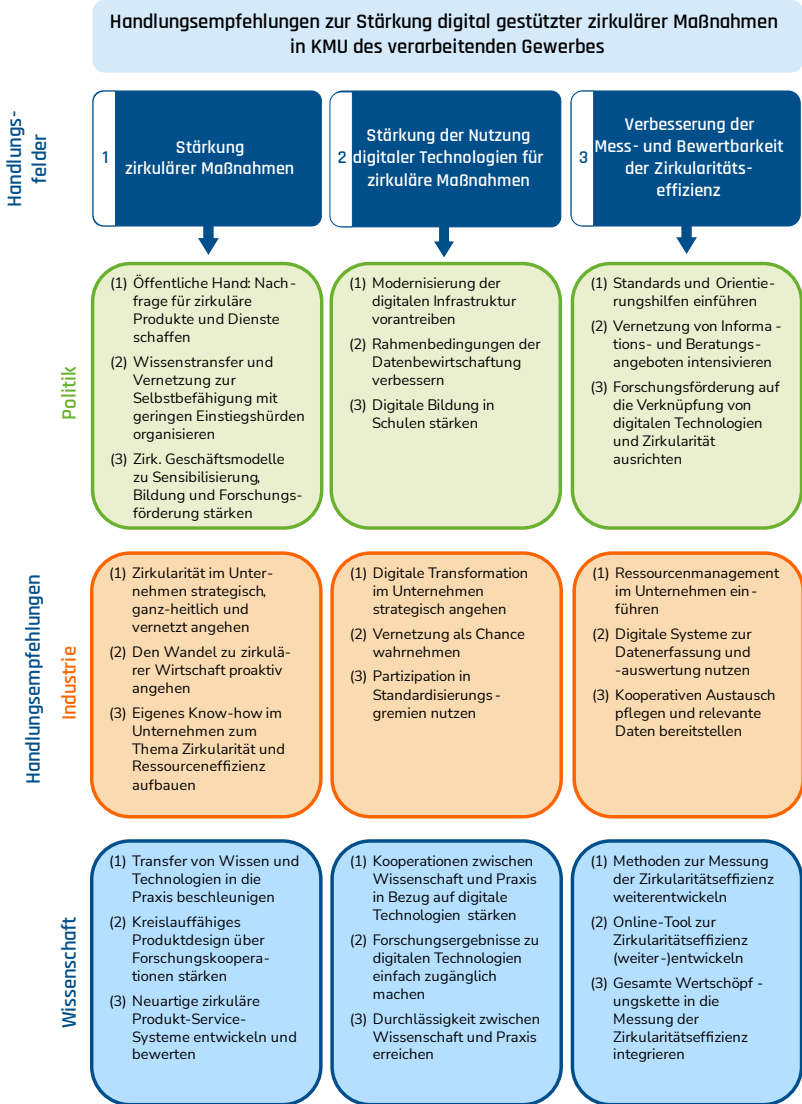


Abbildung 16: Überblick über die Handlungsempfehlungen zur Stärkung digital gestützter Maßnahmen in KMU des verarbeitenden Gewerbes¹⁵⁰

¹⁵⁰ Eigene Darstellung.

6.1 Handlungsfeld 1: Stärkung zirkulärer Maßnahmen

Handlungsbedarf: Obgleich die Mehrheit der KMU im verarbeitenden Gewerbe entweder zirkuläre Maßnahmen ergriffen hat oder dies plant, liegt der Fokus bislang auf prozessbezogenen innerbetrieblichen Optimierungsmaßnahmen. Überbetriebliche Maßnahmen im Verbund mit weiteren Wertschöpfungspartnern werden bisher überwiegend nur von größeren KMU ergriffen. Seltener werden zirkuläre Maßnahmen genutzt, die direkt auf das Produkt eingehen. Dabei liegen hier große Potenziale zur Ermöglichung und Verbesserung der Kreislaufführung von Produkten und/oder Materialien. Auch gibt es noch Verbesserungspotenzial beim Einsatz neuer und recycelter Rohstoffe. Hilfreich wäre, wenn mehr Unternehmen die Kreislaufführung ihrer Ressourcen systematisch erfassen und strategisch managen würden. Der digitale Informationsaustausch könnte hier weitere Ressourceneffizienzpotenziale heben.

Ziel: Um vorhandene Ressourceneffizienzpotenziale zu heben, gilt es, das Bewusstsein für zirkuläre Strategien in Unternehmen zu stärken, damit für die Unternehmensprozesse passende zirkuläre Maßnahmen implementiert werden. Zu diesem Zielbild gehört es, adäquate Anreize für Unternehmen zu schaffen, auf zirkuläre Produktionsprozesse und Produkte zu setzen und zum Teil ihrer Unternehmensstrategie zu machen. Das kann über eine Stärkung der Nachfrage, aber auch über flankierende Unterstützungsmaßnahmen stattfinden. Dazu zählt, dass die wissenschaftliche Erforschung neuartiger zirkulärer Produkte und/oder Dienstleistungen stattfindet und ein schneller Transfer in die Unternehmenspraxis erfolgt.

Politik

(1) Öffentliche Hand: Nachfrage für zirkuläre Produkte und Dienstleistungen schaffen

Die öffentliche Hand sollte in ihrer Rolle als großer Nachfrager nach Produkten und Dienstleistungen eine Vorbildfunktion sowie eine Vorreiterrolle einnehmen und Anreize für Unternehmen schaffen, ihre Geschäftsmodelle über ihre Prozesse, Produkte und Dienstleistungen zirkulärer zu gestalten. Dazu können bei der Vergabe öffentlicher Aufträge die Ausschreibungen zugunsten von Produkten und Dienstleistungen formuliert werden, die nach zirkulären Prinzipien (z. B. gemäß den 10-R-Strategien) hergestellt bzw. erbracht werden. Politisch sollte es das Ziel sein, zirkuläre Geschäftsmodelle im Rahmen öffentlicher Ausschreibungen zu begünstigen. Das bedeutet, dass es der öffentlichen Hand ermöglicht wird, gebrauchte, wiederaufbereitete oder recycelte Produkte zu kaufen oder auch Produkt-as-a-Service-Angebote in Anspruch zu nehmen.

(2) Wissenstransfer und Vernetzung zur Selbstbefähigung mit geringen Einstiegshürden organisieren

Damit mehr KMU im verarbeitenden Gewerbe zirkuläre Strategien, die damit verbundenen zirkulären Maßnahmen und dafür notwendigen Investitionen jenseits prozessbezogener innerbetrieblicher Optimierungsmaßnahmen umsetzen, müssen Unternehmen die Anforderungen an die Kreislauffähigkeit sowohl auf der Prozessebene (inner- und überbetrieblich) als vor allem aber auch auf der Produktebene noch besser verstehen und die Möglichkeiten der Digitalisierung kennenlernen. Dies kann in den Unternehmen auf verschiedenen Wegen geschehen: durch Best-Practice-Beispiele, passgenaue Weiterbildungs-, Beratungs- und Informationsangebote, aber auch Selbstchecks für Unternehmen. Da es bereits einige Angebote gibt, sollten diese im Idealfall über eine zentrale Website noch besser gebündelt und verzahnt werden. Vorhandene Kompetenzzentren im Bereich Ressourceneffizienz wie das VDI ZRE, aber auch im Bereich Digitalisierung wie Mittelstand-Digital bieten hier eine gute Grundlage, um

relevante Netzwerke für Unternehmen zu nutzen und auszubauen. Das auf europäischer Ebene im Aufbau befindliche Europäische Circular Economy Knowledge Hub¹⁵¹ könnte ggf. weitere Förder-, Beratungs- und Informationsangebote zur Verfügung stellen. Wichtig ist, dass bei der Konkretisierung dieses Zentrums die relevanten Stakeholder und Stakeholderinnen auf nationaler Ebene in dieses europäische Vorhaben einbezogen werden.

(3) Zirkuläre Geschäftsmodelle über Sensibilisierung, Bildung und Forschungsförderung stärken

Für zirkuläre Produkte, Prozesse sowie Geschäftsmodelle müssen bestehende Marktstrukturen neu gedacht werden. Allerdings ist die Mehrheit der KMU im verarbeitenden Gewerbe noch nicht so weit, da selten disruptive zirkuläre Maßnahmen vorgenommen werden.

Hier gilt es, im ersten Schritt die Unternehmen für das Thema zu **sensibilisieren**, indem u. a. die Vorteile zirkulärer Geschäftsmodelle stärker in der öffentlichen Kommunikation herausgestellt und Best-Practice-Beispiele prominent präsentiert werden. Dazu sollten eigene Interaktionsformate, wie z. B. die Nachhaltig Digital Community oder das Netzwerk Ressourceneffizienz (NeRess) des BMUV, sowie Veranstaltungen von externen Multiplikatoren, wie z. B. Effizienzagenturen der Länder oder Fachverbänden, aktiv für die Ansprache genutzt werden.

In einem zweiten Schritt gilt es, in KMU des verarbeitenden Gewerbes das Bewusstsein für die Themen Zirkularität und Ressourceneffizienz weiter zu schärfen, indem entsprechende **Weiterbildungsangebote** gezielt gefördert werden. Bestehende Qualifizierungs- und Weiterbildungsangebote können intensiver um Themen zirkulären Wirtschaftens erweitert werden. Dafür können auch Kooperationen mit innovativen Start-ups sinnvoll sein, da diese stärker in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken

¹⁵¹ Vgl. <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/knowledge-hub>

integriert sind. Sinnvoll wäre hier eine **Förderung** solcher early adopters im Rahmen bestehender Start-up-Förderprogramme.

Darüber hinaus müssen Lehrpläne in der Schule und Ausbildung, aber auch in Hochschulen in Richtung Zirkularität ausgebaut und Lehrkräfte entsprechend weitergebildet werden, damit künftige Fachkräfte zur Umsetzung eines zirkulären Geschäftsmodells befähigt werden. Hierfür sollten einschlägige Netzwerke, wie z. B. das BilRes Netzwerk, durch gezielte Förderung gestärkt werden.

Industrie

(1) Zirkularität im Unternehmen strategisch, ganzheitlich und vernetzt angehen

Aktuell fehlen den Unternehmen häufig Informations- und Beratungsmöglichkeiten zu Kosten, Zielgrößen und Nutzen. Kreisläufe von Rohstoffen, Materialien sowie Produkten und Produktteilen lassen sich in Unternehmen unterschiedlich realisieren. Es können zirkuläre Maßnahmen zunächst umgesetzt werden, die nur einen niederschweligen Eingriff in das Geschäftsmodell auslösen. Auch besteht die Möglichkeit, dass mehrere Unternehmen miteinander kooperieren, um eine ganzheitliche zirkuläre Strategie zu verfolgen. In einer Kreislaufwirtschaft wird die unternehmensübergreifende Vernetzung in der Wertschöpfungskette zentral. Hierzu sind eine Zusammenarbeit und ein intensiver Austausch der verschiedenen Akteure entlang der Wertschöpfungskette von Produkten und darüber hinaus essenziell. Grundvoraussetzung für solche Schritte ist jedoch, dass Zirkularität und Ressourceneffizienz zu zentralen Zielgrößen für die unternehmerische Erfolgsmessung werden und mögliche Wechselwirkungen ganzheitlich mit anderen strategischen Zielgrößen bewertet werden. Hierfür müssen in den Unternehmen entsprechende zirkuläre Strategien entwickelt werden, um passende zirkuläre Maßnahmen innerhalb des Unternehmens zu etablieren bzw. auch mit anderen Unternehmen gemeinsame Lösungen zu entwickeln und Schnittstellen einzurichten.

Für eine bessere Vernetzung empfiehlt es sich, sich an relevanten Netzwerken und bestehenden Plattformen zu beteiligen. Hier bietet z. B. das VDI ZRE mit seinen Netzwerkformaten (z. B. NeRess, BilRess, Industrieclub) und seinen Kooperationen mit Multiplikatoren eine zentrale Anlaufstelle auf Bundesebene. Weiterhin stellen u. a. Effizienzagenturen, IHKs und regionale Wirtschaftsförderungen zahlreiche Hilfsangebote auf Landes- und regionaler Ebene zu Verfügung.

(2) Den Wandel zu einer zirkulären Wirtschaft proaktiv angehen

Mit kreislauffähigen Produkten und Produktionsprozessen können sich Unternehmen als Vorreiter am Markt positionieren. KMU im verarbeitenden Gewerbe sollten zunächst prüfen, ob ein geändertes bzw. neues Geschäftsmodell mit zirkulären Maßnahmen für ihr Produktangebot zukunftsweisend ist. Vorhandene Beratungsangebote wie das vom BMBF geförderte Lotsensystem von KMU-innovativ bieten hier Optionen einer Erstberatung sowie Fördermöglichkeiten, auch speziell zum Thema Ressourceneffizienz und Circular Economy. Ein niederschwelliges Angebot ist das Unternehmensstrategiespiel „Make it circular“ von acatech und WWF Deutschland, das die Möglichkeit bietet, das eigene Geschäftsmodell in Workshops stärker auf Circular Economy auszurichten.

Um sich über Best-Practice-Beispiele zu informieren, sind unter anderem umfassende Sammlungen mit Gute-Praxis-Beispielen sowie das Innovationsradar des VDI ZRE hilfreich. Kooperationen mit innovativen Start-ups können auch ein Weg sein, um neue Ideen zu entwickeln. Das Innovationsnetzwerk CIRCULAR REPUBLIC als Teil von UnternehmerTUM bietet hier nicht nur den Zugang zu einem passenden Start-up-Ökosystem, sondern unterstützt die Vernetzung und treibt zirkuläre Innovationen voran. Letztlich stellt die Digitalisierung auch weitere Möglichkeiten bereit, um datengetriebene nutzungs- und ergebnisorientierte Dienstleistungsgeschäftsmodelle wie Miet-/Sharingkonzepte oder Zahlung der Nutzung anstelle des Kaufs eines Produkts (Pay-per-Use) zu entwickeln.

(3) Eigenes Know-how im Unternehmen zum Thema Zirkularität und Ressourceneffizienz aufbauen

KMU im verarbeitenden Gewerbe müssen diejenigen Stellen in ihren Prozessen oder auch bei ihren Produkten identifizieren, bei denen sie die höchsten Einsparmöglichkeiten sehen. Unternehmen müssen sich über die Analyse des Status quo der Produkt- und Geschäftsprozesse, beispielsweise über ein Life Cycle Assessment, selbst in die Lage versetzen, zu entscheiden, welche zirkulären Ziele und Maßnahmen für das Unternehmen relevant sind. Dabei können auch über die digitale Verknüpfung von Daten an unterschiedlichen Stufen des Produktlebenszyklus hier die Kenntnisse und Transparenz der betrieblichen Abläufe verbessert und so Einsparpotenziale ermittelt werden.

Die Umsetzung zirkulärer Maßnahmen ist eine Querschnittsaufgabe und erfordert sehr unterschiedliche Kenntnisse an verschiedenen Stellen im Unternehmen. Damit es dabei nicht am notwendigen Know-how fehlt, müssen im Unternehmen ein entsprechendes Fachwissen und Verständnis für die wesentlichen Prinzipien der Ressourceneffizienz sowie Zirkularität auf- bzw. ausgebaut werden. Über entsprechende Weiterbildungen kann im Unternehmen das Bewusstsein für diese Themen gestärkt werden. Zusätzlich benötigen Unternehmen Fachkräfte, die über die Kompetenzen zu möglichen zirkulären Lösungen und damit verbundenen Technologien verfügen.

Wissenschaft

(1) Transfer von Wissen und Technologien in die Praxis beschleunigen

Innovationen sind ein zentrales Element für den Übergang zu einer zirkulären Wirtschaft, damit neue bzw. veränderte Produkte, Dienstleistungen, Prozesse und Geschäftsmodelle entstehen und sich gegen das Bestehende durchsetzen. In einem solchen Innovationssystem sind Akteure und Netzwerke, Institutionen sowie Wissen und Technologie Kernelemente. Dabei haben Hochschulen und außeruniversitäre Forschungsein-

richtungen einen wichtigen Auftrag, diesen Transfer von Wissen und Technologien umzusetzen. Dafür sollten diese in den Unternehmen ihrer Region zunächst den Bedarf und die Herausforderungen ermitteln, um passende Transferangebote für zirkuläre Maßnahmen zu entwickeln. Neben der Möglichkeit von Forschungsk Kooperationen sind auch die Gründungszentren oder die Zusammenarbeit mit Unternehmen im Bereich Studium und Lehre für einen Transfer hilfreich. Im Rahmen von Gründungsförderungen von Hochschulen und Forschungsinstituten kann hier ein Schwerpunkt auf zirkuläre Maßnahmen gesetzt werden.

(2) Kreislauffähiges Produktdesign über Forschungsk Kooperationen stärken

Hinsichtlich der Kreislauffähigkeit von Produkten gibt es noch Verbesserungspotenzial. Das Produktdesign kann hierbei eine große Hebelwirkung entfalten, da in dieser Phase die späteren Produkteigenschaften maßgeblich definiert werden, so z. B. auch die Reparierbarkeit und Demontierbarkeit. Ebenfalls bestehen noch bei dem Einsatz recycelter Materialien und nachwachsender Rohstoffe große Verbesserungspotenziale in den Unternehmen. Für eine umfassende Kreislaufführung müssen in der Materialforschung Konzepte wie Wiederverwendung, -aufbereitung und -verwertung berücksichtigt werden. Hierfür sind grundlegende Material- und Prozessinnovationen beispielsweise auch bei der Entwicklung hochwertiger Sekundärrohstoffe, aber ebenso langlebiger sowie reparierbarer Materialien notwendig. Diese Forschungsanstrengungen können in Forschungsk Kooperationen mit Unternehmen stattfinden. Auch gilt es, diese Innovationen schnell zur Marktreife zu bringen.

(3) Neuartige zirkuläre Produkt-Service-Systeme entwickeln und erproben

Bei der Entwicklung zirkulärer Geschäftsmodelle können neuartige Formen von Produkten und Dienstleistungen bzw. neue Kombinationen die Grundlage bilden. Solche Produkt-Service-Systeme sind bereits seit längerem Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen und können je nach Anforderungen der Kundschaft produkt-, nutzungs- oder ergebnisorientiert ausgeprägt sein.

Damit innovative zirkuläre Geschäftsmodelle in Form von Produkt-Service-Systemen häufiger genutzt werden, müssen existierende Konzepte kontinuierlich an technologische und gesellschaftliche Veränderungen angepasst werden. Insbesondere müssen Service-Modelle systematisch erforscht und praxisnah erprobt werden, die eine längere Produktnutzung z. B. durch Wiederverwendung, Reparatur oder Produktrückführung ermöglichen. Forschungsk Kooperationen zwischen Unternehmen und Hochschulen bzw. außeruniversitären Forschungsinstitutionen könnten hierbei ein probates Format sein. Dabei geht es einerseits darum, Chancen-Risiken-Bewertungen solcher zirkulären Geschäftsmodelle tiefergehend zu untersuchen, aber auch die Akzeptanz und den Nutzen bei möglichen Kunden und Kundinnen besser zu evaluieren. Hierfür müssten Analysen zu den Marktpotenzialen und möglichen Zielgruppen noch intensiver untersucht werden.

6.2 Handlungsfeld 2: Stärkung der Nutzung digitaler Technologien für zirkuläre Maßnahmen

Handlungsbedarf: Digitale Technologien haben das Potenzial, Produktionsprozesse oder auch Produkt- und Dienstleistungssysteme anzupassen und die Ressourceneffizienz zu steigern. Allerdings ist die Digitalisierung für die Umsetzung zirkulärer Maßnahmen bislang in den meisten Unternehmen noch nicht bedeutend – zugleich fehlen in der Mehrzahl der Unternehmen die Kompetenzen zum grundsätzlichen Umgang mit Daten, der eine Voraussetzung für viele digital gestützte zirkuläre Maßnahmen ist.

Allerdings ist den meisten Unternehmen die Notwendigkeit des Umgangs mit Daten im Kontext einer Circular Economy durchaus bewusst, sie werden jedoch durch mangelndes Wissen und fehlende Fachkräfte, nicht vorhandene Komplettlösungen für den Umgang mit Daten und fehlende Informationen oder Beratung gehemmt.

Ziel: Vor diesem Hintergrund kommt einer Unterstützung von Unternehmen bei der Umsetzung digitaler Lösungen eine wichtige Rolle zu. Ziel sollte es sein, Unternehmen zu befähigen, mit Daten umzugehen und diese als Basis für zirkuläre Maßnahmen einsetzen zu können. Zu diesem Zielbild gehört auch, dass die Rahmenbedingungen – wie etwa die digitale Infrastruktur und der regulatorische Rahmen – passend gestaltet und angewendet werden, um die vorhandenen Risiken der Digitalisierung und des Datenaustauschs für Unternehmen zu minimieren.

Politik

(1) Modernisierung der digitalen Infrastruktur vorantreiben

Das deutsche Breitbandnetz wurde zuletzt deutlich verbessert, die Anzahl an unterversorgten Gebieten vor allem im ländlichen Raum reduziert und die verfügbare Geschwindigkeit verbessert. Der technische Fortschritt und die verstärkte Umsetzung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen führen zur intensiveren Nutzung der vorhandenen digitalen Infrastruktur (z. B. durch höheren Datendurchsatz) und stellen zugleich neue Anforderungen an diese (z. B. höhere Bandbreiten und geringere Latenzzeiten für Echtzeitanwendungen). Daher muss die digitale Infrastruktur als Rückgrat der Digitalisierung konsequent ausgebaut und weiterentwickelt werden. Politisch sollte es das Ziel sein, den flächendeckenden Ausbau von Glasfaser, 5G und später 6G dort finanziell anzureizen, wo es keine Marktlösung gibt. Darüber hinaus gilt es, insbesondere bürokratische Hürden zum Netzausbau weiter zu senken.

(2) Rahmenbedingungen der Datenbewirtschaftung verbessern

Damit mehr Unternehmen Daten bewirtschaften und damit die Grundlage für den Einsatz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen legen, sollte die Politik die Rahmenbedingungen dafür verbessern. Hemmnisse bestehen hier vor allem in der Kenntnis der Rechtslage und der praktischen Umsetzung etwa des Datenaustauschs.

Eine geeignete Politikmaßnahme zu deren Überwindung liegt in der Bereitstellung von Informationen, vor allem für KMU, zum Rechtsrahmen der Datenbewirtschaftung, der KMU oftmals nicht präsent ist und dessen Anwendung daher als Hürde wahrgenommen wird. Auch Best-Practice-Beispiele im Umgang mit Daten können dazu beitragen, diese Hürde zu überwinden. Zu den geeigneten Politikmaßnahmen könnten ebenso Checklisten für den Umgang mit neuen EU-Gesetzen, wie dem KI-Gesetz (AI Act¹⁵²) oder dem Datengesetz (Data Act¹⁵³), gehören, um gerade KMU die Compliance zu erleichtern und die Rechtssicherheit zu erhöhen. Der Datenaustausch ließe sich direkt über die Zurverfügungstellung von allgemeinen und sektorspezifischen Musterverträgen und Muster-AGB zur Datennutzung und Datenweitergabe sowie über allgemeine und sektorspezifische Vertragsgeneratoren incentivieren, weil diese den Aufwand für die Unternehmen und damit eine wesentliche Hürde signifikant verringern.

(3) Digitale Bildung in Schulen stärken

Ein wesentlicher Engpass bei der Umsetzung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen besteht in der mangelnden Verfügbarkeit von Fachkräften. Es ist aufgrund der demografischen Entwicklung absehbar, dass sich dieses Problem weiter verschärfen wird. Eine wichtige mittel- bis langfristige politische Maßnahme besteht daher in der Stärkung der digitalen Bildung in Schulen.

¹⁵² Vgl. Europäische Kommission (2024a).

¹⁵³ Vgl. Europäische Kommission (2024b).

Darunter ist zum einen eine Zunahme des konkreten Umgangs mit der Technologie gemeint, etwa in Form von digitalen Unterrichtseinheiten oder dem Einsatz von Tablets im Unterricht. Dies erfordert für alle Schulen einen Internetzugang, geeignete Soft- und Hardware sowie Kenntnisse im Umgang damit beim Lehrpersonal. Zum anderen ist es entscheidend, auch inhaltliche Kompetenzen in Bezug auf digitale Technologien im Unterricht zu vermitteln, z. B. durch einen flächendeckenden, eventuell verpflichtenden mehrjährigen Informatikunterricht. Aber auch in anderen Fächern sollten digitale Kompetenzen, wie etwa Datenschutz und Sicherung der Privatsphäre, gelehrt werden, um die Fachkräfte von morgen optimal auf die Zukunft vorzubereiten.

Industrie

(1) Digitale Transformation im Unternehmen strategisch angehen

Die digitale Transformation sollte für Unternehmen als strategisches Thema wahrgenommen werden, das eine erhebliche Komplexität aufweist und daher ein strukturiertes Vorgehen erfordert. Einzelne digitale Pilotprojekte können zwar ein erster Schritt sein, mittelfristig ist jedoch ein koordiniertes und ganzheitliches Vorgehen in den verschiedenen Unternehmensbereichen und auf den verschiedenen Ebenen notwendig. Auf diese Weise ist eine synergetische Verknüpfung zirkulärer Maßnahmen mit digitaler Technologie möglich, so dass das Kosten-Nutzen-Kalkül auch tatsächlich zugunsten des Nutzens ausfallen kann. Dies erfordert ein Commitment des obersten Managements und einen Change-Prozess, der die Mitarbeitenden einbindet. Die Unterstützung der Mitarbeitenden ist bei der Umsetzung digitaler Projekte im Unternehmen wesentlich.

(2) Vernetzung als Chance wahrnehmen

Digitalisierung ist für alle Unternehmen relevant, jedoch ist ihr Status quo in dieser Hinsicht sehr unterschiedlich. Dies bietet eine große Chance, weil Unternehmen miteinander im Rahmen von Wertschöpfungsnetzwerken verbunden oder auch darüber hinaus vernetzt sind. Es lassen sich

Erfahrungen austauschen, Misserfolge und Erfolge teilen und es kann voneinander gelernt werden. Dies ist umso wichtiger, da die digitale Transformation aufgrund fehlender Standards und Komplettlösungen mit großen Risiken verbunden sein kann, die sich durch den Austausch mit anderen (betroffenen) Unternehmen reduzieren lassen.

(3) Partizipation in Standardisierungsgremien nutzen

Das Fehlen industrieweiter digitaler Standards stellt für KMU eine Herausforderung dar, da damit das Risiko für Unternehmen steigt, in digitale Technologien und/oder Maßnahmen zu investieren, die sich im Nachhinein als ungeeignet herausstellen. Befürchtungen der Unternehmen zu möglichen Lock-in-Effekten, hohen nachträglichen Anpassungskosten und ähnlichen negativen Folgen können zu einer sinkenden Investitionsbereitschaft führen. Unternehmen haben aber über die Beteiligung an Standardisierungsgremien die Chance, selbst an der Setzung neuer Standards mitzuwirken und diese nach den eigenen Anforderungen mitzugestalten. Es ist wichtig, dass sich deutsche Unternehmen, durchaus auch KMU, hier aktiv einbringen, damit ihre Interessen und Anforderungen in den internationalen Standards entsprechende Berücksichtigung finden.

Wissenschaft

(1) Kooperationen zwischen Wissenschaft und Praxis in Bezug auf digitale Technologien stärken

Eine Stärke der deutschen Forschungslandschaft besteht in der Zusammenarbeit von Hochschulen, Forschungsinstitutionen und Unternehmen. Derartige Kooperationen sollten insbesondere in Themen digitaler Technologien, wie Datenbewirtschaftung, Cloud, künstliche Intelligenz oder Quantencomputing, noch weiter ausgebaut werden. Insbesondere sollten KMU verstärkt in Forschungsk Kooperationen eingebunden werden, um einen niederschweligen Zugang zu relevanten Technologien zu erhalten und an deren Weiterentwicklung mitwirken zu können. Zwar wurde hier auch in der Vergangenheit schon zahlreich zusammengearbeitet, es gilt

nun aber, gleichfalls Unternehmen ohne Hochschulkooperationshistorie einzubinden und solche Möglichkeiten aktiv zu forcieren.

(2) Forschungsergebnisse zu digitalen Technologien einfach zugänglich machen

Für Unternehmen, die nicht direkt mit einer Forschungseinrichtung kooperieren, sind die Forschungsergebnisse oft nicht unmittelbar zugänglich. Dies liegt zum einen an der Publikation von Forschungsergebnissen in wissenschaftlichen Zeitschriften, die häufig nicht frei zugänglich sind. Zum anderen werden die Veröffentlichungen auf ein akademisches Publikum zugeschnitten, so dass die Ergebnisaufbereitung eher praxisfern erfolgt. Hier sollte sich die Wissenschaft um eine differenzierte Aufbereitung und Bereitstellung relevanter Forschungsergebnisse zu digitalen Technologien bemühen, um verschiedenen Zielgruppen den Zugang zu diesem Wissen zu vereinfachen. Wesentlich ist hier die Erreichbarkeit bislang noch für derartiges Wissen unerschlossener Zielgruppen in der Unternehmenslandschaft.

(3) Durchlässigkeit zwischen Wissenschaft und Praxis erreichen

Die Problematik des fehlenden Fachwissens oder der fehlenden Fachkräfte in Unternehmen für digital gestützte zirkuläre Maßnahmen lässt sich auch über eine stärkere Durchlässigkeit zwischen Wissenschaft und Praxis angehen. Der Übergang von Expertinnen und Experten aus Forschungseinrichtungen in die Unternehmen bietet die Chance, neuestes Wissen zu digitalen Technologien in die Praxis zu tragen und Engpässe abzumildern. Auch der Wechsel aus der Praxis in die Wissenschaft hat Vorteile: Die Praxisrelevanz der Forschung kann so erhöht werden, wovon wiederum die Unternehmen wie auch die Forschungseinrichtungen profitieren könnten. Im Kern ist bei Forschungseinrichtungen somit ein höherer Stellenwert von Praxiserfahrung bei der Personalpolitik hilfreich.

6.3 Handlungsfeld 3: Verbesserung der Mess- und Bewertbarkeit der Zirkularitätseffizienz

Handlungsbedarf: Einige Unternehmen erkennen positive Auswirkungen digital gestützter zirkulärer Maßnahmen auf die Ressourceneffizienz in ihrem Unternehmen. Dennoch existiert ein hoher Prozentsatz an KMU, der keine Veränderungen durch den Einsatz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen feststellt. Insgesamt verdeutlicht die Unternehmensbefragung, dass die Mehrheit der Unternehmen die Auswirkungen ihrer implementierten digital gestützten zirkulären Maßnahmen nicht bewerten kann. Folglich ist es von zentraler Bedeutung für KMU, dass es Möglichkeiten und Tools zur Messung der Zirkularitätseffizienz gibt.

Ziel: Das übergeordnete Ziel der in diesem Kapitel vorgestellten Handlungsempfehlungen muss es entsprechend sein, besser über den Aufwand bezogen auf natürliche Ressourcen, Kapital und Personal und den Nutzen digital gestützter zirkulärer Maßnahmen zu informieren bzw. die bereitgestellten Informationen umzusetzen. Für die Politik bedeutet dies, dass Informationsangebote, Orientierungshilfen und Standards zur Messung etabliert werden sollten. Unternehmen können diese Angebote nutzen und im Unternehmen implementieren. Voraussetzung dafür ist, dass sie Ressourcen strukturiert und zielgerichtet managen und dazu Kooperationen mit anderen Unternehmen entlang der Wertschöpfung eingehen. Die Wissenschaft kann einen Beitrag zur Umsetzung dieses Ziels leisten, indem sie die Zirkularitätsmessung weiterentwickelt und praxisnahe Tools erstellt, die von Unternehmen eingesetzt werden können, um so die Hürden in den Einstieg der Zirkularitätsmessung zu reduzieren.

Politik

(1) Standards und Orientierungshilfen einführen

Um die Effizienz zirkulärer Maßnahmen besser bewerten zu können, sollte die Politik die Entwicklung und Einführung einheitlicher Standards und Orientierungshilfen forcieren. Konkret bedeutet dies, dass Methoden zur

Messung der Zirkularität klar benannt und definiert werden. Die Politik sollte hierfür im ersten Schritt mit Expertinnen und Experten aus Wissenschaft und Industrie zusammenarbeiten, um praxisnahe und realistisch umsetzbare Kriterien zu entwickeln, die Unternehmen als Grundlage und Orientierungshilfe für ihre eigenen Bewertungen nutzen können. Anschließend können diese Kriterien in einheitliche Standards überführt werden, die zusätzlich Vorgehensmodelle definieren.

Unternehmen, die ihren Zirkularitätsgrad bereits messen und eigene Bewertungsansätze dazu nutzen, sollten befähigt werden, diese an die Standards zur Messung der Zirkularitätseffizienz zu adaptieren, um die Hürden hier möglichst gering zu halten. Diese einheitlichen Standards ermöglichen eine bessere Vergleichbarkeit zwischen Unternehmen und Branchen und schaffen Transparenz.

(2) Vernetzung von Informations- und Beratungsangeboten intensivieren

Die Politik sollte die Vernetzung von Beratungsangeboten zu den Themenfeldern Ressourceneffizienz und Industrie 4.0 mit Angeboten hinsichtlich Bewertungsmethoden intensivieren. Durch den Ausbau und die Förderung solcher Angebote können Unternehmen, insbesondere kleine und mittelständische Betriebe, besser über den Nutzen digital gestützter zirkulärer Maßnahmen informiert und bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen und deren Implementierung unterstützt werden. Es gibt sowohl im Themenfeld Industrie 4.0 als auch im Themenfeld Ressourceneffizienz Informations- und Beratungsangebote für KMU auf Bundes- und Landesebene. Zu nennen sind hier beispielsweise die Zentren im Netzwerk Mittelstand-Digital und das VDI ZRE mit seinen unterschiedlichen Werkzeugen und Informations- und Qualifizierungsangeboten.

Diese und weitere bestehende Beratungsangebote müssen aber stärker miteinander verknüpft und um Angebote zu Bewertungsmethoden erweitert werden, damit eine synergetische Betrachtung möglich wird. Ziel sollte es sein, umfassende, aber sehr spezifische Informations- und Bera-

tungsangebote bereitzustellen, die ausreichend praxisnah sind, um Unternehmen bei der Implementierung und Optimierung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen zu unterstützen.

(3) Forschungsförderung auf die Verknüpfung von digitalen Technologien und Zirkularität ausrichten

Komplementär zu den Empfehlungen in Handlungsfeld 2 sollte die Politik die Forschungsförderung gezielt auf die Verknüpfung von digitalen Technologien und Maßnahmen zur Ressourcenschonung und Kreislaufführung ausrichten, um den Aufbau einer Datengrundlage für die Bewertung der Zirkularitätseffizienz zu fördern.

Zwar adressiert die Forschungsförderung bereits mit unterschiedlichen Projekten die Themenbereiche Industrie 4.0 und Ressourceneffizienz. Diese beiden Themenbereiche sollten aber auch im Bereich der Forschung enger miteinander verzahnt werden. So sollten spezielle Fragestellungen zur Realisierung der Potenziale vom Einsatz digitaler Technologien für zirkuläre Maßnahmen adressiert werden. Ein Beispiel für ein derartig ausgerichtetes Förderprogramm ist das Programm "Digitale Anwendungen zur Steigerung der Ressourceneffizienz in zirkulären Produktionsprozessen (DigiRess)" des BMUV.

Industrie

(1) Ressourcenmanagement im Unternehmen einführen

Unternehmen sollten ein umfassendes Ressourcenmanagement einführen, um Einsparpotenziale durch den Einsatz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen zu identifizieren. Bislang gibt es sehr viele KMU, die ihren Ressourceneinsatz nicht oder nur zum Teil messen. Ein solches Ressourcenmanagement bedingt eine Analyse des Status quo und ermöglicht es anschließend, den Verbrauch von Rohstoffen und Materialien systematisch zu erfassen und zu analysieren. Dies ist wichtig, um beispielsweise die Gesamteffekte der Anwendung digital gestützter zirkulärer Maßnahmen sowie das Zusammenspiel unterschiedlicher Maßnahmen als Ganzes

abbilden und abschätzen sowie den Einsatz besagter Maßnahmen zielgerichtet und effektiv planen zu können.

Durch die Ermittlung von Ineffizienzen und Verschwendungsquellen können gezielte Maßnahmen zur Reduzierung des Ressourcenverbrauchs und zur Steigerung der Effizienz entwickelt werden. Zusätzlich zur Steigerung und Messbarmachung der Zirkularitätseffizienz kann ein Ressourcenmanagement zur Kostensenkung beitragen und somit die Aufwand-Nutzen-Relation der digital gestützten zirkulären Maßnahmen für Unternehmen verbessern.

(2) Digitale Systeme zur Datenerfassung und -auswertung nutzen

Um den Ressourcenverbrauch kontinuierlich zu überwachen und zu optimieren, sollten Unternehmen Systeme zur Datenerfassung und -analyse implementieren. Dies umfasst sowohl Systeme zum Datenaustausch im Unternehmen als auch Systeme zur Ermöglichung des Datenaustauschs über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg.

Zu den innerbetrieblichen Systemen zählen digitale Anwendungen, die bei betrieblichen Prozessen im Rahmen der Kreislaufführung zur Anwendung kommen oder diese ermöglichen. Von besonderer Bedeutung ist der Datenaustausch über Unternehmensgrenzen hinweg. Ziel ist es, beispielsweise Prozesse zu optimieren und durch entsprechende Daten zu verwenden Materialien die Wiederverwertung zu erleichtern. Diese Informationssysteme sind insofern wichtig, da sie die Effektivität und Effizienz einzelner Maßnahmen durch eine entsprechende Koordinierung und ein Monitoring erhöhen.

(3) Kooperativen Austausch pflegen und relevante Daten bereitstellen

Die Industrieunternehmen sollten im Rahmen der bestehenden regulatorischen Anforderungen wichtige Daten und Informationen zur Verfügung stellen und einen kooperativen Austausch zu anderen Unternehmen unterstützen. Voraussetzung hierfür ist die Sicherstellung des Datenschutzes. Dieser Austausch von Daten und Informationen kann die Mess- und

Bewertbarkeit zirkulärer Maßnahmen verbessern und darüber hinaus Geschäftsmodellinnovationen fördern, so dass sie mehr auf die Ressourceneffizienz und Umsetzung von Zirkularität durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen ausgerichtet sind.

Ein wichtiges Instrument für mehr Transparenz in der Wertschöpfungskette wird die Einführung digitaler Produktpässe mit standardisierten Informationen sein. Die darin bereitzustellenden produkt- und prozessbezogenen Daten bilden eine wichtige Grundlage zur Bewertung der Zirkularitätseffizienz von getroffenen Maßnahmen. Allerdings müssen die Unternehmen auch die entsprechenden technischen Anforderungen im Unternehmen erfüllen.

Wissenschaft

(1) Methoden zur Messung der Zirkularitätseffizienz weiterentwickeln

Die Wissenschaft sollte zum einen die bestehenden Methoden zur Messung der Zirkularität weiterentwickeln, um z. B. eine einheitliche Indikatrix zu schaffen, die sowohl allgemein für Unternehmen als auch speziell für KMU anwendbar ist. Die Ergebnisse sollten anschließend in Normungs- und Standardisierungsgremien eingebracht werden, um gemeinsam mit der Industrie und Politik wichtige Rahmenbedingungen zu setzen.

Zum anderen sollte die im Rahmen dieser Studie entwickelte Methode zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen ebenfalls weiterentwickelt werden, um eine objektive Bewertung zu ermöglichen. Das hier vorgestellte Vorgehen sieht die Bewertung einer spezifischen Maßnahme durch eine subjektive Einschätzung vor, da aktuell keine hinreichende Datenlage vorliegt, die eine objektive Bewertung erlaubt. So fehlt es dafür derzeit insbesondere an Daten zu vergleichbaren Maßnahmen innerhalb einer Branche. Zur Erhöhung der Vergleichbarkeit, auch zwischen den Unternehmen, wird somit eine objektive Bewertung empfohlen.

Wie die vorliegende Studie auch aufgezeigt hat, müssen für die Messung der Aufwände digital gestützter Maßnahmen bestehende Bewertungsansätze weiterentwickelt und bestehende Datenbasen erweitert werden, um eine quantitative Bewertung der Zirkularitätseffizienz zu ermöglichen. Erst dieses Vorgehen bietet Unternehmen die Option, die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen zu verstehen. Folglich können sie fundierte Entscheidungen zur Optimierung ihrer zirkulären Maßnahmen und Strategien treffen.

(2) Online-Tool zur Zirkularitätseffizienz (weiter-)entwickeln

Zur Vereinfachung der Messung der Zirkularitätseffizienz bedarf es neben einer standardisierten Methodik auch leicht anwendbarer Tools. Diese sollten Unternehmen ermöglichen, ihre Daten zu der Ressourcennutzung und den getroffenen Maßnahmen unkompliziert einzugeben sowie aussagekräftige Auswertungen zu erhalten. Auf diese Weise kann eine weitere Hürde zur Umsetzung in der Praxis abgebaut werden. Durch eine intuitive Benutzeroberfläche und automatisierte Analysen sollten auch kleinere Unternehmen ohne umfangreiche Ressourcen in der Lage sein, ihre Zirkularität zu messen und zu optimieren.

(3) Gesamte Wertschöpfungskette in die Messung der Zirkularitätseffizienz integrieren

Zur Messung der Zirkularitätseffizienz ist es notwendig, Messmodelle zu entwickeln, die die gesamte Wertschöpfungskette in die Betrachtung integrieren. Dies erfordert die Entwicklung umfassender Modelle, die alle Stufen des Produktions- und Lieferprozesses berücksichtigen, von der Rohstoffgewinnung über die Herstellung bis hin zum Recycling. Dabei können die Messmodelle z. B. auf den Digitalen Produktpass zurückgreifen, um Daten aus verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus zu extrahieren. Erst eine vollständige Integration entlang der gesamten Wertschöpfungskette ermöglicht eine ganzheitliche Bewertung der Zirkularität und die Identifikation globaler Optimierungspotenziale.

LITERATURVERZEICHNIS

acatech, Circular Economy Initiative Deutschland und SYSTEMIQ (2021): Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials.

Amtsblatt der Europäischen Union (2024): Verordnung (EU) 2024/1781 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Ökodesign-Anforderungen für nachhaltige Produkte, zur Änderung der Richtlinie (EU) 2020/1828 und der Verordnung (EU) 2023/1542 und zur Aufhebung der Richtlinie 2009/125/EEU [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401781

Bakalis, D. und Büchel, J. (2024): Datennutzung und Data Sharing: Zwischen Potenzial und Realität in deutschen Unternehmen. In: *IW-Trends*, 51 (2), S. 25 – 43.

Barteková, E. und Börkey, P. (2022): Digitalisation for the transition to a resource efficient and circular economy, OECD Environment Working Papers.

Biebeler, H. (2014): Steigerung der Materialeffizienz in Unternehmen – Bedingungen, Aktivitäten, Hemmnisse und ihre Überwindung, Köln, *IW Analyse*, 98.

Biebeler, H. und Lang, T. (2014): Ressourceneffizienzindikatoren – Darstellung und Bewertung. Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://www.iwkoeln.de/studien/ressourceneffizienzindikatoren.html>

BITC (2022): How Circular? – Measuring and Reporting Circular Economy in Business [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://www.bitc.org.uk/wp-content/uploads/2022/06/bitc-environment-report-measuringreportingcirculareconomy-june2022.pdf>

Bjørnbet, M. M.; Skaar, C.; Fet, A. M. und Schulte, K. Ø. (2021): Circular economy in manufacturing companies: A review of case study literature. In: *Journal of Cleaner Production*, **294**. ISSN 09596526. doi:10.1016/j.jclepro.2021.126268

BMJ (2013): Verordnung über Systeme zur Verbesserung der Energieeffizienz im Zusammenhang mit der Entlastung von der Energie- und der Stromsteuer in Sonderfällen – SpaEfV.

BMU (2020): Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz natürlicher Ressourcen. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.

Bocken, N. M. P.; Pauw, I. de; Bakker, C. und van der Grinten, B. (2016): Product design and business model strategies for a circular economy. In: Journal of Industrial and Production Engineering, 33 (5), S. 308–320. ISSN 2168-1015. doi:10.1080/21681015.2016.1172124

Brändström, J. und Eriksson, O. (2022): How circular is a value chain? Proposing a Material Efficiency Metric to evaluate business models. In: Journal of Cleaner Production, 342, S. 130973. ISSN 09596526. doi:10.1016/j.jclepro.2022.130973

Büchel, J. und Engels, B. (2022a): Datenbewirtschaftung von Unternehmen in Deutschland. In: IW-Trends, 49 (1), S. 73 – 90.

Büchel, J. und Engels, B. (2022b): Viele Unternehmen sind nicht bereit für die Datenwirtschaft, Köln, IW-Kurzbericht, 96.

Büchel, J. und Engels, B. (2023b): Digitalisierungsindex 2022. Stagnation in Zeiten multipler Krisen. Gutachten im Rahmen des Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), Köln.

Büchel, J.; Demary, V.; Goecke, H.; Mertens, A.; Rusche, C. und Wendt, J. M. (2021): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland. Digitalisierungsindex 2020. Gutachten im Rahmen des Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung der Wirtschaft am Standort Deutschland“ im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Köln.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2024): Digital Green-Tech - Umwelttechnik trifft Digitalisierung [abgerufen am: 10.09.2024], verfügbar unter: <https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/DigitalGreenTech.php>

CEIC (2023): Corporate circular target-setting guidance [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: https://pacecircular.org/sites/default/files/2023-02/FV_CEIC_Target%20activation%20guides_17.02.23.pdf

Demary, M. und Demary, V. (2017): The Promise of Blockchain, Köln, IW-Kurzbericht, 1 [abgerufen am: 11.09.2024], verfügbar unter: <https://www.iwkoeln.de/studien/markus-demary-vera-demary-the-promise-of-blockchain-317239.html>

Demary, V.; Engels, B.; Röhl, K.-H. und Rusche, C. (2016): Digitalisierung und Mittelstand – Eine Metastudie. In: Demary IW-Analyse, (109).

Diaz Lopez, F. J.; Bastein, T. und Tukker, A. (2019): Business Model Innovation for Resource-efficiency, Circularity and Cleaner Production: What 143 Cases Tell Us. In: Ecological Economics, 155 (C), S. 20 – 35 [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://ideas.repec.org/a/eee/ecolec/v155y2019icp20-35.html>

econsense (2021): Germany's Transition to a Circular Economy – How to Unlock the Potential of Cross-Industry Collaboration [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: https://econsense.de/wp-content/uploads/2021/06/econsense_ACN_WI_Circular-Economy-Study.pdf

EEA (2016): Circular economy in Europe – Developing the knowledge base, Publications Office of the European Union, Luxembourg, EEA report. No. 2/2016, ISBN 9789292137199.

Ellen MacArthur Foundation (2013): Towards the circular economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition [online] [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://www.ellen-macarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>

Europäische Kommission (2020): Verordnung (EU) 2020/852 über die Einrichtung eines Rahmens zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen und zur Änderung der Verordnung (EU) 2019/2088.

Europäische Kommission (2024a): AI Act [online] [abgerufen am: 10.09.2024], verfügbar unter: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>

Europäische Kommission (2024b): Das Datengesetz tritt in Kraft: Was das für Sie bedeutet [online] [abgerufen am: 10.09.2024], verfügbar unter: https://commission.europa.eu/news/data-act-enters-force-what-it-means-you-2024-01-11_de

Fluchs, S. und Schleicher, C. (2021): Abfallhierarchie – Die Stufen der Kreislaufwirtschaft – Teil 2 der Fact Sheet-Reihe Kreislaufwirtschaft für das Forschungsprojekt SCI4climate.NRW, Köln.

Fluchs, S.; Neligan, A.; Schleicher, C. und Schmitz, E. (2022): Zirkuläre Geschäftsmodelle – Wie zirkulär sind Unternehmen?, Köln, IW-Report, 27/2022.

Geissdoerfer, M.; Savaget, P.; Bocken, N. M. P. und Hultink, E. J. (2017): The Circular Economy – A new sustainability paradigm? In: Journal of Cleaner Production, 143, S. 757 – 768. ISSN 09596526. doi:10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Gillabel, J.; Manshoven, S.; Grossi, F.; Fogh Mortensen, L. und Coscieme, L. (2021): Business Models in a Circular Economy.

Goddin, J.; Marshall, K.; Pereira, A.; Tuppen, C.; Herrmann, S.; Jones, S.; Krieger, T.; Lenges, C.; Coleman, B.; Pierce, C. J.; Iliefski-Janols, S.; Venendaal, R.; Stoltz, P.; Ford, L.; Goodman, T.; Vetere, M.; Mistry, M.; Graichen, F.; Natarajan, A.; Cockburn, D.; Koski, O. und Sullens, W. (2019): Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity, Methodology. Ellen MacArthur Foundation.

Huysman, S.; Sala, S.; Mancini, L.; Ardente, F.; Alvarenga, R. A. F.; Meester, S. de; Mathieux, F. und Dewulf, J. (2015): Toward a systematized framework for resource efficiency indicators. In: Resources, Conservation and Recycling, 95, S. 68 – 76. ISSN 09213449. doi:10.1016/j.resconrec.2014.10.014

IW Köln; IW Consult und WIK-Consult (2020): Mehr Ressourceneffizienz durch Digitalisierung – Handlungsempfehlungen für kleine und mittlere Unternehmen.

Kirchherr, J.; Reike, D. und Hekkert, M. (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. In: Resources, Conservation and Recycling, 127, S. 221 – 232. ISSN 09213449. doi:10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Kristensen, H. S. und Mosgaard, M. A. (2020): A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? In: Journal of Cleaner Production, 243, S. 118531. ISSN 09596526. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118531

Kyrer, A. (2001): Wirtschaftslexikon. 4. Auflage, Oldenbourg Wissenschaftsverlag, Berlin, Boston, ISBN 9783486807608, verfügbar unter: <https://www.degruyter.com/isbn/9783486807608>

Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023): How Circular Are Businesses in Germany? In: Intereconomics, 58 (2), S. 79 – 86. Intereconomics. doi:10.2478/ie-2023-0017

McCarthy, A., R. Dellink and R. Bibas (2018): The Macroeconomics of the Circular Economy Transition: A Critical Review of Modelling Approaches", OECD Environment Working Papers, No. 130, OECD Publishing, Paris [online][abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1787/af983f9a-en>

Müller-Stewens, G. (2018): Definition: Strategie [online], 2018 [abgerufen am: 23.01.2024], verfügbar unter: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/strategie-43591>

Naisbitt, J. (2015): "Der Horizont reicht meist nur bis zum nächsten Wahltag." – Interview mit John Naisbitt. In: Aus Politik und Zeitgeschichte, 65 (31-32), S. 3 – 6.

Neligan, A. (2018): Digitalisation as Enabler Towards a Sustainable Circular Economy in Germany. In: Intereconomics, 53 (2).

Neligan, A.; Baumgartner, R. J.; Geissdoerfer, M. und Schöggli, J.-P. (2022): Circular disruption: Digitalisation as a driver of circular economy business models. In: Business Strategy and the Environment, 32 (3), S. 1175 – 1188. ISSN 0964-4733. doi:10.1002/bse.3100

Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021a): Digitalisierung als Enabler für Ressourceneffizienz in Unternehmen (Hauptbericht) – Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Köln.

Neligan, A.; Engels, B.; Schaefer, T.; Schleicher, C.; Fritsch, M.; Schmitz, E.; Wiegand, R. und Arnold, R.C.G. (2021b): Digitalisierung als Enabler für Ressourceneffizienz in Unternehmen (Anhang) – Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie - Anhang, Köln.

Neligan, A.; Lichtenthäler, S. und Schmitz, E. (2023a): Produkte und Dienste für eine zirkuläre Wirtschaft – Ergebnisse aus dem IW-Zukunftspanel, IW-Report, 16/2023.

Neligan, A.; Schleicher, C.; Engels, B. und Kroke, T. (2023b): Digitaler Produktpass – Enabler der Circular Economy – Relevanz und Umsetzbarkeit durch Unternehmen, Berlin, Köln, IW-Report, 47.

OECD (2019a): Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy, Paris [online][abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter:<https://doi.org/10.1787/g2g9dd62-en>

OECD (2021): The OECD Inventory of Circular Economy indicators, Paris [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://www.oecd.org/cfe/cities/InventoryCircularEconomyIndicators.pdf>

Oliveira, C. T. de; Dantas, T. E. T. und Soares, S. R. (2021): Nano and micro level circular economy indicators: Assisting decision-makers in circularity assessments. In: Sustainable Production and Consumption, **26**, S. 455 – 468. ISSN 23525509. doi:10.1016/j.spc.2020.11.024

Potting, J.; Hekkert, M.; Worrell, E. und Hanemaaijer, A. (2017): Circular Economy: Measuring Innovation in the Product Chain, The Hague [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://cemc.org.uk/wp-content/uploads/2023/04/InventoryCircularEconomyIndicators.pdf>

REZ Bayern (o. J.): Readiness-Check: Ressourceneffizienz [online] [abgerufen am: 28.05.2024], verfügbar unter: <https://www.umweltpakt.bayern.de/werkzeuge/readinesscheck/>

Rossi, E.; Bertassini, A. C.; Ferreira, C. d. S.; Neves do Amaral, Weber Antonio und Ometto, A. R. (2020): Circular economy indicators for organizations considering sustainability and business models: Plastic, textile and electro-electronic cases. In: Journal of Cleaner Production, 247, S. 119137. ISSN 09596526. doi:10.1016/j.jclepro.2019.119137

Schebeck, L. (2018): Ressourceneffizienz durch 4.0 – Potenziale für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) im Verarbeitenden Gewerbe. In: Thomé-Kozmiensky, K.J. und Goldmann, D., Hg. Recycling und Rohstoffe, TK-Verl., Neuruppin. ISBN 3944310403.

Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017): 100 Betriebe für Ressourceneffizienz - Band 1 – Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft, Springer, Berlin, Heidelberg. 1, ISBN 978-3-662-53366-6.

Stich, V.; Hicking, J.; Stroh, M.-F.; Abbas, M.; Kremer, S. und Henke, L. (2021): Digitalisierung der Wirtschaft in Deutschland – Technologie- und Trendradar 2021. Studie im Rahmen des Projekts „Entwicklung und Messung der Digitalisierung. BMWi [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://www.iso.org/committee/54998.html?t=KomURwik-WDLiuB1P1c7SjLMLEAgXOA7em-ZHKGWyn8f3KQUTU3m287NxnPA3Dluxm&view=documents#section-isodocuments-top>

VDI 4800 Blatt 1: 2016-02: Verein Deutscher Ingenieure e. V., Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 4800 Blatt 2: 2018-03: Verein Deutscher Ingenieure e. V., Ressourceneffizienz – Bewertung des Rohstoffaufwands, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2017): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Studien/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf

VDI ZRE (o. J.): Ressourcencheck Digitalisierung [online] [abgerufen am: 28.05.2024], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/werkzeuge/analyse-werkzeuge/ressourcenchecks/digitalisierung/>

Verstraeten-Jochensen, J.; Oltmanns, J. und van Meeteren, O. (2021): Circular Metrics for Business – Introduction to the CIRCelligence indicators framework.

Waas, T.; Hugé, J.; Block, T.; Wright, T.; Benitez-Capistros, F. und Verbruggen, A. (2014): Sustainability Assessment and Indicators: Tools in a Decision-Making Strategy for Sustainable Development. In: Sustainability, 6 (9), S. 5512–5534. ISSN 2071-1050. doi:10.3390/su6095512

wbcsd/BCG (2018): The new big circle – Achieving growth and business model innovation through circular economy implementation [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://www.wbcsd.org/resources/the-new-big-circle/>

wbcsd (2023): Circular Transition Indicators V4.0 – Metrics for business, by business [abgerufen am: 08.08.2024], verfügbar unter: <https://www.wbcsd.org/resources/circular-transition-indicators-v4/>

ANHANG

PRAXIS-LEITFADEN FÜR KMU DES VERARBEITENDEN GEWERBES

PRAXIS-LEITFADEN FÜR KMU DES VERARBEITENDEN GEWERBES

Was bringen Digitalisierung und kreislauforientierte Maßnahmen im Unternehmen?

Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft und Digitalisierung sind mehr als nur singuläre Schlagwörter. Der Übergang von einer linearen Wirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft (Circular Economy), die Produkte und Ressourcen so lange wie möglich nutzt, ist ein relevanter Baustein auf dem Weg zur Klimaneutralität. Dafür muss mit linearen Produktions- und/oder Geschäftsmodellen gebrochen werden. Ein wichtiger Wegbereiter für die Anpassung von Produktionsprozessen, Produkt- und Dienstleistungssystemen ist dabei die Digitalisierung. Der vorliegende Leitfaden soll KMU des verarbeitenden Gewerbes dabei helfen, die Auswirkungen digital gestützter kreislauforientierter Maßnahmen erfassbar zu machen, und damit zu deren effizientem Einsatz beitragen – denn nur, wenn Unternehmen die Effekte bestimmen können, können sie die Sinnhaftigkeit von Maßnahmen feststellen.

Eine Bestimmung der Auswirkungen ist insbesondere notwendig, weil etwa jedes fünfte Unternehmen die Aufwand-Nutzen-Relation beim Einsatz kreislauforientierter Maßnahmen aktuell nicht bewerten kann (vgl. Abbildung I). Der vorliegende Leitfaden beabsichtigt deshalb, KMU eine anschauliche Anleitung für die ersten Schritte zur Bestimmung des Erfolgs der ergriffenen Maßnahmen zu liefern.

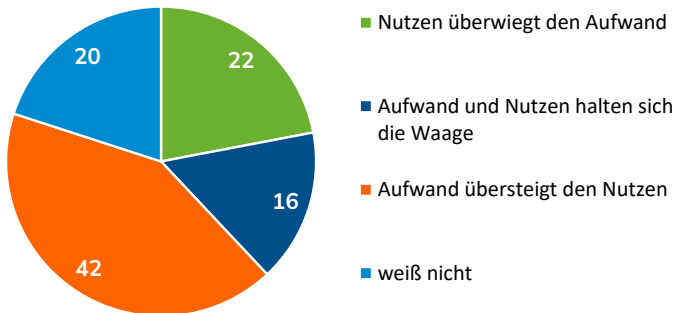


Abbildung I: Beurteilung Aufwand-Nutzen-Relation beim Einsatz kreislauforientierter Maßnahmen¹⁵⁴

¹⁵⁴ Anteile in Prozent der KMU im verarbeitenden Gewerbe mit umgesetzten kreislauforientierten Maßnahmen – IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 18

1 EINFÜHRUNG

Was bedeutet Kreislaufführung im Unternehmen?

Die Kreislaufführung von Rohstoffen, Materialien, Produkten und Produktteilen kann im Unternehmen Kosten reduzieren und einen Beitrag zur Schonung von Umwelt und Klima leisten: Bei der Kreislaufführung werden Rohstoffe, Materialien, Produkte und Produktteile **möglichst effizient, lange oder auch mehrfach genutzt**. Die Kreislaufführung kann an unterschiedlichen Stellen der Wertschöpfungskette ansetzen und auf verschiedene Weise realisiert werden.

Für Unternehmen gibt es zahlreiche Wege, um die Kreislaufführung von Rohstoffen, Materialien, Produkten und/oder Produktteilen im eigenen Unternehmen zu verbessern. Die Ausführung konkreter **Maßnahmen** zahlt in zirkuläre **Unternehmensstrategien** ein, welche wiederum ausschlaggebend für die Ausgestaltung kreislauforientierter Geschäftsmodelle sind (vgl. Abbildung II). Dieser Transformationsprozess zu kreislauforientierten Geschäftsmodellen gestaltet sich für Unternehmen sehr individuell. Je nach Unternehmensgröße, Tätigkeitsfeld und -branche oder der Position im Wertschöpfungsnetzwerk können die Strategien und letztendlich die Maßnahmen unterschiedlich ausfallen. Maßnahmen, die in einem Unternehmen getroffen werden, entfalten ihre Wirkung oft entlang der Wertschöpfungskette eines Produkts und gehen so über die Unternehmensgrenzen hinaus.



Abbildung II: Kreislauforientierte Maßnahmen, Strategien und Geschäftsmodelle¹⁵⁵

Wie können kreislauforientierte Strategien im Unternehmen aussehen?

Zur Etablierung kreislaufwirtschaftlicher Ansätze im Unternehmen ist es notwendig, kreislauforientierte Ziele in die Unternehmensstrategie zu integrieren. Gemäß einer empirischen Untersuchung des Instituts der deutschen Wirtschaft (IW) aus 2023 hat die Mehrheit der Unternehmen aus dem verarbeitenden Gewerbe bereits kreislauforientierte Maßnahmen eingeführt oder plant dies¹⁵⁶. Dabei gibt es verschiedene Wege, um die Kreislaufführung von Rohstoffen, Materialien, Produkten und Produktteilen zu stärken, welche sich in vier verschiedenen Strategien widerspiegeln (vgl. Abbildung III).

Hervorzuheben ist dabei, dass die Strategie „Verbesserte Ressourceneffizienz im Herstellungsprozess“ den Prozess fokussiert und keine Änderungen am Produkt selbst umfasst. Produktbezogene Anpassungen, wie

¹⁵⁵ Eigene Darstellung.

¹⁵⁶ Vgl. Lichtenthäler, S. und Neligan, A. (2023).

beispielsweise modulares Design, werden in der Strategie „Kreisläufe ermöglichen/schaffen“ betrachtet.

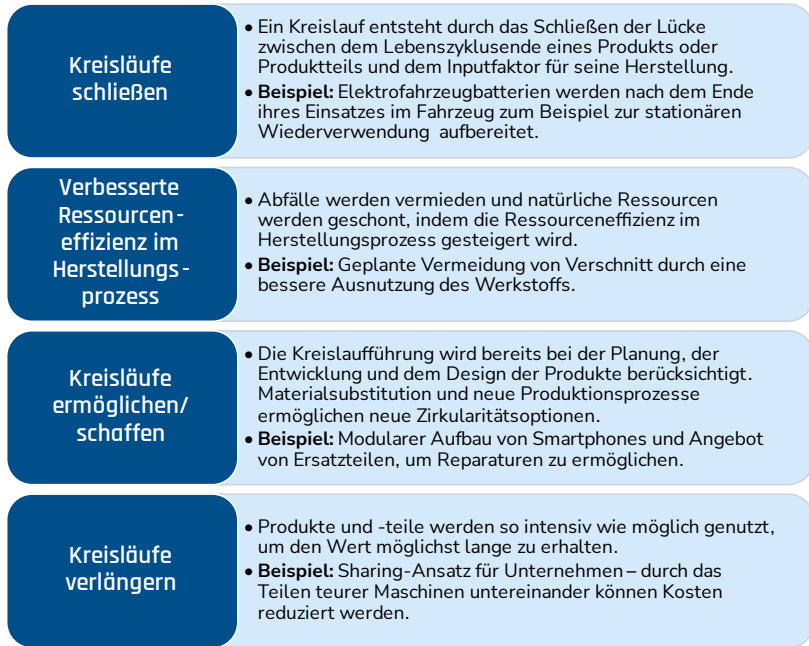


Abbildung III: Strategien, die auf Kreislaufführung im Unternehmen einzahlen¹⁵⁷

Welche kreislauforientierten Maßnahmen können umgesetzt werden?

In diesem Leitfaden werden insgesamt elf kreislauforientierte Maßnahmen vorgestellt, die einerseits digital gestützt und andererseits besonders für KMU relevant sind. Dabei werden zwei Gruppen von Maßnahmen unterschieden:

- Maßnahmen, die am Produkt bzw. am Geschäftsmodell ansetzen, und
- Maßnahmen, die auf Prozessebene wirken.

¹⁵⁷ Eigene Darstellung.

Abbildung IV gibt einen Überblick über diese elf kreislauforientierten Maßnahmen. Sie zeigt zur Orientierung, inwieweit besagte Maßnahmen zum Zeitpunkt der Studiendurchführung in den KMU des verarbeitenden Gewerbes bereits eingesetzt werden. Dabei wird deutlich, dass knapp die Hälfte der Maßnahmen von mehr als 50 Prozent der Unternehmen umgesetzt werden, wobei diejenigen Maßnahmen, die auf Prozessebene fungieren, häufiger zur Anwendung kommen. Hierbei ist zu beachten, dass der Einsatz von Informationssystemen je nach Einsatzzweck und Anwendung ebenso eine Maßnahme auf Geschäftsmodellebene sein kann.

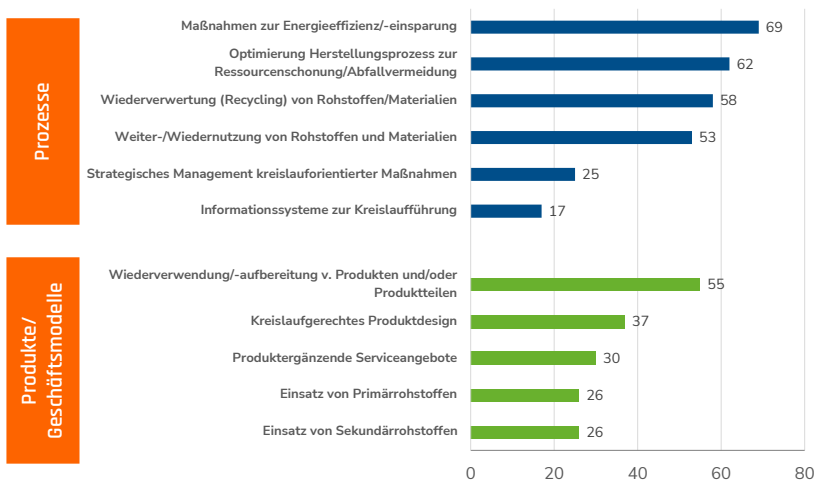


Abbildung IV: Anteil der KMU im verarbeitenden Gewerbe, der kreislauforientierte Maßnahmen zumindest im mittleren Maße umsetzt, in Prozent¹⁵⁸

Wie können digitale Technologien bei der Umsetzung kreislauforientierter Maßnahmen im Unternehmen unterstützen?

Digitale Technologien, insbesondere zur Umsetzung von Strategien und Maßnahmen zur Verbesserung der Kreislaufführung, bieten Potenziale zur

¹⁵⁸ IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 189 bis 193

Einsparung sowie Schonung von Ressourcen und stellen einen wichtigen Hebel für den Übergang zu einer Circular Economy dar. So kann beispielsweise durch die Erhebung von Daten Transparenz im Unternehmen geschaffen werden, wodurch Optimierungspotenziale offenbart werden. Zudem kann durch den Datenaustausch über Unternehmensgrenzen hinweg, z. B. zu den verwendeten Materialien und deren Behandlung, das Recycling des Produkts erleichtert werden.

Die in diesem Leitfaden aufgeführten kreislauforientierten Maßnahmen basieren entweder auf oder profitieren zumindest von digitaler Unterstützung, weshalb digitale Technologien eine wichtige Rolle spielen. Der Leitfaden unterscheidet folgende Gruppen digitaler Technologien (vgl. Abbildung V).

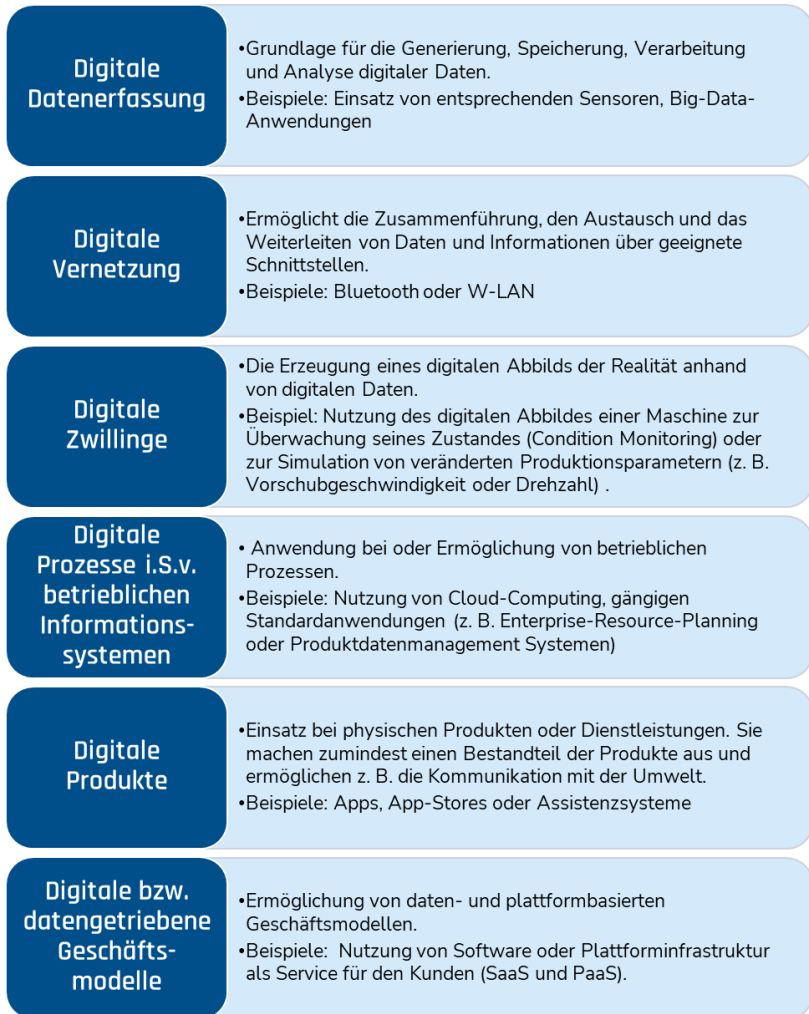


Abbildung V: Kategorisierung digitaler Technologien, inklusive Praxisbeispiele¹⁵⁹

¹⁵⁹ Eigene Darstellung.

Erst durch die Erhebung und Nutzung von Daten kann aus Sicht der Circular Economy das volle Potenzial digitaler Technologien gehoben werden. Abbildung VI zeigt, dass die KMU des verarbeitenden Gewerbes bereits zu 80 Prozent zumindest in geringem Maße Technologien aus dem Bereich der digitalen Datenerfassung einsetzen. Die Mehrheit der Unternehmen ist sich somit der Notwendigkeit zur Erhebung einer hinreichenden Datenlage bewusst. Technologien aus der Kategorie der Digitalen Zwillinge kommen in nur 36 Prozent der Unternehmen bei der Unterstützung der Kreislaufführung zur Anwendung.

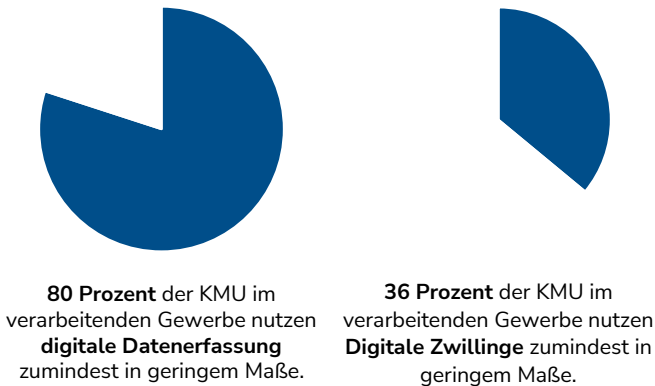


Abbildung VI: Digitale Tools, die derzeit bei kreislaufforientierten Maßnahmen eingesetzt werden¹⁶⁰

Ob bzw. welche Digitalisierungsmaßnahmen sich für Unternehmen im Kontext von Kreislaufführung lohnen, muss jeweils individuell betrachtet werden. Dazu ist es notwendig, dass die Maßnahmen hinsichtlich ihres Beitrages zur Erreichung einer bestimmten Zirkularitätsstrategie bewertet werden können.

¹⁶⁰ IW-Zukunftspanel, Welle 46, 2023, N = 132

1.1 Bestimmung der Zirkularitätseffizienz anhand des Indikatoren-Sets

In diesem Kapitel wird das entwickelte Indikatoren-Set zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz digital gestützter zirkulärer Maßnahmen vorgestellt. Entsprechend den Erläuterungen in Kapitel 2.3.5 bestimmt die Zirkularitätseffizienz den Beitrag einer digital gestützten zirkulären Maßnahme zur Erreichung einer Zirkularitätsstrategie relativ zum Aufwand für die Umsetzung dieser Maßnahme. Basierend auf einem Vergleich der Zirkularitätseffizienzen verschiedener digital gestützter zirkulärer Maßnahmen können KMU somit abschätzen, welche Maßnahme besser zur Verfolgung einer gewählten Zirkularitätsstrategie beiträgt, und so ihre Maßnahmen entsprechend priorisieren.

Die Bestimmung der Zirkularitätseffizienz erfolgt anhand eines Indikatoren-Sets, das – inklusive der Berechnung der einzelnen Indikatoren – in den folgenden Abschnitten vorgestellt wird. Diese Indikatoren verbessern die Transparenz hinsichtlich des Ressourceneinsatzes im Unternehmen und machen die Effekte digital gestützter zirkulärer Maßnahmen sicht- und erfassbar. Das entwickelte Indikatoren-Set unterstützt eine fundierte Bewertung der Maßnahmen und ermöglicht es Unternehmen, diese auf ihre Zirkularitätsstrategien gezielt abzustimmen. Weiterhin können die Indikatoren für Kosten-Nutzen-Betrachtungen herangezogen werden, um Erfahrungswerte für nachfolgende Maßnahmen zu gewinnen. Die Indikatoren stellen dementsprechend den Beitrag einer Maßnahme verglichen mit dem Referenzzustand dar. Anschließend muss die Höhe der Veränderung gegenüber dem Referenzzustand durch die Unternehmen subjektiv bewertet werden.

Wie bereits erwähnt, entfalten die Maßnahmen, die in einem Unternehmen getroffen werden, ihre Wirkung oft entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Diese Effekte müssen auch hinsichtlich der Bewertung der Zirkularitätseffizienz beachtet werden, wenngleich die Bestimmung einiger Indikatoren zur Vermeidung von Doppelzählungen nur innerhalb der

Unternehmensgrenzen erfolgen kann. Dies betrifft beispielsweise die Einsparungen von Primärrohstoffen oder auch Energie. Andere Indikatoren, wie beispielsweise die Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate schließen hingegen eine Betrachtung der Wertschöpfungskette mit ein, da die Phase der Wiederverwendung und -verwertung nach der Produktion und Nutzung einzuordnen ist. Für eine Gesamtbilanz ist es demnach wichtig, die gesamte Wertschöpfungskette zu betrachten, da digital gestützte zirkuläre Maßnahmen nicht ausschließlich zu lokalen Verschiebungen der Aufwände, beispielsweise zu Zuliefernden oder Kunden und Kundinnen, führen dürfen.

Innerhalb des Indikatoren-Sets gibt es "mengenbasierte" und "übergeordnete" Indikatoren. Mengenbasierte Indikatoren sind nichtbinär, das heißt, sie können unterschiedliche Werte auf einer definierten Skala annehmen. Einsparungen an Rohstoffen und Treibhausgasemissionen können beispielsweise in Tonnen oder Prozent angegeben werden. Die Angabe von Kostenänderungen ist ebenfalls nichtbinär. So können z. B. eingesparte Rohstoff- und Energiekosten in Euro oder Prozent angeführt werden. Die übergeordneten Indikatoren sind im Gegensatz zu den mengenbasierten Indikatoren überwiegend binär. Das heißt, dass sie nur die Werte 0 oder 1 annehmen können, als Ausdruck dafür, ob eine Eigenschaft vorliegt (Wert 1) oder nicht (Wert 0). Der Indikator „Initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie“ stellt hierbei eine Ausnahme dar, da sich der Kostenaufwand in der Regel gut quantifizieren lässt.

Sonstige Umweltauswirkungen

Sonstige Umweltauswirkungen, wie die Verunreinigung von Luft, Wasser und Böden, sind nicht Teil des Betrachtungshorizonts dieses Leitfadens. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass auch andere Umweltauswirkungen existieren und zu beachten sind, die nicht von den verwendeten Indikatoren abgedeckt werden. Die Reduktion dieser weiteren Umweltauswirkungen sollte daher ebenso Teil der Strategie zu mehr Ressourceneffizienz im Unternehmen sein.

Vorzeichen der Indikatoren

Die Indikatoren, die im Rahmen der Studie entwickelt wurden, zielen auf die Bestimmung der realisierten Ressourceneinsparungen durch die Umsetzung einer digital gestützten zirkulären Maßnahme ab. Da die meisten dieser Indikatoren anhand eines Vergleichs mit einem Referenzzustand vor der Umsetzung der Maßnahme berechnet werden, können sie sowohl ein positives als auch ein negatives Vorzeichen annehmen. Ein positives Vorzeichen bedeutet hierbei, dass eine Einsparung erreicht wurde. Ein negatives Vorzeichen – also eine negative Einsparung – heißt entsprechend, dass der Ressourcenverbrauch gestiegen ist. Die Berechnung der Indikatoren bezieht somit auch Aufwände zur Umsetzung der Maßnahmen ein. Wie in Kapitel 2.3.5 erläutert, wird im Rahmen der Studie auf diese Weise die indirekte Berücksichtigung der Gesamtaufwände realisiert, um die Bewertung der Zirkularitätseffizienz praxistauglich zu gestalten.

Hinsichtlich der Zirkularitätseffizienz ist grundsätzlich eine Reduktion des absoluten Ressourceneinsatzes anzustreben, das heißt ein positives Vorzeichen für die Indikatoren. Es kann jedoch auch vorkommen, dass Ressourcenverbräuche durch das Ergreifen einer Maßnahme steigen, weil z. B. die Energieeinsparung im Produktionsprozess durch den Verbrauch zusätzlicher IT-Infrastruktur überkompensiert wird.

Weiterhin kann der Fall eintreten, dass der Verbrauch einer bestimmten Ressource erhöht werden muss, um den Gesamtressourceneinsatz zu senken oder andere Ziele der Kreislaufführung zu erreichen. Im Falle der Primärrohstoffe kann es beispielsweise sinnvoll sein, die Menge der eingesetzten Primärrohstoffe durch Materialsubstitution zu erhöhen, um die Haltbarkeit und somit die Lebensdauer des Produkts zu verlängern. Hier hätte der Indikator demnach ein negatives Vorzeichen. Ein negatives Vorzeichen bedeutet nicht automatisch, dass eine Maßnahme gescheitert ist. So kann es durchaus vorkommen, dass eine Maßnahme im Rahmen des Unternehmens betrachtet mehr Ressourcenaufwand verursacht, aber über die Wertschöpfungsstufen hinweg eine Einsparung erzielt.

1.1.1 Mengenbasierte Indikatoren

Monetäre Messung der Indikatoren

Für eine monetäre Messung der mengenbasierten Indikatoren können für die meisten Indikatoren Abschätzungen der Kostenänderungen herangezogen und monetär beispielsweise wie folgt ausgewiesen werden: eingesparte Kosten durch reduzierten Primärrohstoffverbrauch bzw. eingesparte Kosten durch reduzierten Energieverbrauch.

Im Folgenden werden die Indikatoren einzeln im Detail betrachtet und deren Berechnung wird thematisiert.

1.1.1.1 Eingesparte Primärrohstoffe

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Menge an eingesetzten Primärrohstoffen, die sich durch das Ergreifen der kreislaforientierten Maßnahme ändert. Bei Primärrohstoffen handelt es sich um unbearbeitete Rohstoffe, wie beispielsweise Holz und Erze. Werden jedoch anstelle dieser Rohstoffe Vorprodukte oder bereits verarbeitete Materialien eingekauft, ist die Rohstoffeinsparung auf Basis der Gesamtmaterialeinsparung abzuschätzen oder beim Lieferanten zu erfragen.

Einordnung in die kreislaforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator über die eingesparte Primärrohstoffmenge kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislaforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung VII):

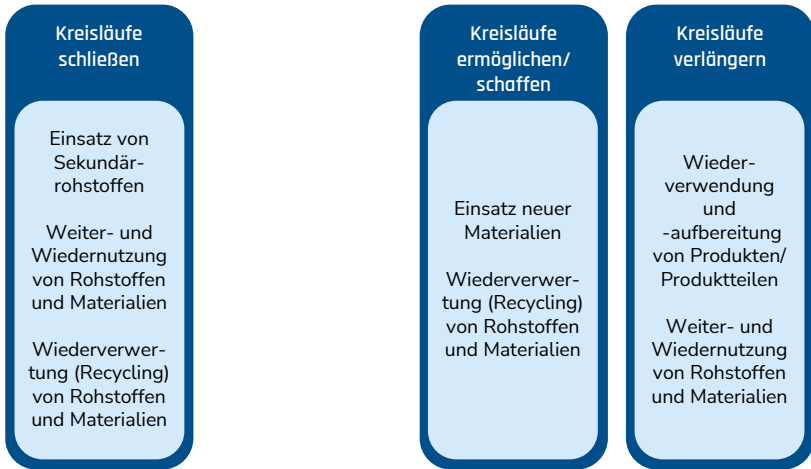


Abbildung VII: Einordnung des Indikators „Eingesparte Primärrohstoffe“ in die kreislaforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁶¹

Berechnung

Abbildung VIII zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der Menge erfolgt z. B. in Kilogramm (kg), Tonne (t) oder Kubikmeter (m³).

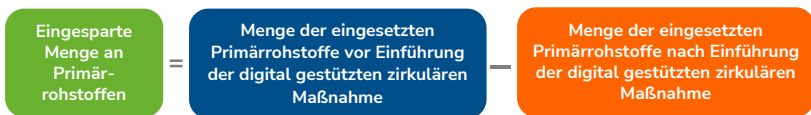


Abbildung VIII: Berechnung des Indikators „Eingesparte Primärrohstoffe“¹⁶²

¹⁶¹ Eigene Darstellung.

¹⁶² Eigene Darstellung.

1.1.1.2 Eingesparte Energie

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Menge der eingesetzten Energie, die sich durch das Ergreifen der kreislauforientierten Maßnahme ändert. Im verarbeitenden Gewerbe wird Energie hauptsächlich in elektrischer (z. B. Betrieb von Maschinen und Anlagen) und thermischer Form (z. B. Heizen von Öfen und Gebäuden) genutzt.

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator über die eingesparte Energiemenge kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung IX):

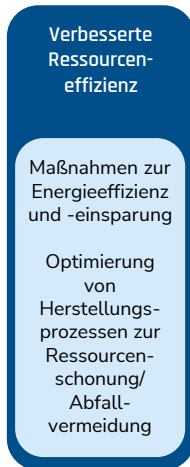


Abbildung IX: Einordnung des Indikators „Eingesparte Energie“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁶³

¹⁶³ Eigene Darstellung.

Berechnung

Abbildung X zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der Menge erfolgt je nach betrachteter Energieform z. B. in Kilowattstunden (kWh) oder Joule (J).

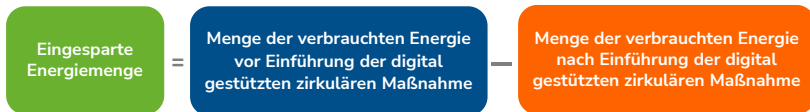


Abbildung X: Berechnung des Indikators „Eingesparte Energie“¹⁶⁴

1.1.1.3 Eingesparte CO₂-Emissionen

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Menge der CO₂-Emissionen, die sich durch das Ergreifen der kreislauforientierten Maßnahme ändert.

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zur eingesparten CO₂-Menge kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XI):

¹⁶⁴ Eigene Darstellung.

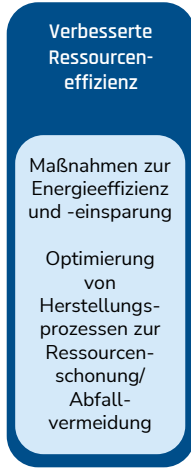


Abbildung XI: Einordnung des Indikators „Eingesparte CO₂-Emissionen“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁶⁵

Berechnung

Abbildung XII zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der eingesparten CO₂-Menge erfolgt z. B. in Tonnen (t).

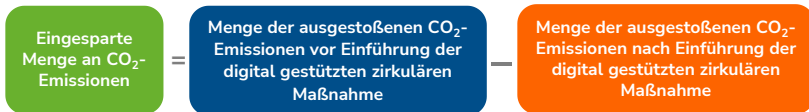


Abbildung XII: Berechnung des Indikators „Eingesparte CO₂-Emissionen“¹⁶⁶

¹⁶⁵ Eigene Darstellung.

¹⁶⁶ Eigene Darstellung.

1.1.1.4 Reduzierter Flächenbedarf

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die in Anspruch genommene Fläche, die sich durch das Ergreifen der kreislauforientierten Maßnahme ändert (z. B. Lagerfläche).

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zum reduzierten Flächenbedarf kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XIII):

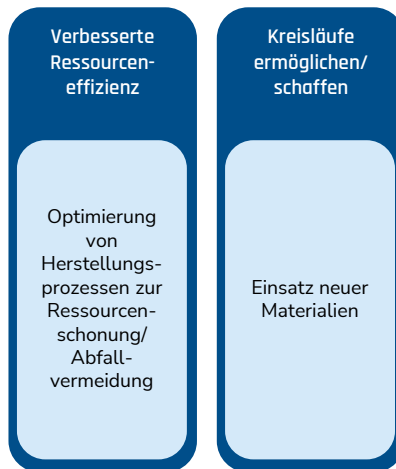


Abbildung XIII: Einordnung des Indikators „Reduzierter Flächenbedarf“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁶⁷

¹⁶⁷ Eigene Darstellung.

Berechnung

Abbildung XIV zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der eingesparten Fläche erfolgt z. B. in Quadratmetern (m²).

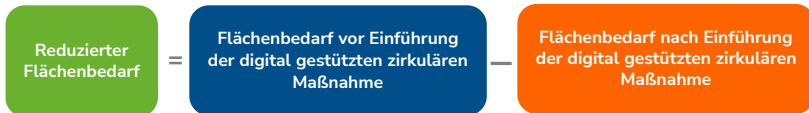


Abbildung XIV: Berechnung des Indikators „Reduzierter Flächenbedarf“¹⁶⁸

1.1.1.5 Eingesparter Wasserverbrauch

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Menge des verbrauchten Wassers, die sich durch das Ergreifen der kreislauforientierten Maßnahme ändert.

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zum eingesparten Wasserverbrauch kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XV):

¹⁶⁸ Eigene Darstellung.

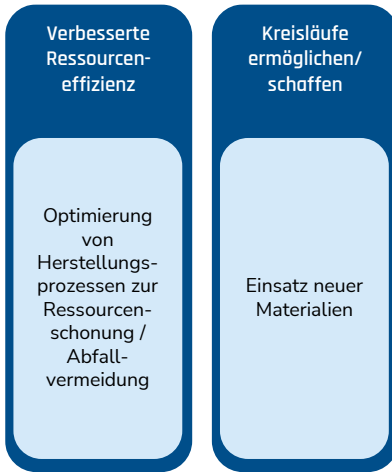


Abbildung XV: Einordnung des Indikators „Eingesparter Wasserverbrauch“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁶⁹

Berechnung

Abbildung XVI zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der eingesparten Wassermenge erfolgt z. B. in Kubikmetern (m³).

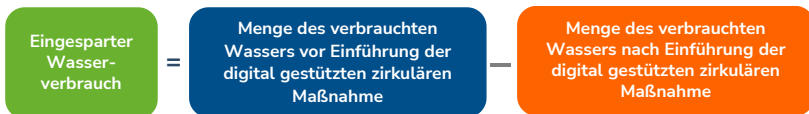


Abbildung XVI: Berechnung des Indikators „Eingesparter Wasserverbrauch“¹⁷⁰

¹⁶⁹ Eigene Darstellung.

¹⁷⁰ Eigene Darstellung.

1.1.1.6 Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator beziffert den Anteil der Produkte, der wiederverwendet/wiederverwertet/energetisch verwertet wird. Hierbei ist die Priorisierung gemäß der Abfallhierarchie zu beachten, bei der die Wiederverwendung der Wiederverwertung und diese wiederum der energetischen Verwertung vorzuziehen ist. Hinsichtlich der Zirkularitätseffizienz wird angestrebt, diesen Anteil zu maximieren, um Primärrohstoffe einzusparen. Die eigentliche Menge der eingesparten Primärrohstoffe wird jedoch mit einem separaten Indikator betrachtet. Bei dem hier vorgestellten Indikator zur Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate wird lediglich der Anteil der Produkte am Produktsortiment beziffert, der wiederverwendet/wiederverwertet/energetisch verwertet wird. Der Aufbereitungs- und Wiedergewinnungsprozess muss dabei nicht innerhalb der Unternehmensgrenzen, sondern kann auch entlang der Wertschöpfungskette stattfinden.

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zur Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XVII):

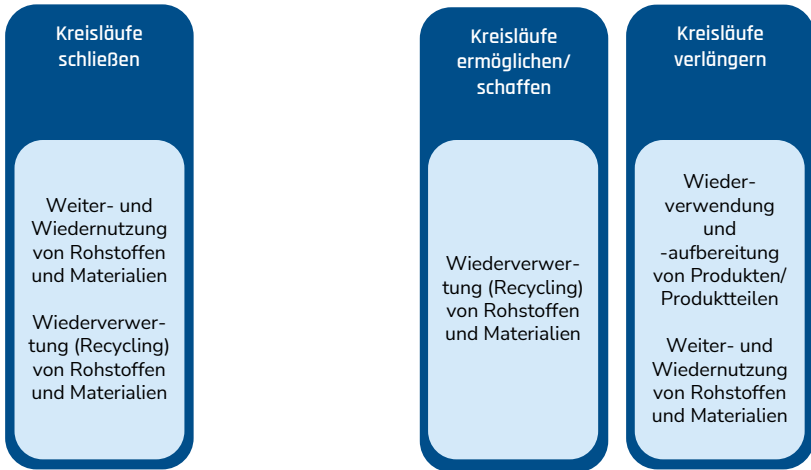


Abbildung XVII: Einordnung des Indikators „Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate“ in die kreislaufforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁷¹

Berechnung

Abbildung XVIII zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate erfolgt in Prozent (%).



Abbildung XVIII: Berechnung des Indikators „Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate“¹⁷²

¹⁷¹ Eigene Darstellung.

¹⁷² Eigene Darstellung.

1.1.1.7 Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator beziffert den Anteil der Produkte, die während der Designphase bereits die Prinzipien des Ökodesigns (z. B. modularer Aufbau, Design for Recycling etc.) berücksichtigen. Ökodesign ist ein Ansatz in der Produktgestaltung mit dem Ziel, durch verbessertes Produktdesign Umweltbelastungen über den gesamten Lebenszyklus zu reduzieren. Hinsichtlich der Zirkularitätseffizienz besteht daher das Ziel, möglichst viele Produkte nach den Prinzipien des Ökodesigns zu gestalten.

Der tatsächliche Effekt (z. B. längere Lebensdauer, eingesparte Primärrohstoffe, höhere Energieeffizienz) tritt jedoch entlang des Lebenszyklus des Produkts auf. Wichtig ist, dass diese Effekte entlang der Wertschöpfung nicht von unterschiedlichen Unternehmen doppelt gezählt werden, um die Gesamteffekte nicht zu überschätzen.

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zur Berücksichtigung des Ökodesigns kann für die Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XIX):



Abbildung XIX: Einordnung des Indikators „Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁷³

Berechnung

Abbildung XX zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe des Anteils der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen, erfolgt in Prozent (%).



Abbildung XX: Berechnung des Indikators „Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen“¹⁷⁴

¹⁷³ Eigene Darstellung.

¹⁷⁴ Eigene Darstellung.

1.1.1.8 Vermiedener Abfall

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Menge des entstandenen Abfalls, die sich durch das Ergreifen der kreislauforientierten Maßnahme ändert. Zu den betrachteten Abfällen gehören beispielsweise Produktionsausschüsse, die durch den Einsatz digitaler Technologien zumeist reduziert werden können, aber auch Verschnitt und geplante Ausschüsse.

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zur vermiedenen Abfallmenge kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XXI):

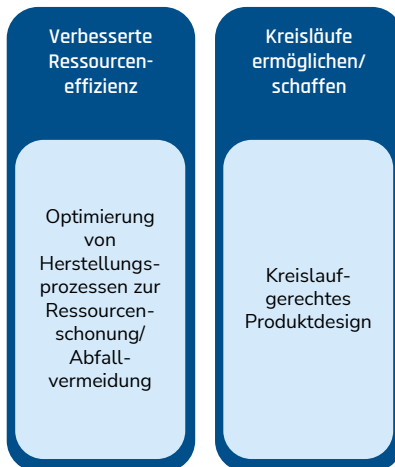


Abbildung XXI: Einordnung des Indikators „Vermiedener Abfall“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁷⁵

¹⁷⁵ Eigene Darstellung.

Berechnung

Abbildung XXII zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der Menge erfolgt z. B. in Kilogramm (kg) oder Tonnen (t).



Abbildung XXII: Berechnung des Indikators „Vermiedener Abfall“¹⁷⁶

1.1.1.9 Vermiedener Verpackungsabfall

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Menge des entstandenen Verpackungsabfalls, die sich durch das Ergreifen der kreislauforientierten Maßnahme ändert. Hinsichtlich der Zirkularitätseffizienz besteht das Ziel darin, die Menge des Verpackungsabfalls zu reduzieren.

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zum vermiedenen Verpackungsabfall kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XXIII):

¹⁷⁶ Eigene Darstellung.

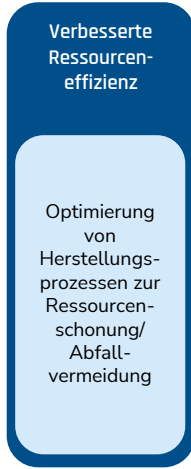


Abbildung XXIII: Einordnung des Indikators „Vermiedener Verpackungsabfall“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁷⁷

Berechnung

Abbildung zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der Menge erfolgt z. B. in Kilogramm (kg) oder Tonnen (t).

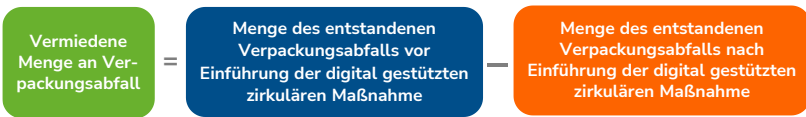


Abbildung XXIV: Berechnung des Indikators „Vermiedener Verpackungsabfall“¹⁷⁸

¹⁷⁷ Eigene Darstellung.

¹⁷⁸ Eigene Darstellung.

1.1.1.10 Produktlebensdauerverlängerung/-intensivierung

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst den Anteil der Produkte, die durch das Ergreifen der kreislauforientierten Maßnahme eine Verlängerung ihrer Lebensdauer oder Intensivierung der Nutzung erfahren. Die Produktlebensdauer beschreibt den Zeitraum, in dem das Produkt technisch verwendungsfähig ist. Im Hinblick auf die Zirkularitätseffizienz besteht das primäre Ziel darin, die Lebensdauer und die Nutzungsintensität von Produkten zu maximieren.

So kann eine Produktlebensdauerverlängerung beispielsweise bereits durch andere Herstellungsverfahren oder den Einsatz neuer Materialien erreicht werden. Eine höhere Nutzungsintensität kann durch eine bessere Auslastung, beispielsweise durch das Teilen und Mieten von Maschinen und Anlagen, erzielt werden.

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zur Produktlebensdauerverlängerung/-intensivierung kann für die Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XXV):



Abbildung XXV: Einordnung des Indikators „Produktlebensdauererlängerung/ intensivierung“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁷⁹

Berechnung

Abbildung XXVI zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe kann beispielsweise in Prozent (%) als Anteil der betroffenen Produkte am Gesamtportfolio erfolgen. Alternativ kann für ein einzelnes Produkt die Angabe in einer Zeiteinheit, beispielsweise Monate oder Jahre, stattfinden.

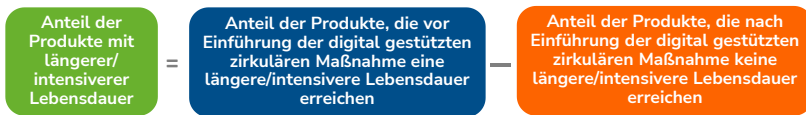


Abbildung XXVI: Berechnung des Indikators „Produktlebensdauererlängerung/ intensivierung“¹⁸⁰

¹⁷⁹ Eigene Darstellung.

¹⁸⁰ Eigene Darstellung.

1.1.1.11 Einsatz von Sekundärrohstoffen

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Menge eingesetzter Sekundärrohstoffe, die sich durch das Ergreifen der kreislaforientierten Maßnahme ändert. Sekundärrohstoffe werden durch Aufbereitungsprozesse (z. B. durch Recycling) wiedergewonnen und demnach zum wiederholten Mal eingesetzt. Werden keine Rohstoffe bezogen, sondern Vorprodukte oder bereits verarbeitete Materialien eingekauft, so ist der Anteil der Sekundärrohstoffe abzuschätzen oder bei den Zuliefernden zu erfragen.

Hinsichtlich der Zirkularitätseffizienz wird das Ziel verfolgt, den Einsatz der Sekundärrohstoffe zu erhöhen. Gleichzeitig reduziert sich mit diesem Indikator in Folge der Rohstoffsubstitution zumeist auch der „Einsatz von Primärrohstoffen“.

Einordnung in die kreislaforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zum Sekundärrohstoffeinsatz kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislaforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XXVII):

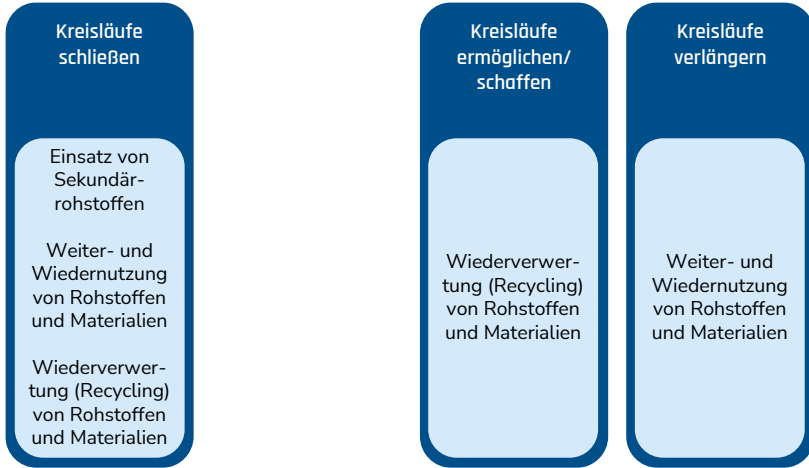


Abbildung XXVII: Einordnung des Indikators „Einsatz von Sekundärrohstoffen“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁸¹

Berechnung

Abbildung XXVIII zeigt die Berechnung des Indikators. Die Angabe der Menge erfolgt z. B. in Kilogramm (kg) oder Tonnen (t).

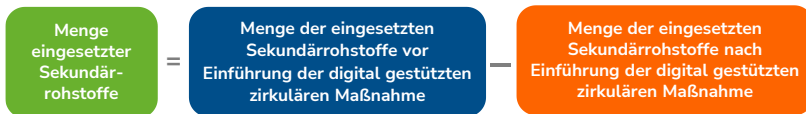


Abbildung XXVIII: Berechnung des Indikators „Einsatz von Sekundärrohstoffen“¹⁸²

¹⁸¹ Eigene Darstellung.

¹⁸² Eigene Darstellung.

1.1.1.12 Reparier- und Upgrade-Aufwände (Materialaufwand)

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Menge an eingesetztem Material für Reparaturen und Upgrades von Produkten, die sich durch das Ergreifen der kreislauforientierten Maßnahme ändert. Reparaturen und Wiederaufbereitungen von Produkten können zu längeren Produktlebenszyklen führen, benötigen aber zusätzliches Material, beispielsweise Ersatzteile. Dadurch wird wiederum Primärmaterial eingespart, da weniger neue Produkte hergestellt werden müssen.

Hinsichtlich der Zirkularitätseffizienz besteht das Hauptziel demnach darin, diesen Materialeinsatz zu erhöhen, da sich der Bedarf an Primärrohstoffen im Vergleich zur Herstellung neuer Produkte reduziert. Reparierte und aufgewertete Produkte sorgen folglich dafür, dass weniger neue Produkte hergestellt werden (müssen).

Einordnung in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen

Der Indikator zu den Reparier- und Upgrade-Aufwänden kann zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch folgende kreislauforientierte Maßnahmen herangezogen werden (vgl. Abbildung XXIX):

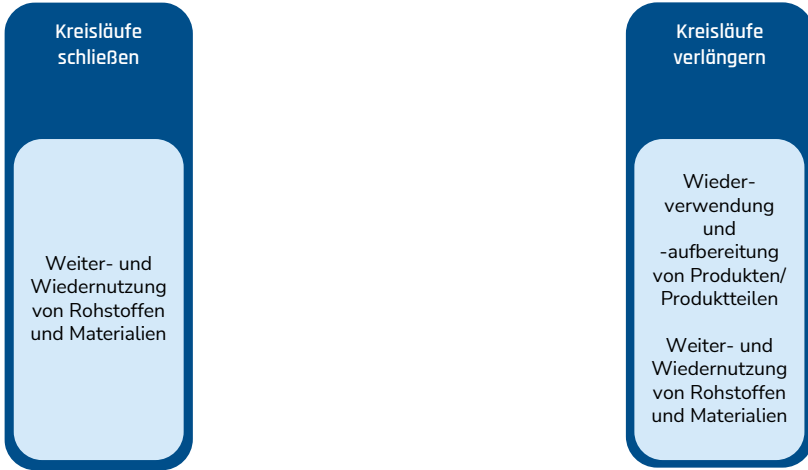


Abbildung XXIX: Einordnung des Indikators „Reparier- und Upgrade-Aufwände“ in die kreislauforientierten Strategien und Maßnahmen¹⁸³

Berechnung

Abbildung XXX zeigt die Berechnung des Indikators. Die Mengenangabe erfolgt beispielweise in Kilogramm (kg) oder Tonnen (t).



Abbildung XXX: Berechnung des Indikators „Reparier- und Upgrade-Aufwände“¹⁸⁴

¹⁸³ Eigene Darstellung.

¹⁸⁴ Eigene Darstellung.

1.1.2 Übergeordnete Indikatoren

1.1.2.1 Strategisches Management kreislauforientierter Maßnahmen vorhanden

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator beschreibt, ob ein strategisches Management der kreislauforientierten Maßnahmen im Sinne eines strategischen Ressourcenmanagements im Unternehmen bereits vorhanden ist. Dies ist wichtig, um beispielsweise die Gesamteffekte der Anwendung dieser Maßnahmen sowie das Zusammenspiel unterschiedlicher Maßnahmen als Ganzes abbilden und abschätzen, aber auch den Einsatz besagter Maßnahmen zielgerichtet und effektiv planen zu können. Dieser Indikator ist ein binärer Indikator mit den Ausprägungen ja/nein (1/0).

1.1.2.2 Informationssysteme zur Kreislaufführung vorhanden

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator beschreibt, ob Informationssysteme und damit ein Datenaustausch zur Kreislaufführung vorhanden sind. Dies umfasst sowohl Systeme zum Datenaustausch im Unternehmen als auch Systeme zur Ermöglichung des Datenaustauschs über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. Zu den innerbetrieblichen Systemen zählen digitale Anwendungen, die bei betrieblichen Prozessen im Rahmen der Kreislaufführung zur Anwendung kommen oder diese ermöglichen. Als Beispiele sind die Nutzung von Cloud-Computing und gängige Standardanwendungen (wie ERP – Enterprise-Resource-Planning oder PDM – Produktdatenmanagement-Systeme) zu nennen. Von besonderer Bedeutung ist jedoch der Datenaustausch über Unternehmensgrenzen hinweg. Hier sind EDI (Electronic Data Interchange-)Systeme von hoher Relevanz, da so beispielsweise Prozesse optimiert werden und durch Daten zu verwendeten Materialien die Wiederverwertung erleichtert wird.

Diese Informationssysteme sind insofern wichtig, da sie die Effektivität und Effizienz einzelner Maßnahmen durch eine entsprechende Koordination/ein Monitoring erhöhen. Dieser Indikator ist ein binärer Indikator mit den Ausprägungen ja/nein (1/0).

1.1.2.3 Erschließung neuer Einnahmequellen

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator zeigt auf, ob sich neue Einnahmequellen durch den Einsatz der digital gestützten zirkulären Maßnahme erschließen lassen. Dieser Indikator ist ein binärer Indikator mit den Ausprägungen ja/nein (1/0).

1.1.2.4 Erschließung neuer Märkte oder eines größeren Marktanteils

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator zeigt auf, ob sich neue Märkte oder ein größerer Marktanteil durch den Einsatz der digital gestützten zirkulären Maßnahme erschließen lassen. Dieser Indikator ist ein binärer Indikator mit den Ausprägungen ja/nein (1/0).

1.1.2.5 Initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie

Bedeutung des Indikators

Dieser Indikator erfasst die Höhe der initialen und laufenden Kosten für den Einsatz einer digitalen Technologie. Die initialen Kosten beinhalten die Kosten für die Integration der digitalen Technologie, beispielweise die Anschaffungskosten. Laufende Kosten können sich z. B. auf zusätzliche Software-Lizenzen oder höhere Programmierungsaufwände beziehen, die während des Einsatzes der digitalen Technologie laufend anfallen.

1.2 Vorgehen

Zur Bestimmung der Effizienz des Einsatzes digital gestützter zirkulärer Maßnahmen hinsichtlich der Verfolgung kreislauforientierter Strategien wird im Folgenden ein Vorgehen vorgestellt. Es soll KMU ermöglichen, die Effekte der getroffenen digital gestützten zirkulären Maßnahmen auf die Zirkularitätseffizienz selbstständig und zielorientiert zu bestimmen. Das Vorgehen erfolgt in vier aufeinanderfolgenden Schritten (vgl. Abbildung XXXI). In einem ersten Schritt soll das Unternehmen die für sich passende kreislauforientierte Strategie identifizieren. Es kann sich dabei entweder auf eine einzige Strategie konzentrieren oder aber mehrere Strategien gleichzeitig auswählen. Diesen Strategien sind digital gestützte zirkuläre Maßnahmen zugeordnet, von denen das Unternehmen in einem zweiten Schritt passende Maßnahmen auswählt. Zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz dieser Maßnahmen und um die Maßnahmen miteinander vergleichen bzw. gegeneinander abwägen zu können, müssen in einem dritten Schritt Indikatoren (vgl. Kapitel 1.2.1 und 1.2.2) berechnet werden. Schließlich kann daraus in einem vierten Schritt die Zirkularitätseffizienz bestimmt werden, die die Frage beantwortet, welche Maßnahmen wie gut zur Erreichung einer bestimmten Zirkularitätsstrategie beitragen.



Abbildung XXXI: Das Vorgehen zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz in vier Schritten¹⁸⁵

Dieses Vorgehen wird im Folgenden detailliert beschrieben.

¹⁸⁵ Eigene Darstellung.

Demonstrationsbeispiel – Beschreibung

Zur Veranschaulichung des Vorgehens wird ein fiktives, mittelständisches Unternehmen mit 60 Mitarbeitenden aus dem Bereich der Kunststoffverarbeitung betrachtet. Das Unternehmen mit dem fiktiven Namen Plastiko GmbH kauft primäre Rohstoffe in verschiedenen Formen ein (z. B. als Granulat oder Pulver) und verarbeitet diese im Extrusions- und 3D-Druck-Verfahren zu einfachen Bauteilen. Diese werden anschließend an die Kundschaft ausgeliefert werden. Die Kundschaft stellt mit Zulieferteilen weiterer Unternehmen komplexere Produkte her. Die Plastiko GmbH sammelt ihren Ausschuss sowie Verschnitt und leitet diese an ein Recyclingunternehmen weiter.

1.2.1 Schritt 1: Für das Unternehmen relevante kreislauforientierte Strategien auswählen

Von den vier kreislauforientierten Strategien (vgl. Abbildung XXXII) soll in diesem Schritt diejenige ausgewählt werden, die für das Unternehmen relevant ist. Sollten mehrere Strategien verfolgt werden, ist es sinnvoll, das Vorgehen für jede Strategie separat zu durchlaufen, da der Vergleich der Effizienz der digital gestützten zirkulären Maßnahmen jeweils pro Zirkularitätsstrategie erfolgt.

Zur Unterstützung der Auswahl der passenden Zirkularitätsstrategie sind diese inklusive ihrer Beschreibung in Abbildung III aufgeführt. Die Auswahl der passenden Strategie ist unter anderem abhängig davon, an welcher Stelle der Wertschöpfungskette sich das Unternehmen befindet und welche Möglichkeiten der Kreislaufführung in der Branche existieren.

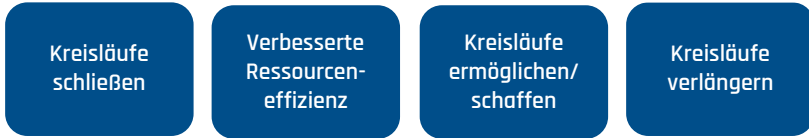


Abbildung XXXII: Die Auswahl der passenden kreislauforientierten Strategie¹⁸⁶

Demonstrationsbeispiel – Auswahl der kreislauforientierten Strategie

Die Plastiko GmbH ist ein kleiner Zulieferer in der gesamten Wertschöpfungskette und richtet sich auf die Anforderungen der Kundschaft aus. Die Kundschaft besteht vor allem aus mittelständischen Zulieferunternehmen und wenigen Großunternehmen, wobei letztere für rund 80 Prozent des Umsatzes verantwortlich sind. Die Produkte der Plastiko GmbH bilden nur einen kleinen Bestandteil des Endprodukts, welches am Lebensende nicht wieder zur Plastiko GmbH zurückgelangt. Um das Unternehmen kreislauforientierter auszurichten, möchte die Geschäftsführung daher interne Kreisläufe schließen und verstärkt Sekundärrohstoffe einsetzen. Dementsprechend entscheiden sie sich für die Strategie „Kreisläufe schließen“.

1.2.2 Schritt 2: Relevante kreislauforientierte Maßnahmen für die identifizierte Strategie auswählen

Den Strategien sind entsprechende digital gestützte zirkuläre Maßnahmen zugeordnet (vgl. Abbildung XXXIII). Für die identifizierte Strategie aus Schritt 1 sollen in diesem Schritt die relevanten Maßnahmen ausgewählt werden. Welche digital gestützten zirkulären Maßnahmen wie gut zu dem Unternehmen passen, ist unter anderem abhängig von der Branche und Positionierung des Unternehmens innerhalb der Wertschöpfungskette. So ist beispielsweise die Maßnahme des kreislaufgerechten Produktdesigns nur für diejenigen Unternehmen relevant, die auch einen Einfluss auf die

¹⁸⁶ Eigene Darstellung.

Konstruktion der Produkte haben, die sie herstellen. Werden Produkte hingegen ausschließlich nach Vorgaben der Kundschaft hergestellt, bestehen keine Einflussmöglichkeiten in der Phase des Produktdesigns. Ein anderes Beispiel liefert das Recycling von Rohstoffen und Materialien als kreislauforientierte Maßnahme für die Strategie „Kreisläufe schließen“. Während das Recycling in manchen Branchen, z. B. für Stahlhersteller, gängige Praxis ist, ist dies in anderen Branchen, z. B. im Textilbereich, abhängig von den Anforderungen an die Materialeigenschaften, bislang unter den KMU weniger verbreitet.

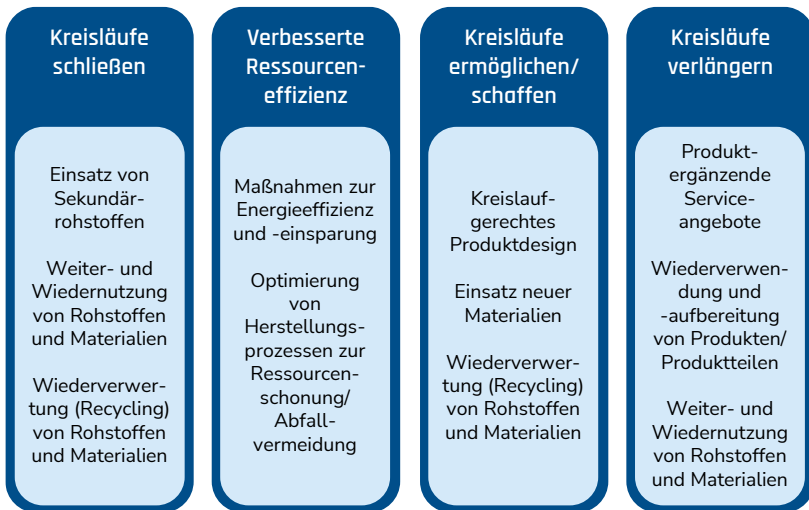


Abbildung XXXIII: Zuordnung kreislauforientierter Maßnahmen zu den vier Strategien¹⁸⁷

¹⁸⁷ Eigene Darstellung.

Zusätzliche übergeordnete Maßnahmen, die auf alle Strategien einzahlen

- Strategisches Management kreislaufforientierter Maßnahmen
- Informationssysteme zur Kreislaufführung

Durch ein strategisches Management kreislaufforientierter Maßnahmen findet eine Abstimmung zwischen Gesamtunternehmensstrategie, Zirkularitätsstrategie und zu treffenden Maßnahmen statt. Somit kann der Einsatz unterschiedlicher Maßnahmen effektiv geplant und koordiniert werden. Der Einsatz eines strategischen Managements kreislaufforientierter Maßnahmen macht insbesondere dann Sinn, wenn mehrere Maßnahmen zur Kreislaufführung oder auch Zirkularitätsstrategien im Unternehmen implementiert werden sollen.

Informationssysteme zur Kreislaufführung können die Effektivität und Effizienz kreislaufforientierter Maßnahmen erhöhen, indem sie die relevanten Daten sammeln (z. B. über Schnittstellen zu Maschinen), speichern (z. B. in Datenbanken, Data Warehouses), verarbeiten (z. B. strukturieren, auswerten) und aufbereiten (z. B. als Dashboards). Sie ermöglichen dadurch ein datenbasiertes Monitoring der Auswirkungen und darauf basierend die Koordinierung und Steuerung der Maßnahmen.

Demonstrationsbeispiel – Auswahl der zirkulären Maßnahmen

Wie zuvor ausgeführt, hat die Plastiko GmbH aufgrund ihrer Position in der Lieferkette nur wenig Einflussmöglichkeiten auf das Produktdesign und auch keine Optionen, auf die von ihr in Verkehr gebrachten Produkte nach ihrem Lebensende zuzugreifen. Vor diesem Hintergrund fokussiert sich das Unternehmen im Rahmen der gewählten Strategie (Kreisläufe schließen) auf interne Einsparpotenziale und alternative Rohstoffquellen. Eine interne Analyse zeigt, dass der Materialverbrauch einen großen Anteil der betrieblichen Kosten ausmacht. Dementsprechend soll in

erster Linie mit Hilfe digitaler Lösungen der Materialverbrauch gesenkt werden. Dafür plant das Unternehmen zwei Maßnahmen:

Die **Maßnahme 1: „Weiter- und Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien“** zielt darauf ab betriebsintern die Wiederverwendung von Druckpulver zu verbessern. Beim verwendeten Selective Laser Sintering (SLS) Verfahren bleibt aktuell bis zu 70 Prozent des Druckpulvers ungesintert. Dieses gebrauchte Pulver wird bereits teilweise mit Frischpulver vermischt und wiederverwendet. Derzeit wird jedoch nach einem festen Verhältnis mit hoher Sicherheitsmarge gemischt, um eventuelle Qualitätseinbußen zu vermeiden. So werden bei der Produktion maximal 10 Prozent gebrauchtes Pulver beigemischt. Aufgrund mangelnder Lagerkapazitäten müssen bis zu 30 Prozent des Gebrauchtpulvers über ein externes Recyclingunternehmen entsorgt. Dieser Anteil soll mittels digital gestützter Qualitätsüberwachung minimiert werden. Somit kann diese Maßnahme die Materialverschwendung reduzieren und gleichzeitig die Material- und Entsorgungskosten senken.

Durch die **Maßnahme 2: „Einsatz von Sekundärmaterialien“** soll der Einsatz von Sekundärmaterialien in der Produktion geprüft und ggf. etabliert werden. Aktuell setzt die Plastiko GmbH ausschließlich primäre Rohstoffe ein, da die schwankende Qualität von Sekundärrohstoffen ein zu hohes wirtschaftliches Risiko darstellt. Mit Hilfe von digitalen Lösungen soll nun der Einsatz ermöglicht werden, ohne dass die Qualität der Produkte sich verschlechtert. Mit dieser Maßnahme kann das Unternehmen insbesondere seinen CO₂-Fußabdruck seiner Produkte verringern und somit auch attraktiver für die Kundschaft machen.

1.2.3 Schritt 3: Indikatoren der digital gestützten zirkulären Maßnahmen identifizieren und berechnen

Zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen werden die in Kapitel 1.2 dieses Leitfadens aufgelisteten Indikatoren eingesetzt. Tabelle I zeigt eine Zuordnung der Indikatoren zu den kreislauforientierten Maßnahmen. Die Anzahl der zur Effizienzbewertung

einer Maßnahme herangezogenen Indikatoren ist variabel. Die Indikatorik stellt lediglich ein initiales Set dar, das kontinuierlich weiterentwickelt werden soll.

Anhand dieser zugeordneten Indikatoren (vgl. Tabelle I) kann eine Maßnahme hinsichtlich ihrer Effizienz bewertet werden. Für jede in Schritt 2 ausgewählte Maßnahme müssen dafür die jeweiligen Werte der Indikatoren berechnet werden. Dabei sollen nur diejenigen Indikatoren berechnet werden, die sich durch den Einsatz der digital gestützten zirkulären Maßnahme geändert haben. Grund dafür ist, dass sich die Indikatoren immer auf ein Referenzszenario beziehen. Dieses Referenzszenario ist so definiert, dass es den Zustand ohne das Ergreifen der digital gestützten zirkulären Maßnahme beschreibt.

Tabelle I: Zuordnung der Indikatoren zu den kreislauforientierten Maßnahmen¹⁸⁸

	Zirkuläre Maßnahmen	Indikatoren
Produktebene / Geschäftsmodelle	Einsatz neuer Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • (Reduzierter) Flächenbedarf • (Eingesparter) Wasserverbrauch
	Einsatz von Sekundärrohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Einsatz von Sekundärrohstoffen
	Kreislaufgerechtes Produktdesign	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Anteil der Produkte, die Ökodesign berücksichtigen • (Vermiedener) Abfall • Produktlebensdauerverlängerung / -intensivierung (Ressourcenlaufzeit)
	Produktergänzende Serviceangebote	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Produktlebensdauerverlängerung / -intensivierung (Ressourcenlaufzeit)
	Wiederverwendung und -aufbereitung von Produkten/-teilen	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reuse- / Recycling- / Recovery-Rate • Produktlebensdauerverlängerung/-intensivierung (Ressourcenlaufzeit) • Reparier- und Upgrade-Aufwände

¹⁸⁸ Eigene Darstellung.

	Maßnahmen zur Energieeffizienz und -einsparung	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Energie • (Eingesparte) CO₂-Emissionen
Prozessebene	Optimierung von Herstellungsprozessen zur Ressourcenschonung/ Abfallvermeidung	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Energie • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reduzierter Flächenbedarf • (Eingesparter) Wasserverbrauch • (Vermiedener) Abfall • (Vermiedener) Verpackungsabfall
	Weiter- und Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate • Einsatz von Sekundärrohstoffen • Reparier- und Upgrade-Aufwände
	Wiederverwertung (Recycling) von Rohstoffen und Materialien	<ul style="list-style-type: none"> • (Eingesparte) Primärrohstoffe • (Eingesparte) CO₂-Emissionen • Reuse-/Recycling-/Recovery-Rate • Einsatz von Sekundärrohstoffen
	Strategisches Management kreislauforientierter Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Strategisches Management kreislauforientierter Maßnahmen vorhanden
	Informationssysteme zur Kreislaufführung	<ul style="list-style-type: none"> • Informationssysteme zur Kreislaufführung vorhanden
Übergeordnet		<ul style="list-style-type: none"> • Erschließung neuer Einnahmequellen • Erschließung neuer Märkte/ eines größeren Marktanteils • Initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie

Demonstrationsbeispiel – Auswahl der Indikatoren

Bei der Plastiko GmbH werden entsprechend der in Schritt 2 gewählten Maßnahmen folgende Indikatoren für beide Maßnahmen herangezogen:

- (1) Eingesparte Primärrohstoffe
- (2) Eingesparte CO₂-Emissionen
- (3) Einsatz von Sekundärrohstoffen
- (4) Initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologien
- (5) Erschließung neuer Märkte/eines größeren Marktanteils

Zusätzlich zu den Indikatoren, die den einzelnen zirkulären Maßnahmen zugeordnet sind, gibt es folgende betriebswirtschaftliche Indikatoren:

- Erschließung neuer Einnahmequellen (ja/nein),
- Erschließung neuer Märkte/eines größeren Marktanteils (ja/nein),
- initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie.

1.2.4 Schritt 4: Zirkularitätseffizienz anhand der Indikatoren bestimmen

Die Ergebnisse der Indikatorenberechnung, die in Schritt 3 für jede Maßnahme durchgeführt wurde, dienen nun als Ausgangsbasis zur Bestimmung der Zirkularitätseffizienz der getroffenen Maßnahmen.

- Die Zirkularitätseffizienz wird anhand zweier Indizes bestimmt. Dies ergibt sich aus den beiden Kategorien der Indikatoren: nichtbinär und binär. Das heißt, es wird jeweils ein Zirkularitätsindex für die nichtbinären und einer für die binären Indikatoren berechnet.
- Die Indikatoren für eine Maßnahme werden zunächst einzeln berechnet.
- Anschließend werden alle Werte der Indikatoren für eine Maßnahme basierend auf einer subjektiven Einschätzung ihrer Veränderungswirkung summiert.

Bewertung der nichtbinären Indikatoren

Die nichtbinären Indikatoren (z. B. die mengenbasierten Indikatoren) sind all diejenigen Indikatoren, deren Werte mehr als zwei verschiedene Ausprägungen haben können. Anders als die binären Indikatoren können sie demnach nicht ausschließlich die Werte 0 oder 1 annehmen. Sie geben Veränderungen verglichen mit dem Referenzzustand ohne Ergreifen der Maßnahme an, bei positivem Vorzeichen beispielsweise den eingesparten Energieverbrauch oder den eingesparten Verbrauch an Primärrohstoffen. Sie können jedoch auch negative Vorzeichen haben, wenn sie nicht zu

Einsparungen, sondern zu Mehraufwänden führen. Dies wird im folgenden Abschnitt näher beschrieben.

Subjektive Bewertung der Indikatoren durch das Unternehmen

Es erfolgt nun eine subjektive Einschätzung des Unternehmens dazu, wie hoch diese Veränderung ist. Diese Einschätzung findet auf einer Skala von -2 bis +2 mit folgender Bedeutung statt und basiert auf den Werten, die für die nichtbinären Indikatoren bestimmt wurden (vgl. Tabelle I):

Tabelle II: Bewertung der nichtbinären Indikatoren

Wert der Skala	Bedeutung	Beispiel
-2	deutliche Verschlechterung	deutlich gesteigener Energieverbrauch
-1	leichte Verschlechterung	leicht gesteigener Flächenbedarf
0	keine Veränderung	
1	leichte Verbesserung	leicht gesunkener Primärrohstoff-verbrauch
2	deutliche Verbesserung	deutlich gesunkene CO ₂ -Emissionen

Die Bewertung der Indikatoren bzw. Veränderungen, die diese repräsentieren, findet auf einer 5-Punkte Skala statt. Die Einordnung entlang der Skala erfolgt nach der subjektiven Einschätzung des Unternehmens. Eine objektive Bewertungsskala war (zumindest im Rahmen der vorliegenden Studie) nicht umsetzbar, da dafür unter anderem eine hinreichend große Datenbasis zu den Effekten digital gestützter zirkulärer Maßnahmen und aus unterschiedlichsten Branchen vorliegen müsste, um einen Vergleich mit einem repräsentativen Durchschnittswert anstellen zu können. Für die Bewertung der erzielten Einsparungen durch eine bestimmte Maßnahme im Kontext der bisherigen Unternehmensperformance ist das vorhandene Wissen zum eigenen Unternehmen aus Sicht der Autoren und Autorinnen ausreichend, um eine fundierte Entscheidung treffen zu können. Ist der

CO₂-Ausstoß beispielsweise bereits durch verschiedene Maßnahmen in der Vergangenheit reduziert worden, so ist eine Verbesserung um wenige Prozentpunkte möglicherweise schon als eine deutliche Verbesserung zu werten, während dies für Unternehmen, die noch keinerlei Maßnahmen in diesem Bereich getroffen haben, nur eine leichte Verbesserung des Status quo bedeuten würde.

Bestimmung des ersten Zirkularitätsindex je Maßnahme

Die Summe der Indikatoren für eine getroffene Maßnahme bildet den ersten Zirkularitätsindex. Unternehmen können an dieser Stelle ebenso die individuelle Entscheidung treffen, manche Indikatoren höher zu gewichten als andere. Dies sei an dieser Stelle jedoch nicht allgemein für alle KMU des verarbeitenden Gewerbes vorgegeben, sondern vielmehr in einzelnen Fällen individuell abzuwägen. Falls es keine offensichtlichen Gründe für eine Gewichtung der Indikatoren gibt, so kann – wie hier beschrieben – die einfache Summe bestimmt werden.

Demonstrationsbeispiel - Bestimmung des ersten Zirkularitätsindex

Maßnahme 1: Die Beschaffung und Implementierung der notwendigen Hard- und Software für ein digital gestütztes Pulvermanagement ist mit erheblichen Investitionen verbunden. Weiterhin kommen laufenden Betriebskosten für die zusätzlichen Softwareanwendungen hinzu. Der Wiederverwendungsanteil des Druckpulvers konnte um 20 Prozent erhöht werden, so dass nur noch 10 Prozent des Gebrauchtpulvers entsorgt werden müssen. Dementsprechend muss weniger Frischpulver eingekauft werden.

Die Geschäftsführung der Plastiko GmbH kommt zu der Einschätzung, dass die Initialen und laufenden Kosten der Maßnahme zwar hoch ausfallen (-2), aber die Einsparung sowohl hinsichtlich Primärmaterial (+2) als auch CO₂-Emissionen (+2) ebenfalls als hoch einzustufen sind. Auch die Verwendung von betriebsinternen Sekundärmaterialien wird ebenfalls als sehr positiv bewertet (+2).

Folglich ist der erste Zirkularitätsindex für Maßnahme 1:

Eingesparter Primärrohstoffe	+2
Eingesparter CO ₂ -Emissionen	+2
Einsatz von Sekundärrohstoffen	+2
Initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie	-2

Ergebnis Zirkularitätsindex 1 für Maßnahme 1 **+4**

Maßnahme 2: Auch hier fallen hohe Investitionen für die Implementierung einer KI-gestützten Lösung an (-2). Durch die KI-Lösung wird es jedoch möglich bis zu 50 Prozent Sekundärrohstoffe einzusetzen, ohne dass die Qualität der Produkte beeinträchtigt wird (+2). Dadurch können bis zu 50 Prozent Primärmaterialien (+2) und entsprechend auch CO₂-Emissionen (+2) eingespart werden.

Der erste Zirkularitätsindex für Maßnahme 2 ist folglich:

Eingesparter Primärrohstoffe	+2
Eingesparter CO ₂ -Emissionen	+2
Einsatz von Sekundärrohstoffen	+2
Initiale und laufende Kosten für die Integration der digitalen Technologie	-2
Ergebnis Zirkularitätsindex 1 für Maßnahme 1	+4

Bewertung der binären Indikatoren

Die binären Indikatoren fragen lediglich das Vorhandensein einer Maßnahme bzw. eines bestimmten Nutzens einer Maßnahme ab. Die Bewertung erfolgt entsprechend auf einer Skala von 0 oder 1.

Bewertung der Indikatoren verglichen mit dem Referenzzustand

Die 1 entspricht dem Vorhandensein einer Maßnahme bzw. eines Nutzens. Konkret bedeutet dies:

- Erschließung neuer Einnahmequellen: ja
- Erschließung neuer Märkte/eines größeren Marktanteils: ja
- Strategisches Management kreislaforientierter Maßnahmen vorhanden: ja
- Informationssysteme zur Kreislaufführung vorhanden: ja

Die 0 entspricht dem Nichtvorhandensein einer Maßnahme bzw. eines Nutzens. Für den Fall, dass keine Abschätzung getroffen werden kann (Option: „weiß nicht“), wird ebenso eine 0 vergeben.

Bestimmung des zweiten Zirkularitätsindex je Maßnahme

Die Summe der Indikatoren bildet den zweiten Zirkularitätsindex für die getroffene Maßnahme.

Demonstrationsbeispiel – Bestimmung des zweiten Zirkularitätsindex für binäre Indikatoren

Bei **Maßnahme 1** wirkt sich die verbesserte Wiederverwendung des Druckpulvers nur geringfügig auf den CO₂-Fußabdruck der Produkte aus, die im SLS-Verfahren hergestellt werden. Dadurch kann die Plastiko GmbH keine neuen Märkte erschließen oder den bisherigen Marktanteil erhöhen. **Folglich beträgt der zweite Zirkularitätsindex 0.**

Bei **Maßnahme 2** hat die Plastiko GmbH eine KI-basierte Anwendung eingeführt, die den Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Produktion ermöglicht. Weiterhin konnte durch die Maßnahme 2 der CO₂-Fußabdruck aller Produkte gesenkt werden, so dass die Plastiko GmbH neue Kundensegmente bedienen konnte, bei denen die Scope 2 und 3 Emissionen eine relevante Rolle bei der Beschaffung spielt. Dadurch konnte der Marktanteil effektiv erhöht werden (1). **Folglich beträgt der zweite Zirkularitätsindex 1.**

Zwei Zirkularitätsindizes bestimmen die Zirkularitätseffizienz

Der Beitrag einer Maßnahme zum Erreichen einer Zirkularitätsstrategie wird wie oben beschrieben anhand von zwei separaten Zirkularitätsindizes entsprechend ausgewiesen. Zur Abwägung, welche Maßnahme zur Verfolgung einer bestimmten Zirkularitätsstrategie umgesetzt werden soll, lassen sich die Indizes unterschiedlicher Maßnahmen miteinander vergleichen. Ein größerer Wert zeigt demnach eine positivere Nutzen-Aufwand-Relation und somit eine höhere Zirkularitätseffizienz dieser Maßnahme an.

Demonstrationsbeispiel – Bestimmung der Zirkularitätseffizienz

Aus Sicht der Plastiko GmbH weist **Maßnahme 2** (Einsatz von Sekundärmaterialien) eine höhere Zirkularitätseffizienz auf als **Maßnahme 1** (Weiter- und Wiedernutzung von Rohstoffen und Materialien): Während der Wert beim ersten Index mit +4 bei beiden identisch ist, hat Maßnahme 2 mit einem Wert von 1 beim zweiten Index ein besseres Resultat als Maßnahme 1 (Wert: 0) erzielt.

Im Ergebnis könnte das Unternehmen daher zu dem Schluss kommen, dass die **Maßnahme 1** nicht weiterverfolgt wird und verfügbare Ressourcen auf **Maßnahme 2** konzentriert werden. Je nachdem, welche Gesamtstrategie das Unternehmen verfolgt, kann es sich jedoch auch dazu entscheiden beide Maßnahmen fortzuführen.

2 STECKBRIEFE

Im Rahmen der Studie wurden Interviews mit Expertinnen und Experten aus KMU geführt, um Praxisnähe zu gewährleisten. Entsprechende Aussagen haben in den einschlägigen Kapiteln bereits einen Einblick in den unternehmerischen Alltag zum Nexus zwischen Digitalisierung, Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz ermöglicht. Um den Lesenden dieser Studie weitere, vertiefte Einblicke zu ermöglichen, wurden drei Unternehmensbeispiele ausgewählt und im Folgenden als Steckbriefe dargestellt. Die Darstellung als Steckbrief ermöglicht es schnell, wesentliche Informationen zu erfassen und zwischen den Beispielen vergleichen zu können. Die Auswahl der Beispiele erfolgte dahingehend anhand der Kriterien Unternehmensgröße, Branchenzugehörigkeit sowie Vorbildcharakter im Hinblick auf Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz. Jedoch musste auch auf die Zustimmung des jeweiligen Unternehmens bezüglich der Veröffentlichung geachtet werden.

Jeske Plast GmbH	
Größe	Das Unternehmen fällt in die Größenklasse 0 – 9 Mitarbeitende.
Branche	Das Unternehmen ist im Bereich Kunststoff-Spritzguss tätig und hat einen Fokus auf Industrieunternehmen.
Status quo der Ressourceneffizienz insb. im Hinblick auf Kreislaufwirtschaft	Es fallen so gut wie keine Abfälle an. Kunststoffe können ohne weiteres aufbereitet und wiederverwendet werden. Es gibt jedoch so gut wie keinen Rücklauf der Produkte, da diese lange in Gebrauch und nur ein Teil eines Endprodukts sind.
Bedeutung der Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft	Das Unternehmen setzt auf digitale Lösungen und ist papierlos. „Statistik ist das A und O“: Daten bilden die Grundlage für Planung, Optimierung usw. Ein Datenfluss über Unternehmensgrenzen hinweg findet hingegen kaum statt.
(Potenzial) der Ressourceneinsparung durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen	Die Verfolgbarkeit der Produkte ist nicht gegeben, wenn sie das Unternehmen verlassen. Die Industrie braucht mehr Anreize, z. B. Vorgaben für recyclingfähigen Kunststoff und zentrale Sammlung/Sortierung. Hier kann der Datenaustausch oder eine Datenbank zum Rohstoff ein wichtiger Hebel sein. Daten müssen gesammelt und gepflegt werden. Zudem fehlen die Schnittstellen für unternehmensübergreifende Kooperationen.
Messung der Ressourceneffizienzsteigerung durch diese Maßnahmen	Die Mülltonne ist der Gradmesser der Effizienz: Das Unternehmen produziert weniger Abfall als mancher Haushalt. Es wurde vor einigen Jahren zudem ein alternatives Energiemanagementsystem nach § 4 Abs. 6 SpaEfV etabliert ¹⁸⁹ .

¹⁸⁹ Vgl. BMJ (2013).

Maag GmbH

Größe	Das Unternehmen fällt in die Größenklasse 50 – 249 Mitarbeitende.
Branche	Die Maag GmbH ist auf die Herstellung flexibler Verpackungslösungen, z. B. für Fleisch, Backwaren, Snacks und Süßigkeiten, spezialisiert.
Status quo der Ressourceneffizienz insb. im Hinblick auf Kreislaufwirtschaft	Das Unternehmen ist seit 2023 zu 100 Prozent kreislauffähig. Die Hauptpunkte zur Erreichung dieser Eigenschaft sind die Verwendung einfach zu recycelnder Kunststoffe, die Nutzung von Leanmanagement ¹⁹⁰ zur Effizienzsteigerung von Prozessen, Produktion und Optimierung der Lagerhaltung. Das Unternehmen ist energetisch nahezu autark und erstellt freiwillig einen Nachhaltigkeitsbericht.
Bedeutung der Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft	Digitalisierung ist aus Sicht des Unternehmens der entscheidende Hebel für die Kreislaufwirtschaft: Durch den Datenaustausch zur Effizienzsteigerung entlang der Wertschöpfungskette können Potenziale gehoben werden (z. B. weniger Überschussproduktion, Übertragung der Materialeigenschaften, Prozessoptimierung).
(Potenzial) der Ressourceneinsparung durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen	Die Nutzung kreislauffähiger Kunststoffe kann optimiert werden. Der Datenaustausch über die Kunststoffe, die hergestellten Verpackungen und die Verkaufsmenge an die Kundschaft kann Ressourcen sparen und die Einführung einer Kreislaufwirtschaft ermöglichen.

¹⁹⁰ Vgl. Kyrrer, A. (2001), S. 330.

Messung der Ressourceneffizienzsteigerung durch diese Maßnahmen

Durch zusätzliche Maßnahmen, die seitens des Unternehmens durchgeführt wurden, ist eine genaue Zuordnung der Effekte schwierig. Seit 2016 konnten folgende Verbesserungen erreicht werden: auf gleichen Produktionsanlagen 30 Prozent mehr Output erzielt, 46 Prozent weniger CO₂ emittiert, 36 Prozent weniger Treibhausgase emittiert, 16 Prozent geringerer Energieverbrauch, elf Prozent geringerer Stromverbrauch, 32 Prozent geringerer Gasverbrauch, 39 Prozent weniger Wasserverbrauch. Seit 2010 konnte die Abfallmenge um 60 Prozent reduziert werden.

Seeger Lasertechnik GmbH

Größe	Das Unternehmen fällt in die Größenklasse 50 – 249 Mitarbeitende.
Branche	Die Seeger Lasertechnik GmbH befasst sich mit Metallverarbeitung (Blechbearbeitung, Schweißen, Biegen, Abkanten, Laserbeschriften usw.).
Status quo der Ressourceneffizienz insb. im Hinblick auf Kreislaufwirtschaft	Das Unternehmen verwendet insbesondere Stahl, welcher zu 99 Prozent recycelt wird. Das Unternehmen strebt die Steigerung der Energieeffizienz der Maschinen, die Nutzung erneuerbarer Energien und die Kombination von Abwärme mit Wärmepumpe und Geothermie (teuer und kompliziert, Effizienz steigt jedoch erheblich) an.
Bedeutung der Digitalisierung für die Kreislaufwirtschaft	Das Unternehmen setzt intern auf Digitalisierung. Bereits 2016 wurde ein ERP zur Wissensstandardisierung eingeführt. Es erfolgen eine standortübergreifende Produktionsplanung sowie insgesamt eine Effizienzsteigerung. Zudem wurden ein Onlineshop (inklusive automatisierter Angebotserstellung), eine Live-Cam für Kunden und Kundinnen sowie z. T. die Nutzung von KI umgesetzt.
(Potenzial) der Ressourceneinsparung durch digital gestützte zirkuläre Maßnahmen	Weitere Potenziale werden kaum noch gesehen. Zudem muss sich alles wirtschaftlich rechnen: Kundschaft besteht vor allem aus Kleinstunternehmen. Für diese lohnen sich ein automatisierter Datenaustausch und die Etablierung von Schnittstellen nicht.
Messung der Ressourceneffizienzsteigerung durch diese Maßnahmen	Es wird keine Messung der CO ₂ -Emissionen vorgenommen (diese sind durch Wärmepumpe und Geothermie jedoch gering). Der Energieverbrauch konnte um 25 Prozent gesenkt werden. Ansonsten wird der Energieverbrauch optimiert und Materialien werden recycelt.

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

