



IW-Gutachten

Digitalisierung als Enabler für Ressourceneffizienz in Unter- nehmen (Anhang)

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie - Anhang
Institut der deutschen Wirtschaft / IW Consult / WIK-Consult

Auftraggeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Fachreferat IVB4 / Referat IC4

Köln, 28.01.2021

Kontakt Daten Ansprechpartner

Dr. Adriana Neligan
+49 (0)30 / 27877 - 128
neligan@iwkoeln.de

Institut der deutschen Wirtschaft Köln
Postfach 10 19 42
50459 Köln

An dem Gutachten im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie haben außerdem mitgewirkt (in alphabetischer Reihenfolge):

Barbara Engels, Dr. Thilo Schaefer, Carmen Schleicher (IW)
Manuel Fritsch, Edgar Schmitz, Ralf Wiegand (IW Consult)
Dr. René C. G. Arnold (WIK Consult)

In diesem Gutachten wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Ausdrücklich sind hier damit alle Geschlechteridentitäten gemeint. Dort, wo geschlechtsspezifische Daten und Befunde aus methodischen Gründen zu berücksichtigen sind, werden diese kenntlich gemacht.

Inhaltsverzeichnis

1	Anhang A1	4
1.1	Ergebnisse des ersten Expertenworkshops: Thesen-Check	4
1.2	Ergebnisse des zweiten Expertenworkshops: Fragebogen-Check	6
1.3	Ergebnisse der Experteninterviews	10
2	Anhang A2	12
2.1	Literaturüberblick: Ressourcen und Ressourceneffizienz	12
3	Anhang A3	14
3.1	Identifikation und Mapping: Ansätze zur Steigerung von Ressourceneffizienz	14
3.2	Identifikation und Mapping: relevante digitale Technologien/Anwendungen	27
3.3	Mapping: Digitale Technologien für Maßnahmen der Ressourceneffizienz	47
3.4	Identifikation und Mapping: Digitale Geschäftsmodelle für Ressourceneffizienz	59
3.5	Beschreibung und Mapping: Digitale Wertschöpfungsketten/-netze	75
4	Literaturverzeichnis (Anhang)	86
	Tabellenverzeichnis	96
	Abbildungsverzeichnis	97

1 Anhang A1

1.1 Ergebnisse des ersten Expertenworkshops: Thesen-Check

Themenforum 1: Strategische Ziele

- Einig waren sich die Teilnehmer des Themenforums 1, dass Ressourceneffizienz per se auch ohne Digitalisierung möglich ist. Insofern wurde die These, dass die Digitalisierung eine Voraussetzung für Ressourceneffizienz ist, in ihrer Überspitzung nicht unterstützt. Digitalisierung kann Enabler für (zusätzliche) Ressourceneffizienz sein, ist aber eher ein Prozess, der viele (teilweise) zusätzliche Chancen für die Umsetzung von Ressourceneffizienz bietet. Wenn ein Unternehmen Digitalisierung umsetzt, bedeutet das aber auch nicht, dass es automatisch effizienter mit Ressourcen umgeht.
- Um die Möglichkeiten, die Digitalisierung ohne Zweifel für Ressourceneffizienz bietet, optimal zu nutzen, müssen beide Aspekte holistisch betrachtet und ihre zahlreichen möglichen Wechselwirkungen bewertet werden. Allerdings findet Digitalisierung in vielen Unternehmen heute schlicht komplett getrennt von den Überlegungen zu Ressourceneffizienz statt. Das bedeutet ebenfalls, dass Ressourceneffizienz keine Zielgröße für die Erfolgsmessung von Digitalisierung ist. Gerade mit Blick auf die möglichen negativen Auswirkungen von Digitalisierung selbst auf die Ressourceneffizienz kann Digitalisierung somit unter Umständen eine Herausforderung für die langfristige und umfassende Steigerung der Ressourceneffizienz in Unternehmen darstellen.
- Manche Teilnehmer des Themenforums 1 schätzten die Potenziale der Ressourceneffizienzsteigerung ohne Digitalisierung schon als zu großen Teilen ausgeschöpft ein. Digitalisierung sahen diese Teilnehmer als einen Schlüssel sowohl zu Sichtbarmachung von zusätzlichen Potenzialen, die bisher noch ungenutzt sind, als auch von bislang weniger offensichtlichen Zusammenhängen über Daten und Analysen. Dies bestätigt die These, dass Digitalisierung Ressourceneffizienz und Einsparpotenziale messbar macht. Ressourceneffizienz muss grundsätzlich über den gesamten Produktlebenszyklus betrachtet werden und Digitalisierungsprozesse können hierbei unterstützen. Dabei wurden Material Flow Cost Accounting sowie Blockchain als zwei Technologien und Lernfabriken im Sinne von Ultraeffizienzfabriken mit großem Potenzial identifiziert.

Themenforum 2: Innerbetriebliche Umsetzung im Geschäftsmodell

- In Themenforum 2 wurden zentrale Voraussetzungen zur Steigerung von Ressourceneffizienz mit Digitalisierung identifiziert: IT-Sicherheit, Infrastruktur, „Digitale Mitarbeiter“ sowie Standards und Normen. Zudem wurde hervorgehoben, wie schwierig die Entscheidung Eigenentwicklung versus Einkauf von fertigen Softwarelösungen ist.
- Bei der These „Ressourceneffizienz manifestiert sich eher in Konzepten unternehmerischen Handelns denn in Geschäftsmodellen“ sahen die Teilnehmer kein „entweder oder“, sondern ein „sowohl als auch“, da eine Verbesserung der Produktionsprozesse gleichzeitig auch zu

einem neuen Geschäftsmodell führen kann. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) starten häufig kleinteilig mit Prozessverbesserungen; veränderte/neue Geschäftsmodelle wie Serviceangebote folgen danach. Häufig zwingt die Nachfrage zu neuen Geschäftsmodellen: große Unternehmen fordern häufig digitale Lösungen von KMU ein. Plattformen, wie beispielsweise Amazon, sind hier die Treiber.

- Geteilt waren die Meinungen in Themenforum 2, ob für Ressourceneffizienz alle betrieblichen Prozesse einbezogen werden müssen. Grundsätzlich ist die Zusammenarbeit über alle Bereiche beziehungsweise in allen Bereichen eines Unternehmens wichtig. Ressourceneffizienz-Governance ist wichtig und sollte ein strategisches unternehmerisches Ziel sein. Es ergeben sich durch die Digitalisierung positive Skaleneffekte für Ressourceneffizienz, die jedoch schwer messbar sind.
- Die Umsetzung einer Komplettlösung sorgt zunächst für höhere Investitionen und Humankapital für die Zukunft. Dabei ist unsicher, ob man dadurch auch wirklich höhere Ressourceneffizienz erreichen wird. Häufig überfordern solche Komplettlösungen auch KMU aufgrund der Komplexität. Zudem ist die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen von zentraler Bedeutung, aber Transparenz und Effizienz erzeugen insbesondere für KMU auch Kostendruck. Einerseits sollten Synergieeffekte insgesamt besser genutzt werden, gleichzeitig sollte nicht die Supply Chain negative Folgen tragen müssen, indem Kostenreduktionen gefordert werden.

Themenforum 3: Wertschöpfungsketten/-netze

- In der Zusammenarbeit zwischen Unternehmen in Wertschöpfungsketten und Produktionsnetzwerken wurde Digitalisierung als wesentliche Voraussetzung gesehen. Ein zentraler Diskussionspunkt in Themenforum 3 war der Umstand, dass für einen einzelnen Akteur in einer Wertschöpfungskette weniger das Gesamtergebnis und die Ressourceneffizienz bezogen auf das Endprodukt, sondern vielmehr seine unmittelbare Geschäftsbeziehung mit dem nächsten (meist Business-to-Business-Kunden (B2B)) in der Kette relevant ist. Das kann zu nachteiligen Ergebnissen hinsichtlich der Ressourceneffizienz insgesamt führen und ließe sich nur dadurch lösen, dass der Endkunde klare Vorgaben und Ziele für Ressourceneffizienz formuliert.
- KMU sind nicht per se besser aufgestellt. Je nach Konstellation können sie Treiber sein, sowie agiler und flexibler agieren. Häufig fehlen jedoch Ressourcen in Fachexpertise oder notwendige Investitionsmittel, während größere Unternehmen auch bei der Digitalisierung Größenvorteile nutzen können. Im Endeffekt kommt es auf die Branche und nicht zuletzt auf die spezifische Konstellation eines Netzwerks an, ob KMU eher profitieren können oder nicht.

1.2 Ergebnisse des zweiten Expertenworkshops: Fragebogen-Check

Der Fokus lag hier auf der Diskussion des Fragebogenkonzepts mit folgenden Themenbereichen:

Wesentliche Treiber für Digitalisierung und/oder Ressourceneffizienz

- Kosten- und Wettbewerbsdruck
- Vorgaben durch Auflagen und Ge-/Verbote (insbesondere in Deutschland/Europäische Union)
- Innovationsdruck
- CO₂-Reporting und -Minderungsstrategien
- Problemlösung für Umweltthematik im Unternehmen

Wesentliche Hemmnisse für Ressourceneffizienz durch Digitalisierung:

- Return on Investment ist entscheidendes Kriterium (Unterschiede in der Fristigkeit je nach Inhaberstruktur).
- Häufig sind Kriterien wie Effizienz, Produktivität und Ausfälle relevantere unternehmerische Kriterien.
- Effizienzverbesserungen finden in der Regel produktbezogen statt.
- Ressourceneffizienz und Digitalisierung wird in den meisten Unternehmen getrennt gedacht, in unterschiedlichen Abteilungen und von unterschiedlichen Altersgruppen.
- Überwachung/Sensorik oder auch Additive Manufacturing werden häufig nicht im Zusammenhang von Ressourceneffizienz und Digitalisierung gesehen.
- Häufig werden die Potenziale für Ressourceneffizienz beispielsweise durch eine Echtzeitüberwachung aber auch durch additive Fertigung oder einen digitalen Zwilling noch nicht erkannt. Große Unternehmen wie Siemens/Bosch bieten für KMU hier Lösungen an.
- Zudem wird die Rolle von Plattformen im Kontext von Rohstoffen und Sekundärrohstoffen noch nicht gesehen.

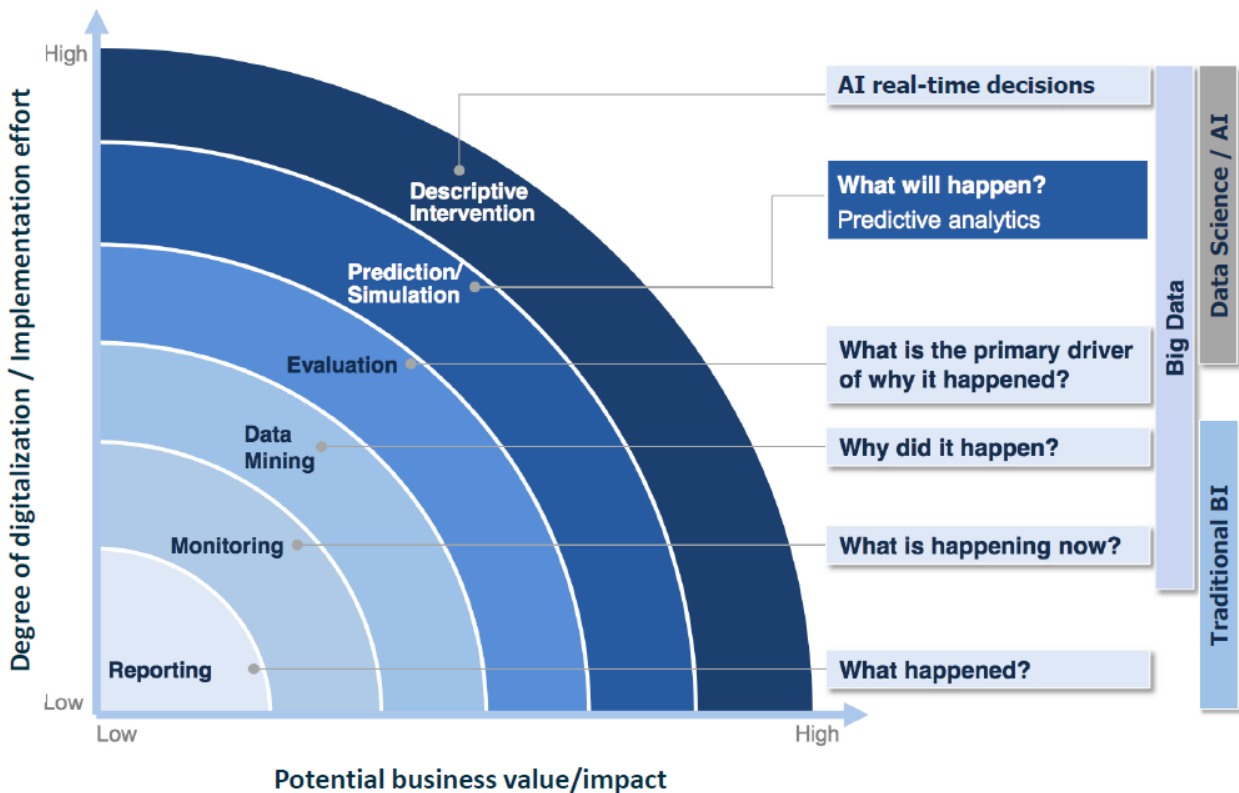
Digitalisierungsgrad der Unternehmen

- Was bedeutet Digitalisierung? Begriffsklärung, auch Trennung von Digitalisierung und Industrie 4.0 sind notwendig. Welche Unternehmen setzen tatsächlich KI, additive Fertigung und digitale Zwillinge ein?
- In welcher Reihenfolge findet Digitalisierung statt? Was sind Digitalisierungsschritte?

- Diskutiert wurden neben einer Einteilung wie in Abbildung 1-1 auch die Einteilung
 - 1) Digitaler Twin
 - 2) Intelligente Prozesse
 - 3) Intelligente Produkte
 - 4) Künstliche Intelligenz

- An welcher Stelle setzt ein Unternehmen sinnvollerweise an? Wo beginnt es? Was ist zu tun? Wie kommt es auf das nächste Digitalisierungslevel? Wie ist die Kosten-Nutzen-Relation einer Digitalisierungsmaßnahme? Das Ganze stellt eine besondere Herausforderung für KMU dar.

Abbildung 1-1: Digitalisierungsschritte



Quelle: auf Basis von McKinsey & Company (2013)

Potenziale für mehr Ressourceneffizienz durch Digitalisierung

- Es gibt mehrere Ebenen der Ressourceneffizienz: Optimieren und veränderte Prozesse/Produkte.
- Die Ziele von Materialeinsparung und Verwendung des eingesparten Materials können sein: Ressourcen sparen, Kosten sparen, Umwelt schonen.

- Steuerung der Produktionsprozesse und Optimierung des Designs im Hinblick auf Kreislauf-führung (z. B. Demontage und anschließende Verwendung).
- Neue Geschäftsmodelle (beispielsweise in der Kreislaufführung, z. B. demontierfreundliches Geschäftsmodell)
- Intelligente Verknüpfung von Daten: Kenntnisse und Transparenz der betrieblichen Abläufe sind Voraussetzungen, um Potenziale und Maßnahmen zur Effizienzsteigerung zu identifizieren, zum Beispiel auch die Verbindung von Forschungs- und Produktionsdaten. Daten sind der Dreh- und Angelpunkt.
- Was kann Digitalisierung leisten? Transparenz/Nachverfolgbarkeit, Benchmarking, digitale Abbildung von Systemen. Transparenz kann aber Chance und Hemmnis sein, notwendig ist es, Dateneigentum und Zugriffsmöglichkeiten klar zu konfigurieren.
- Mitarbeiterperspektive:
 - Schulung der Mitarbeiter in/durch digitale(n) Methoden
 - Implementierung von Digitalisierungsschritten
 - Bottom-up-Feedback bei den Mitarbeitern einholen: Ideenmanagement
 - Verständnis für das Gesamtsystem verbessern

Wünsche an die Politik

- Förderprogramme
 - ...erreichen nur einige Unternehmen.
 - ...zur Grundlagenforschung wichtig.
 - ...können zu Mitnahmeeffekten führen.
 - ...können erfolgreiche Projekte bekanntmachen (aus Politik-Sicht).
- Alternative Ansätze
 - Beratung für Ressourceneffizienzpotenziale (durch Digitalisierung) in Unternehmen
 - Demonstrationsvorhaben
 - Cluster von Produktion und Wissenschaft fördern
 - Schulung von Mitarbeitern (s. o.)

- Leitfaden
- Startups fördern
- Infrastruktur / Rahmenbedingungen
 - Voraussetzungen für Vernetzung zwischen Unternehmen schaffen und gewährleisten
 - Zielkonflikte auflösen (z. B. zwischen Abfallrecht, Umweltauflagen und Circular Economy)
 - Mehr Agilität in Entscheidungsprozessen

Ressourceneffizienz und ...

- ...Klimaschutz
 - Abgrenzung, klare Begriffe: Klimaschutz durch Ressourceneffizienz
 - Fokus in dieser Studie: Materialeffizienz
 - Klimaschutz als Zugpferd für Ressourceneffizienz
 - Häufig wird die CO₂-Frage stark prozessbezogen und weniger produktbezogen angegangen.
- ...Circular Economy
 - Notwendig sind klare Abgrenzungen: Kreislaufführung von Stoffen (≠ Kreislauf-/Abfallwirtschaft)
 - Daten: Transparenz von Unternehmensabläufen nach außen ist für Unternehmen problematisch. Nachverfolgbarkeit von eingesetzten (Teil-)Stoffen ist für Kreislaufführung notwendig. Digitalisierung kann Qualität der Kreislaufführung verbessern, zum Beispiel mit QR-Code.
 - „Anything as a service“ / Leasing: Im B2B-Bereich ist es bereits gut einsetzbar. Langlebigkeit wird wichtiges Produktmerkmal im eigenen Unternehmensinteresse.

Wichtige weitere Aspekte

- Fragebogen: gut erklärte, verständliche Items + offene Frage („sonstiges, und zwar...“)
- Leitfaden: KMU in ihrer Praxis erreichen

- Innerbetriebliche (betriebswirtschaftliche) Perspektive (These): Je höher der Digitalisierungsgrad, desto größer das Ressourceneffizienzpotenzial.
- Hinweis auf WGP-Studie zu KI in der Produktion: https://wgp.de/wp-content/uploads/WGP-Standpunkt_KI-final_20190906-2.pdf

1.3 Ergebnisse der Experteninterviews

Kernfrage: Ist Digitalisierung ein Erfolgsfaktor für Ressourceneffizienz?

- Für alle befragten Unternehmen ist Digitalisierung ein wesentlicher strategischer Erfolgsfaktor, auch wenn sie verschiedene Ressourceneffizienzziele verfolgen. Das können Optimierung, Remanufacturing, Recycling oder auch kollaborative Ansätze sein. Das gilt unabhängig davon, ob es sich um ein verarbeitendes Unternehmen, einen Lösungsanbieter oder einen Marktplatzanbieter handelt.
- Einige Unternehmen bestätigen, dass ihr Geschäftsmodell nur noch mit Digitalisierung funktioniert. Denn Digitalisierung – insbesondere in der Entwicklung – ermöglicht den Unternehmen, ihr Geschäftsmodell grundlegend zu ändern: weg vom reinen Produzenten zum Anbieter von Problemlösungen. Unternehmen müssen stärker kollaborativ arbeiten und entsprechende smarte Angebote machen. Digitalisierung kann bei der Vernetzung und dem Zugang helfen. Kreislaufführung betrifft nicht nur den Produktzyklus, sondern auch das Produktdesign. Anreize dafür entstehen für das Unternehmen, wenn Produkte nicht zum Erwerb sondern "as a service" angeboten werden oder wenn das Unternehmen die verwendeten Materialien für die eigene Produktion wiederverwenden kann.
- Digitalisierung wird auch als eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Kreislaufwirtschaft gesehen. Ohne Datenerhebung oder Transparenzmachung ist das „Kreisen“ nicht möglich. Auch das Nachverfolgen von Stoffströmen in der Wertschöpfungskette ist insbesondere im internationalen Kontext schwierig. Über Tagging, Tracing und Tracking könnte hier die Transparenz in der Wertschöpfungskette erhöht werden.
- Digitalisierung kann aber ebenfalls eine wichtige Rolle einnehmen, wenn es darum geht, möglichst sinnvolle und effiziente Standards und Kennzeichnungen von (recyclten) Materialströmen zu entwickeln.
- Zentral ist, dass Digitalisierung ganzheitlich und strukturiert zusammengeführt gedacht wird und es keine Inseln der Datensammlung/-auswertung von verschiedenen Prozessen mehr gibt. Wichtige Schlagwörter sind hier Durchgängigkeit aller Prozesse, Transparenz und Vergleichbarkeit über Standards. Die digitale Fabrik kann diese Anforderungen erfüllen. Allerdings wurde auch angemerkt, dass eine dezentrale Datenerfassung in den einzelnen Unternehmensbereichen auch sinnvoll sein kann, solange es gemeinsame Standards gibt.
- An verschiedenen Stellen wurde von den Experten die Wichtigkeit der Simulation hervorgehoben. Für eine ressourceneffiziente Produktionsplanung und Produktentwicklung spielt der

digitale Zwilling eine wichtige Rolle. Er kann auch dazu beitragen, dass weniger physisch im Labor getestet werden muss, sondern über die virtuelle Simulation viele Möglichkeiten der Optimierung des Materialmixes oder der Reduktion des Materialinputs durchgespielt werden können.

- Legacy-Systeme und Strukturen sind das größte Hemmnis für eine durchgängige Digitalisierung der Prozesse. Denn die Umrüstung von Bestandsanlagen mit digitaler Technik wie Sensorik ist wesentlich anspruchsvoller als die Entwicklung von Neuanlagen. Entscheidend für den Erfolg von Digitalisierung als Enabler für Ressourceneffizienz war bei einigen Unternehmen die Möglichkeit, „from scratch“ eine neue Fertigung aufzusetzen.
- Als Hemmnisse werden auch die fehlende „Power“ genannt – das kann Abhängigkeit von externem Know-how beziehungsweise fehlenden Kompetenzen sein, aber auch der notwendige lange Atem und eine bestimmte Risikobereitschaft. Genannt wurde auch das Problem der fehlenden Offenheit/Akzeptanz bei Kunden, beispielsweise für Cloud-Lösungen, um eine durchgängige Digitalisierung hinzubekommen. Hier sind eine bessere Rechtsicherheit und Datenschutz wichtig.
- Die richtige Software spielt eine entscheidende Rolle für die erfolgreiche Umsetzung der gesteckten Ziele, allerdings stellt die Softwareentwicklung auch einen großen Kostenfaktor dar. Auch diskutiert wurde die Problematik der Abhängigkeit von eingekaufter Software, da hier viel Support und nachträgliche Individualisierung der gekauften Lösungen notwendig ist, was Zeit und Geld kostet. Ein Experte ist sogar der Meinung, wer digitaler Champion werden will, muss eigene Lösungen entwickeln und für sein Geschäftsmodell nutzen.
- Ein Wunsch an die Politik ist ein klares Bekenntnis zu einer Kreislaufwirtschaft. Die Politik sollte hier eine Vorreiterrolle einnehmen. Hierfür ist es notwendig, über Regulierungen damit verbundene Anreize zu schaffen und das Vergaberecht entsprechend anzupassen. Auf der Wunschliste sind neben einer adäquaten IT-Infrastruktur, Rechtssicherheit und Bürokratieabbau auch die Forderung, dem Fachkräfteengpass, insbesondere bei Informatikern, entgegenzuwirken und die duale Ausbildung stärker auf die digitale Transformation auszurichten.

2 Anhang A2

2.1 Literaturüberblick: Ressourcen und Ressourceneffizienz

In der politischen Diskussion versteht man häufig unter der Steigerung der Ressourceneffizienz die Schonung natürlicher Ressourcen, insbesondere beim Einsatz von Rohstoffen und Wasser, bei der Inanspruchnahme von Flächen und bei der Minderung von Umweltbelastungen (Schmidt et al, 2017, 13). Auch die Richtlinie VDI 4800 Blatt 1, die abgestimmte Definitionen und methodische Grundlagen zur Bewertung von Ressourceneffizienz liefert, orientiert sich an einer solchen breiten Definition „natürlicher Ressourcen“. Hierzu zählen die erneuerbaren und nicht-erneuerbaren Primärrohstoffe, Energieressourcen, aber auch Flächen oder Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft) als Senken für Abfälle oder Emissionen sowie Ökosystemleistungen. Ähnliche Definitionen für natürliche Ressourcen liegen sowohl im nationalen politischen Kontext (Deutsche Bundesregierung, 2012; UBA, 2016; UBA, 2012) aber auch auf europäischer Ebene vor (Eurostat, o. J.; EEA, 2016). VDI ZRE (2017a) orientiert sich auch an dem Ressourcenbegriff der VDI-Richtlinie, unterscheidet jedoch vier verschiedene Ressourcenbegriffe (natürliche, betriebliche, materielle betriebliche und immaterielle betriebliche Ressourcen), um die gängigen betrieblichen Ressourcen den dadurch beeinflussten natürlichen Ressourcen zuordnen zu können. Damit soll die gesellschaftliche Zielstellung der Reduzierung des Ressourcenverbrauchs mit betrieblichen Handlungsmöglichkeiten verknüpft werden. VDI ZRE (2017a) identifiziert als Schnittmenge beider Definitionen die Teilmenge betrieblicher Ressourcen: materielle betriebliche Ressourcen, nämlich Materialien und Energie (Schebek, 2018, 69). Es zeigt sich, dass die natürlichen Ressourcen durch bestimmte betriebliche Ressourcen beeinflusst werden, wie Endenergieverbrauch, Materialien und Fläche/Boden. Diese Teilmenge stellt materielle betriebliche Ressourcen dar. Darüber hinaus führen auf betrieblicher Ebene auch Emissionen in Luft und Wasser sowie der Anfall von Abfällen zum Verbrauch natürlicher Ressourcen in Form der Beanspruchung der Tragfähigkeit der Umwelt (VDI ZRE, 2017, 22).

Wesentliche Anstrengungen zur Ressourceneffizienz und Maßnahmen auf betrieblicher Ebene zielen grundsätzlich auf die Einsparungen von Primärrohstoffen und Energieressourcen, auf die Verringerungen der Umweltbelastungen (Emissionen, Abfälle, Abwasser), auf die Erhöhung der Versorgungssicherheit und der Reduzierung der Kosten. Allerdings ist bereits die letzte Frage schwierig zu beantworten, da die Kostenrechnung und das Controlling selten auf Ressourceneffizienz im hier verwendeten Sinn ausgerichtet sind. Noch viel schwieriger ist die Beantwortung der anderen Aspekte, die über den rein betrieblichen Rahmen hinausgehen. Notwendig wären detaillierte Betrachtungen in der Wertschöpfungskette oder im Lebensweg eines Produkts („Life Cycle“) (Schmidt et al, 2017, 27).

Wenn man, wie in der VDI-Richtlinie 4800 den Lebensweggedanken berücksichtigt, muss eine Maßnahme die Ressourceneffizienz insgesamt verbessern, da sonst keine Ressourcenschonung stattfindet. Das bedeutet, dass es innerhalb einer Wertschöpfungskette oder eines Produktlebenswegs nicht einfach nur zu lokalen Verschiebungen des Aufwands, beispielsweise zum Lieferanten, kommen sollte. Die VDI-Richtlinie gibt hier auch Maßgaben vor, für welche Maßnahmenstrategien zur Ressourceneffizienz eine Lebensweganalyse erforderlich und wann sie verzichtbar ist (Schmidt et al, 2017, 14). Grundsätzlich verfügbar sind Methoden und Instrumente

aus der Produktionsplanung, der Prozesssteuerung, dem Umwelt- und Energiemanagement oder dem Lean Management (Schmidt et al, 2017, 39). Auch Analysen wie Ökobilanzierungen und Stoffstromanalysen sind hier hilfreich zur Erfassung relevanter Umweltkennzahlen, Wirkungen und Lebensweganalysen, aber häufig sehr komplex und aufwändig in der Durchführung. Deswegen werden diese Instrumente und Analysemethoden nicht flächendeckend von allen Unternehmen genutzt. Beispielsweise haben nur rund 8.000 Organisationen ein Umweltmanagementsystem nach ISO 14001 implementiert. Im Dezember 2019 waren 1.150 Organisationen und 2.176 Standorten in Deutschland bei EMAS registriert (UBA, 2020a; UBA, 2020b). Weitergehende Analyseinstrumente, wie zum Beispiel der CO₂-Abdruck sind bekannt, aber werden wegen der Komplexität eher nicht angewendet. Zudem zeigte VDI ZRE (2017a), dass die dort im Rahmen von Fallstudien befragten Unternehmen grundsätzlich Maschinen- und Prozessdaten erfassen, aber es keine gezielte Aufbereitung über den Effekt der Digitalisierung gibt (Schebek, 2018, 71).

Bislang gibt es keine einheitliche Definition von Ressourceneffizienz. Aus volkswirtschaftlicher Sicht wurden sowohl auf nationaler als auch europäischer Ebene Indikatorensets aufgestellt, um die Fortschritte in der Ressourcennutzung abzubilden. Eine Übersicht wesentlicher Indikatoren mit ihren Vor- und Nachteilen liefert Biebeler/Lang (2014). In Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) ist die Rohstoffproduktivität ein wichtiger Bezugspunkt, die um die Gesamtrohstoffproduktivität ergänzt wurde, um nicht nur biotische Rohstoffe, sondern auch die mit den Importen zusammenhängenden gesamten Primärrohstoffeinsätze zu berücksichtigen. Damit wird gewährleistet, dass Produktivitätssteigerungen nicht fälschlicherweise dadurch angezeigt werden, dass rohstoffintensive Prozesse ins Ausland verlagert werden (BMU, 2020).

Aus ökonomischer Perspektive versteht man unter „Effizienz“ die Erzeugung eines vorgegebenen Outputs durch einen minimalen Input oder als die Erzeugung eines maximalen Outputs durch einen vorgegebenen Input. Versteht man Effizienz als graduierbares Merkmal, kann sie ähnlich wie die Produktivität als Output je Input definiert werden. Dabei ist eine Darstellung in monetären Größen möglich aber nicht zwingend (Biebeler, 2014, 11). Effizienz ist somit das Verhältnis eines bestimmten Nutzens, Produktes oder einer Serviceleistung zum dafür nötigen Aufwand beziehungsweise Rohstoffeinsatz (UBA, 2016, 66).

Unter Aufwand wird aber nicht nur der Ressourceneinsatz verstanden, wie dies bei der Produktivität der Fall ist, sondern es werden auch Eingriffe in die Natur hinzugerechnet. VDI ZRE (o. J.) unterscheidet deswegen bei seiner Definition von Ressourceneffizienz beim Aufwand zwischen dem zum Erreichen eines Nutzens notwendigen „technisch-wirtschaftlichem Aufwand“ (Personal, Betriebsmittel, Kapital) und „umweltbezogenen Aufwand“ (Energie, Rohstoffe, Beanspruchung von Umweltmedien) (Biebeler, 2014; VDI ZRE, o. J.).

Die Richtlinie VDI 4800 Blatt 1 definiert Ressourceneffizienz auch als das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz (VDI, 2016). VDI ZRE (2017a) hebt richtigerweise hervor, dass dabei auch der Nutzen oder das Ergebnis definiert werden müssen. Dies kann die Herstellung eines Produkts, die Durchführung eines Prozesses, aber auch eine Dienstleistung wie ein Warentransport oder die Bereitstellung von Informationen über elektronische Medien sein (VDI ZRE, 2017, 24).

Der Rückgriff auf Sekundärrohstoffe (Recyclingmaterialien, Reststoffe aus eigener oder fremder Produktion) lässt sich aber auch aus dem Blickwinkel der Nutzung natürlicher Ressourcen in der verallgemeinerten Fassung des Begriffs „Effizienz“ einbeziehen. Werden diese im eigenen Produktionsprozess eingesetzt, kann von einer Erhöhung der Effizienz gesprochen werden, ebenso bei einer Verwertung von Reststoffen aus der eigenen Produktion in einem fremden Produktionsprozess. Nicht verwertete Abfälle sind Hinweise auf technische Ineffizienzen. Allerdings müssen eine Doppelanrechnung vermieden sowie zusätzlichen Anstrengungen für Transport und Recycling miteinbezogen werden (Biebeler, 2014, 12). Die VDI-Richtlinie liefert klare Regeln in Bezug auf den Umgang mit Sekundärrohstoffen (VDI, 2016, 16).

3 Anhang A3

3.1 Identifikation und Mapping: Ansätze zur Steigerung von Ressourceneffizienz

Es wurden mehr als 140 konkrete Maßnahmen identifiziert, die dann zunächst als insgesamt übergeordnete 27 Maßnahmen und dann noch zu neun Ansätzen geclustert und zusammengefasst wurden (Abbildung 3-1). In einem weiteren Schritt wurde auch geprüft, ob die Maßnahmen eher auf der Produkt- und/oder Prozessebene verortet werden können, wobei eine Unterscheidung nicht immer eindeutig ist.

Abbildung 3-1: Auswahl und Clusterung der Ressourceneffizienzmaßnahmen

Schematische Übersicht



Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

Auf dieser abstrakten Ebene können nur grobe Tendenzen ermittelt werden. Im Folgenden werden die in der Literaturanalyse identifizierten konkreten Maßnahmen und damit verbundenen übergeordneten Maßnahmen, die sich hinter den oben vorgestellten Ansätzen verbergen, in einen systematischen Überblick gebracht (siehe Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2). Dabei wird auch wie oben analysiert, auf welche Weise („Weg“) die Ressourceneffizienz damit gesteigert wird. Diese tiefgliedrige Darstellung war für die Konzeption der Unternehmensbefragung hilfreich, da die Maßnahmensicht stärker auf die Anwendungsebene abzielt. Damit wurde auch sichergestellt, dass eine umfassende Betrachtung konkreter Ressourceneffizienzmaßnahmen erfolgt; gleichzeitig ermöglicht eine sinnvolle Bündelung dieser Maßnahmen zu übergeordneten Maßnahmen später im Kontext der Digitalisierung ein überblickbares Mapping. Das spätere Mapping

im Hinblick auf digitale Technologien wird so nicht durch relativ tiefgliedrige Maßnahmen erschwert, gleichzeitig wird keine Maßnahme außer Acht gelassen.

Auf der **Produktebene** können vier Ansätze identifiziert werden. Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über 80 kleinteiligere konkrete Maßnahmen und fasst diese in 15 übergeordnete Maßnahmen zusammen:

- Drei der vier Ansätze setzen direkt bei der Produktgestaltung an, um Ressourceneffizienz zu optimieren beziehungsweise über Kreislaufführbarkeit und Langlebigkeit die Ressourceneffizienz zu steigern. Dabei gibt es zahlreiche konkrete Maßnahmen, die Unternehmen hier nutzen und die erhebliche Einsparungen bewirken können. Die Design-Phase bestimmt über bis zu 80 Prozent des Energie- und Ressourcenverbrauchs von Produkten in ihrem gesamten Lebenszyklus.
- Über Produkt-Service-Systeme werden Produkte um Serviceleistungen erweitert, was aber auch zur Folge haben kann, dass das Kernprodukt für das Serviceangebot erweitert werden muss. Dabei zeigt es sich, dass Maßnahmen mit vielfältigen Zielrichtungen möglich sind.

Auf der **Prozessebene** wurden fünf Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz mit zwölf übergeordneten sowie 61 dahinter liegenden konkreten Maßnahmen identifiziert und mit den grundlegenden Wegen gemappt (Tabelle 3-2):

- Mit einem ressourceneffizienzorientierten ganzheitlichen Managementsystem können alle drei Wege zur Steigerung der Ressourceneffizienz eingeschlagen werden. Dabei zeigen die konkreten Maßnahmen, dass es sich hier um strategische Maßnahmen von der Umsetzung in Normen, neuen Produktionsmustern und einer ressourceneffizienten Gestaltung von Wertschöpfungsketten bis hin zur besseren Qualifikation von Mitarbeitern und Produktdokumentation handeln kann.
- Mit der Zielsetzung Ressourcen einzusparen werden Maßnahmen mit Ansätzen der Optimierung (REDUCE) und Energieeinsparung/-effizienz in den Unternehmen genutzt. Dies können Maßnahmen zur Optimierung der Herstellungsprozesse oder auch eine abfallarme Produktion bedeuten, aber auch Maßnahmen, die den Energieverbrauch mindern oder die Energieeffizienz steigern.
- Ressourcen mehrmalig zu gebrauchen, gelingt Unternehmen mit Maßnahmen zur Kreislaufführung. Diese können betriebsintern, aber auch betriebsübergreifend sein. Hier sind vor allem Maßnahmen zur Wiederverwendung und -verwertung relevant.

Zur Reduzierung der Komplexität wird in den späteren Mappings auf die Nutzung konkreter Maßnahmen verzichtet, stattdessen wird auf die übergeordneten Maßnahmen und Ansätze zurückgegriffen. Beim Thema Optimierung der Produktionsprozesse werden bei den beiden übergeordneten Maßnahmen „Verwendung neuer Techniken“ sowie „Verwendung neuer Technologien“, die Digitalisierung ausgeklammert, um Zirkelschlüsse bei den Mappings mit digitalen Technologien zu vermeiden.

Tabelle 3-1: Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz aus Produktsicht

Ein Kreuz („x“) bedeutet, dass die Maßnahme in der jeweiligen Zeile den Weg zur Steigerung der Ressourceneffizienz verfolgt, was in der jeweiligen Spalte vermerkt ist. Ein weniger starker, aber dennoch existierender Zusammenhang wird mit einem Kreuz in Klammern („(x)“) gekennzeichnet.

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
I. Design for resource efficiency: Ressourceneffizienzoptimierte Produktentwicklung/-gestaltung				
Werkstoffauswahl/Materialsubstitution	Einsatz Sekundärrohstoffe/Recyclingmaterialien			x
	Einsatz Rohmaterial mit umweltverträglichen/effizienteren Herstellungsprozessen, Vermeiden toxischer Werkstoffe/Bestandteile bzw. mit bekannt problematischer Herkunft	x		x
	Einsatz nachwachsende Rohstoffe			x
	Einsatz neuartige Werkstoffe			
	Optimieren von Bauteilgröße und -auslegung	x		
	Anwendung von Verschleißschutz, Korrosionsschutz und Hartstoffschichten	x		(x)
	Vermeiden des Einsatzes untrennbarer Werkstoffverbunde, Einsatz von Bauteilen/Baugruppen aus jeweils einem Material (Einstoffteile)		x	x
	Ressourceneffiziente Gestaltung der Verpackung	x		
Leichtbauweise	Verminderung des Werkstoffeinsatzes bei gleichbleibendem Werkstoff	x		
	Einsatz leichterer Werkstoffe	x		
	Veränderung der Produktstruktur	x		
Miniaturisierung	Miniaturisierung elektronischer Bauelemente, Baugruppen und Produkte	x		(x)

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
Fertigungsgerechte Produktgestaltung	Integrierte Bauweise	x		
	Reduktion des Bearbeitungsvolumens, z. B. endabmessungsnahes Umformen	x		
	Reduktion der Fertigungsschritte	x		
	Intelligenter Zukauf von Bauteilen	x		
	Vereinheitlichung des Fertigungsverfahrens durch standardisierte Baureihen, Einsatz von einheitlichem Werkzeug und Erhöhung der Losgrößen	x	(x)	(x)
Nutzungsgerechte Produktgestaltung	Umweltschädliche Fehlnutzung möglichst vermeiden			
	Aktuellen Verbrauch des Produkts in der Nutzungsphase anzeigen	x		
	Energiebedarf in der Nutzungsphase durch Erhöhung des Wirkungsgrads und Wahl eines geeigneteren Funktionsprinzips verbessern	x		
	Einsatz erneuerbarer Energieträger in der Nutzungsphase ermöglichen			x
	Möglichst geringer Verbrauch an bzw. Einsatz von umweltverträglichen/erneuerbaren Rohstoffen für Produktnutzung	x		
	Abfälle aus der Nutzungsphase vermeiden bzw. kreislaufführbar gestalten		x	
	Lebensdauer der einzelnen Komponenten aufeinander abstimmen/zeitloses Design wählen	x	x	
	Oberflächen gebrauchstauglich gestalten	x	x	

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
Funktionsgerechte Produktgestaltung	Sicherstellen hoher Produktzuverlässigkeit	x	x	
	Hohe Funktionsgüte sicherstellen und Einfluss von Störungen herabsetzen	x		
	Aufrüstbarkeit vorsehen, Technologiesprünge ermöglichen	x	x	
	Produkt für multifunktionale Nutzung als unterschiedliche Funktionen vorsehen	x	x	
	Nachstell- und Justierbarkeit vorsehen zum Ausgleich von auftretendem Verschleiß	x	x	
	Einfaches Funktionsprinzip bzw. einfache Baustruktur verwirklichen	x	x	
	Robuste Ausführung anstreben	x	x	
II. Design for reuse: Kreislaufführbarkeit				
Demontagegerechte Produktgestaltung	Zugänglichkeit zu Verbindungselementen gewährleisten, Demontageverbindungen leicht auffindbar anbringen	(x)	x	
	Umkehrbarkeit der Montagevorgänge sicherstellen	(x)	x	
	Demontagegerechte Baustruktur mit einheitlichen Demontage-/Fügerichtungen anstreben	(x)	x	
	Einfach lösbare Verbindungen verwenden	(x)	x	
	Funktionsfähigkeit der lösbaren Verbindungen über die gesamte Lebensdauer sicherstellen	(x)	x	

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
Recyclinggerechte/entsorgungsgerechte Produktgestaltung	Vereinfachte Schadstoffentfrachtung ermöglichen	(x)	x	
	Materialtrennung zu Verwertungszwecken ermöglichen	(x)	x	
	Leichte Demontage ermöglichen	(x)	x	
	Verträglichkeit der Materialien zur Wiederverwertung sicherstellen	(x)	x	
	Oberflächenbeschichtung mit Grundwerkstoff recyclingverträglich wählen	(x)	x	
	Entnahme von Betriebsstoffen und unvermeidbaren Problemstoffen ermöglichen	(x)	x	
	Entsorgungsmöglichkeit beim Endverbraucher berücksichtigen/Anleitung zur Entsorgung	(x)	x	
	Normgerechte Kennzeichnung aller Materialien vornehmen	(x)	x	
	Möglichst die Wiederverwendung ganzer Baugruppen prüfen (Remanufacturing)	(x)	x	
III. Design for durability				
Verlängerung der technischen Produktlebensdauer	Vorsehen eines hohen Abnutzungsvorrats	x	x	
	Ermöglichung von Wartung und Reparatur	x	x	
Verlängerung der Produktnutzungsdauer	Zeitloses Design	x	x	
	Modularer Aufbau	x	x	
	Erweiterbarkeit	x	x	
	Aufrüstbarkeit	x	x	
	Funktionsoptimierung/Multifunktionalität	x	x	
	Kaskadennutzung von Produkten	(x)	x	
	Bedienungsanleitung mit Hinweisen zum Nutzerverhalten	(x)	x	

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
Reparaturgerechte Produktgestaltung	Feinmotorische Arbeiten verringern, Greif-/Bewegungsräume benutzerfreundlich gestalten, etablierte bzw. standardisierte Montiertechniken verwenden	(x)	x	
	Leichte Reinigung ermöglichen und gering verwinkelte Konstruktion beachten	(x)	x	
	Unumgänglichen Verschleiß auf austauschbare Bauteile lenken	(x)	x	
	Einsatz einfacher Verschleißerkennung	(x)	x	
	Notwendige Serviceintervalle des Produkts anzeigen	(x)	x	
	Vermeidung von benötigten Spezialwerkzeugen	(x)	x	
IV. Ressourceneffizienz durch die Kombination von Produkt und Service (Produkt-Service-Systeme)				
Produktorientiertes Produkt-Service-System	Beratung und Schulung	(x)	x	
	Finanzierung			
	Lieferung			
	Reinigungsdienste			
	Reparatur- und Wartungsdienstleistungen	(x)	x	
	Produktrücknahme nach Ende der Nutzungsphase	(x)	x	
Nutzungsorientiertes Produkt-Service-System	Produkt-Leasing	(x)	x	
	Produkt-Vermietung	(x)	x	
	Produkt-Sharing	(x)	x	
	Produkt-Pooling	(x)	x	

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
Ergebnisorientiertes Produkt-Service-System	Pay-per-Use/Pay-per-Service-Unit	x		
	Activity-Management/Outsourcing	x		
	Funktionales Ergebnis	x		
Anpassungen des Kernprodukts für Serviceangebote	Intelligente Produkte: Integration von Diagnosesystemen, z.B. für schnelle Reparatur via Teleservice	(x)	x	
	Integration von energie-/materialsparenden Produkttechnologien, um Lebenszykluskosten zu minimieren	x	x	
	Einsatz langlebiger Produktkomponenten, um Verfügbarkeits- oder TCO-Garantien abgeben zu können	x	x	
	Entwicklung mobiler Produkte, um temporäre Einsätze beim Kunden durchführen zu können	x	x	
	Entwicklung flexibler Produktlinien, um das Produkt als Miet- oder Leasingmaschine einsetzbar zu machen	(x)	x	
	Virtualisierung (z. B. elektronische Daten statt Produkte wie Musik-CDs, Bücher), Webbased -Computing	x		x

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

Tabelle 3-2: Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz auf der Prozessebene

Ein Kreuz („x“) bedeutet, dass die Maßnahme in der jeweiligen Zeile den Weg zur Steigerung der Ressourceneffizienz verfolgt, was in der jeweiligen Spalte vermerkt ist. Ein weniger starker, aber dennoch existierender Zusammenhang wird mit einem Kreuz in Klammern („(x)“) gekennzeichnet.

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
I. Strategisches Ressourcenmanagement				
Ressourceneffizienzorientierte ganzheitliche Managementsysteme (inkl. Informationssysteme)	Umsetzung der Ressourceneffizienz in Normen	x	x	
	Neue Produktionsmuster zur Steigerung der Ressourceneffizienz (z. B. Production on Demand, Selbstorganisation der Produktionsprozesse, soziale Innovationen)	x		x
	Mitarbeiterqualifikation/ Mitarbeiterpotenzial			
	Eindeutige und vollständige Produktdokumentation	x	x	x
	Detaillierte Arbeitsanleitungen und geregelte Schichtübergabe	x	x	x
	Ressourceneffizienzorientierte Gestaltung von Wertschöpfungsketten (technische und/oder organisatorische Optimierung)	x	x	x
	Entwicklung von Strategien zur Rückgewinnung von Mengenmetallen	(x)	x	

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
II. Optimierung (REDUCE)				
Optimierung der Herstellungsprozesse	Fertigungsprozessauswahl/-optimierung	x		
	Komponententausch (z. B. energieeffizientere Motoren)	x		x
	Dimensionierung der Fertigungsmittel	x		
	Minimierung des Bearbeitungsvolumens	x		
	Materialsstitution von Hilfs- und Betriebsstoffen	(x)		x
	Effiziente Reinigung	x		
	Effizienter Transport	x		
	Büromaterial sparen	x		
	Materialschonende Lagerhaltung	x		
Abfallarme Produktion	Vermeiden von geplantem Verlust	x		
	Vermeiden von geplantem Ausschuss	x		
	Vermeiden von Verlust durch Nacharbeit	x		
	Vermeiden von Verlust doch Entsorgung fertiger Produkte	x		
	Vermeiden von Verlust durch Entsorgung eingekaufter Materialien	x		
	Vermeiden Verlust durch unsachgemäß. Lagerung / Überlagerung	x		
Neue Techniken	Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung, in Mappings: außer Digitalisierung	x		x
Neue Technologien	Innovative Systemlösungen (neue Technologien), in Mappings: außer Digitalisierung	x		x
	Technologiesubstitution	x		x

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
III. Betriebsinterne Kreislaufführung (REUSE and RECYCLE)				
Weiter-/Wiederverwenden	Wiederverwendung von Betriebsstoffen		x	
	Kaskadennutzung von Hilfs- und Betriebsstoffen (Weiter- und Umnutzung)		x	
	Weiter-/Wiederverwendung wertstoffhaltiger Produkte		x	
	Industrielle Aufarbeitung von gebrauchten Altteilen (Remanufacturing)		x	
Wiederverwertung (Recycling)	Zerstörungsfreies Recycling (non-destructive recycling) von Werkstoffen, z. B. Wiederverwertung von Stahl/Aluminium, ohne die Altstoffe aufzuschmelzen („Reuse without melting“)		x	
	Stoffvereinzelung (Zerkleinerung durch Brechen (z. B. in Trommelmühlen), Zerschneiden, Zersägen oder Mahlen/Zerreiben, Systematische Demontage von Fahrzeugen zur Rückgewinnung verwertbarer Bestandteile)		x	
	Stoffaufbereitung/-trennung		x	
	Aufbereitung von Fertigungshilfsstoffen		x	
	Rückführung von Fertigungsabfällen, Verschnitt in der Produktion		x	
	Trennung hochkomplexer Materialverbunde und Rückgewinnung von Metallen/Industriemineralien (Rohstoffe)		x	
	Recycling von Rohstoffen		x	
	Recycling von Technologiemetallen, die in geringen Mengen eingesetzt werden		x	
	Vorgelagerte Prozesse zur Aufkonzentration von Metallen/Industriemineralien		x	
	Metallrückgewinnung aus Schlacke von Müllverbrennungsanlagen		x	
	Verarbeitung von Sekundärrohstoffen		x	
Energetische Verwertung	Rest-, Abfallstoffe zur Energieerzeugung	x	x	

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
IV. Betriebsübergreifende Kreislaufführung				
Recyclingnetzwerke	Verwendung/Lieferung von Produktionsreststoffen, Abfallstoffen und Nebenprodukten (zwischenbetrieblich)		x	
	Recyceltes Material beziehen		x	
Urban Mining	Aufbau optimierter Sammel- und Zerlegestrukturen		x	
	Identifikation relevanter Stoffströme strategischer Rohstoffe in Geräten/Produkten		x	
	Erfassungs- und Rückführungssysteme i. S. möglichst geschlossener Kreisläufe		x	
	Informationssysteme i. S. eines Katasters bzgl. Gebäuden und Altablagerungen wie Halden und Deponien		x	
	Entwicklung innovativer Identifikationstechnologien		x	
	Konzepte zur Zwischen- oder Langzeitlagerung von Stoffströmen mit Wertstoffpotenzial		x	

Übergeordnete Maßnahme	Konkrete Maßnahme	weniger	mehrfach	ersetzen
V. Energieeffizienz/-einsparung				
Verminderung des Energieverbrauchs	Steuerungskonzept zur Maschinenabschaltung (in Schwachlastzeiten)	x		
	Einsatz von Hocheffizienzpumpen	x		
	Elektromotoren mit Drehzahlregelung	x		
	Effiziente Energiebereitstellung	x		
	Wärmearme Fügeverfahren	x		
	Verringerung des Energieverbrauchs bei Kraftfahrzeugen	x		
Energieeffizienz	Energieverbrauchskennzeichnung bei Elektrogeräten	x		
	Nutzung von Prozess- und Abwärme	(x)	x	
	Kraft-Wärme-(Kälte)-Kopplung	(x)	x	
	Effiziente Gebäudeinfrastruktur	x		
	Effiziente Gebäudehülle	x		
	Energetische Gebäudesanierung	x		

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

3.2 Identifikation und Mapping: relevante digitale Technologien/Anwendungen

Dieser Teil beschreibt, wie relevante digitale Technologien für Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Rahmen dieser Studie identifiziert wurden. Zunächst wurden relevante Technologien auf Basis eines mehrstufigen Auswahlverfahrens aus mehreren Quellen ausgewählt. Dieses ist in Abbildung 3-2 dargestellt:

- In einem ersten Schritt wurden alle Technologie-Trends vom IT-Forschungs- und Beratungsunternehmen Gartner der Jahre 2001 bis 2018 betrachtet (ca. 160 Trends). Diese Trends wurden auf ihre generelle Relevanz für Ressourceneffizienz im von der Studie definierten Produktionskontext geprüft und entsprechend auf rund 70 Technologien ausgedünnt. Die Gartner-Technologien wurden stellenweise um Technologien ergänzt, die in bisher erschienenen Studien zur Ressourceneffizienz eine Rolle spielten (Digital Europe, 2018; EREK, 2018; Fraunhofer ISI, 2017; GIZ / VDI ZRE, 2018; IZT, 2018; Wilts / Berg, 2017; VCI, 2019; VDI ZRE, 2017).
- Die Technologien wurden in acht Cluster mit jeweils ähnlichen beziehungsweise eng zusammenhängenden Technologien sortiert. Dabei wurden Technologien einem Cluster zugeordnet, wenn sie zu ähnlichen Anwendungen beitragen, wenn sie sich hinreichend inhaltlich-technisch ähneln oder sich teilweise bedingen. Im Rahmen eines iterativen Zuordnungsprozesses wurden insgesamt acht Cluster gebildet. Mehr Cluster wurden als nicht trennscharf genug angesehen, weniger Cluster als zu verallgemeinernd. Drei der acht Cluster sind sogenannte Enabler-Cluster, beinhalten also Technologien, die die Grundlage für andere Technologien und Anwendungen bilden. Innerhalb der Cluster wurden zum Teil wiederum Subcluster gebildet, die sehr ähnliche Technologien zusammenfassen.

Abbildung 3-2: Auswahlverfahren der Technologien



Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft / IW Consult

Hinweis: Cluster und Subcluster spielen in den nachfolgenden Inhalten eine wichtige Rolle. Daher erfolgt an dieser Stelle eine sehr kompakte Beschreibung, um eine einheitliche Einordnung der Begrifflichkeiten zu gewährleisten.

Die Technologiebegriffe selbst wurden von Gartner übernommen. Zum Teil handelt es sich dabei um feststehende Begriffe, die in Wissenschaft und Wirtschaft gleichermaßen genutzt werden (z. B. Machine Learning), zum Teil sind die Trends aber auch durch Gartner selbst benannt (z. B. Hybrid Cloud und IT as Service Broker). Es wurde versucht, so nah wie möglich am Original zu bleiben. Einige wenige Begriffe wurden zur besseren Verständlichkeit ins Deutsche übersetzt. Oft verwässert eine deutsche Übersetzung allerdings die bekanntere englische Version, deshalb wurde meistens von einer Übersetzung Abstand genommen. Eine Kurzbeschreibung der Technologien findet sich unter Tabelle 3-3.

Um die Technologien und Anwendungen zum einen zu verschiedenen Geschäftsmodellen, Konzepten unternehmerischen Handelns und Punkten entlang der Wertschöpfungskette zuordnen zu können (Technologiemapping) und um sie zum anderen bei Unternehmen abfragbar zu machen, werden die Technologiesubcluster im nächsten Schritt digitalen Konzepten im Kontext von Ressourceneffizienz in der Produktion zugeordnet (Tabelle 3-5). Dabei werden einige Subcluster mehreren digitalen Konzepten zugeordnet. Insgesamt sind die Konzepte nicht überschneidungsfrei.

Die oben beschriebene Vorgehensweise stellt sicher, dass eine umfassende Betrachtung der Technologien erfolgt, gleichzeitig aber ein überblickbares Mapping durch sinnvolle Bündelung geschehen kann. Das Mapping wird auf diese Weise nicht durch relativ kleinteilige Technologien erschwert, gleichzeitig wird keine Technologie außer Acht gelassen.

Tabelle 3-3: Glossar: Digitale Technologien

Erklärung der verschiedenen digitalen Technologien

Technologie	Definition
3D (4D) Printing (Additive Manufacturing)	3D-Druck ist eine additive Technik, die mit einem Gerät physikalische Objekte aus digitalen Modellen erzeugt (Gartner, 2019a). Beim 4D-Druck wird ein 3D-gedrucktes Objekt mit der Fähigkeit zur Transformation versehen (Vogt, 2017). Die vierte Dimension ist die Zeit.
5G	Die drahtlose 5. Generation (5G) ist die neueste Generation der Mobilfunktechnologie, die entwickelt wurde, um die Geschwindigkeit und Reaktionsfähigkeit von drahtlosen Netzwerken zu erhöhen. 5G ermöglicht einen starken Anstieg der Datenmenge, die über drahtlose Systeme übertragen wird, da mehr Bandbreite und entsprechende Antennentechnologie zur Verfügung stehen (Rouse, 2019a).
Actionable Analytics	Actionable Analytics (umsetzbare Analytik) beschreibt den Prozess der Analyse relevanter Daten, die zu spezifischen Erkenntnissen führen, die die Grundlage für spezifische Maßnahmen und Entscheidungen bilden (RoseIndia, 2013).
Advanced Analytics	Advanced Analytics ist die autonome oder teilautonome Untersuchung von Daten oder Inhalten mit ausgefeilten Techniken und Tools, typischerweise jenseits der traditionellen Business Intelligence (BI), um tiefere Einblicke zu gewinnen, Vorhersagen zu treffen oder Empfehlungen zu generieren (Gartner, 2019b).
AI PaaS	AI Platform as a Service wurde erstmals als Kategorie für cloudbasierte Chatbots und digitale Assistenten basierend auf Künstlicher Intelligenz, Artificial Intelligence (KI, AI) vorgeschlagen. Beispiele sind Plattformangebote wie IBM Watson und Amazon Alexa (Dooley, 2017).
Application frameworks	Gängige Software-Routinen, die eine Grundstruktur für die Entwicklung einer Anwendung bilden. Frameworks machen das Schreiben des gesamten Programmcodes für eine Anwendung von Grund auf redundant (PCMag, 2019).

Technologie	Definition
Artificial General Intelligence	Eine künstliche allgemeine Intelligenz (AGI) wäre eine Maschine, die in der Lage ist, die Welt sowie jeden Menschen zu verstehen und mit der gleichen Fähigkeit zu lernen, eine große Bandbreite von Aufgaben zu erfüllen (Heath, 2018).
Augmented/Mixed Reality	Augmented Reality (AR) ist die Echtzeitnutzung von Informationen in Form von Text, Grafik, Audio und anderen virtuellen Erweiterungen, die mit realen Objekten integriert sind. Das Element der "realen Welt" unterscheidet AR von der virtuellen Realität (VR; Gartner, 2019c). Mit der Hololens hat Microsoft 2016 ein deutlich leistungsfähigeres AR-System vorgestellt, das virtuelle Objekte über ein halbtransparentes Display in reale Szenen einfügt und eine Interaktion zwischen virtuellen und realen Objekten ermöglicht. Microsoft prägte dafür den Begriff Mixed Reality (MR; Länger, 2017).
Augmented/Smart Data Discovery	Augmented Data Discovery ist eine Form der erweiterten Datenentdeckung, welche die Datenerfassung durch maschinelles Lernen und die Generierung natürlicher Sprachen automatisiert. Es automatisiert die Datenaufbereitung und vereinfacht den Datenaustausch (Smarten, 2018).
Betriebsdatenerfassung	Die Betriebsdatenerfassung beschreibt ein System zum Erfassen aktueller Daten über Zustände und Prozesse im Unternehmen (Möller, 2018).
Biochips	Der Begriff Biochips bezieht sich auf Technologien aus Halbleiter- und Biowissenschaften. Die häufigste Form von Biochips basiert auf einer Reihe von molekularen Sensoren, die auf einer kleinen Oberfläche angeordnet sind, die typischerweise als „Lab-on-Chip“ bezeichnet werden (Gartner, 2019d).
Biotech	Biotechnologie ist die Anwendung biologischer Leistungen in der industriellen Produktion und in anderen technischen Prozessen. Nach der Definition der Europäischen Föderation für Biotechnologie ist B. die integrierte Anwendung von Mikrobiologie, Biochemie, Molekulargenetik und Verfahrenstechnologie mit dem Ziel, das Potenzial von Mikroorganismen, Zell- und Gewebekulturen sowie Teile davon (z. B. Enzyme) technisch zu nutzen (Spektrum, 2019).

Technologie	Definition
Blockchain	Eine Blockchain ist eine wachsende Liste von kryptographisch signierten, unwiderruflichen Transaktionsdatensätzen, die von allen Teilnehmern in einem Netzwerk gemeinsam genutzt werden. Jeder Datensatz enthält einen Zeitstempel und Verweise auf frühere Transaktionen (Gartner, 2019e).
Bluetooth	Bluetooth ist eine stromsparende, drahtlose Netzwerktechnologie, die im unlicenzierten (ISM)-Frequenzband mit 2,4 GHz arbeitet (Gartner, 2019 f).
Brain Computer Interface	Ein Brain-Computer-Interface (BCI), auch als Neural-Control-Interface (NCI), Mind-Machine-Interface (MMI), Direct Neural Interface (DNI) oder Brain-Machine-Interface (BMI) bezeichnet, ist ein direkter, bidirektionaler (Datenaustausch in zwei Richtungen) Kommunikationsweg zwischen einem erweiterten oder verkabelten Gehirn und einer externen Vorrichtung. BCIs richten sich oft auf die Unterstützung und Erweiterung menschlicher kognitiver oder sensorisch-motorischer Funktionen (Parker, 2019).
Breitband (FTTx)	Fiber To The x (FTTx) ist eine generische Bezeichnung für breitbandige Zugangstechniken (Internetzugang mit relativ hoher Datenübertragungsrate) mit einer Kombination aus Lichtwellenleitern und Kupfer-Doppeladern. Die FTTx-Technik steht für alle Fiber-auf der Letzten Meile: Fiber to the Node (FTTN), Fiber to the Curb (FTTC), Fiber to the Building (FTTB), Fiber to the Desk (FTTD), Fiber to the Distribution Point (FTTdp), Fiber to the Office (FTTO), Fiber to the Premises (FTTP) und Fiber to the Home (FTTH)(ITWissen.info, 2018).
Business Intelligence	Business Intelligence (BI) umfasst die Anwendungen, Infrastrukturen und Tools sowie Best Practices, die den Zugriff auf und die Analyse von Informationen ermöglichen, um Entscheidungen und Leistungen zu verbessern und zu optimieren (Gartner, 2019g).

Technologie	Definition
Business Process Modeling	Business Process Modeling (BPM) verbindet die Geschäftsstrategie mit der Entwicklung von IT-Systemen, um den Geschäftswert zu sichern. Es kombiniert Prozess-/Workflow-, Funktions-, Organisations- und Daten-/Ressourcensichten mit zugrundeliegenden Metriken wie Kosten, Zykluszeiten und Verantwortlichkeiten, um eine Grundlage für die Analyse von Wertschöpfungsketten, maßnahmenbezogenen Kosten, Engpässen und Ineffizienzen zu schaffen (Gartner, 2019h).
Computer-aided design (CAD), Computer-aided engineering (CAE), Computer-aided manufacturing (CAM)	Diese Begriffe bezeichnen rechnerunterstütztes Entwerfen und Konstruieren bzw. Entwickeln im Engineering bzw. in Fertigung und Steuerung von Produktionsanlagen (ITWissen.info, 2013).
Cloud Computing	Beim Cloud Computing werden skalierbare und elastische IT-basierte Leistungen als Service über Internet-Infrastrukturen wie Clouds bereitgestellt (Gartner, 2019i).
Cloud-Client Architecture	Architektur des Cloud Computing, bei der der Client eine sogenannte reichhaltige webbasierte Anwendung ist und der Server in der Cloud gehostet wird. (Advantage Technology Solutions, 2013).
Cognitive Expert Advisors	Cognitive Expert Advisors sind Systeme basierend auf Künstlicher Intelligenz, die relevante Empfehlungen zu Artikeln, Informationen oder Dienstleistungen abgeben können, basierend auf dem Kontext und den Bedürfnissen der Nutzer (Trotter, 2017).
Connected Logistics	Connected Logistics ist die vollständige und lückenlose Vernetzung aller Prozessabläufe durch die Nutzung und Auswertung von Big Data (Dömming, 2018).
Conversational User Interface	Conversational User Interfaces ermöglichen dem Nutzer, Befehle und Anfragen an Datenbanken und Systeme zu stellen (z. B. Chatbots, Apples Siri; Vetrano, 2019).
Cyber-physische Systeme (CPS)	In einem CPS sind mechanische Komponenten über Netzwerke und moderne IT miteinander verbunden. Sie ermöglichen die Steuerung und die Kontrolle von komplexen Systemen und Infrastrukturen (Luber/Litzela, 2017a).

Technologie	Definition
Data Broker PaaS	Ein Data Broker ist ein Unternehmen, das Informationen aus einer Vielzahl von Quellen aggregiert, um sie anzureichern, zu bereinigen oder zu analysieren, und sie dann an andere Unternehmen zu lizenzieren. Datenbroker können auch die Daten eines anderen Unternehmens direkt lizenzieren oder die Daten eines Unternehmens verarbeiten, um diesem bessere Ergebnisse zu liefern. Data Broker gibt es vor allem in Form von Plattformen. (Gartner, 2019j).
Data Mining	Unter Data Mining wird im weiteren Sinne der gesamte Prozess der Wissensentdeckung in großen Datenbeständen verstanden und im engeren Sinne die dabei verwendeten Analyseverfahren (Chamoni, 2019).
Deep (Reinforcement) Learning	Deep Reinforcement Learning ist die Kombination aus Reinforcement Learning (RL) und Deep Learning. Sie löst eine Vielzahl komplexer Entscheidungsaufgaben, die bisher für eine Maschine unlösbar waren (Francois-Lavet et al., 2018).
Deep Neural Nets	Ein tiefes neuronales Netzwerk (DNN) ist ein künstliches neuronales Netzwerk (ANN) mit mehreren Schichten zwischen der Eingangs- und Ausgangsschicht (Schmidhuber, 2015).
Digital Signature	Eine digitale Signatur ist eine bestimmte Art von elektronischer Signatur (E-Signatur), die auf Public-Key-Kryptographie basiert, um die Identitätsauthentifizierung zu unterstützen und Daten- und Transaktionsintegrität zu gewährleisten (Gartner, 2019k).
Digitaler Zwilling	Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Darstellung einer realen Einheit oder eines realen Systems (Gartner, 2019l).
Edge AI	Edge AI bedeutet, dass KI-Algorithmen lokal auf einer Hardwarevorrichtung verarbeitet werden. Die Algorithmen verwenden Daten (Sensordaten oder Signale), die auf dem Gerät erzeugt werden (Imagimob, 2018).

Technologie	Definition
Edge Computing	Edge Computing ist ein verteiltes Computermodell und eine offene IT-Architektur. Computerdaten werden an dem Ort gespeichert, an dem sie benötigt werden, was Mobile Computing und Internet of Things (IoT)-Technologien ermöglicht (IBM Services, 2019).
Enterprise Information Management	Enterprise Information Management (EIM) ist eine integrative Disziplin zur Strukturierung, Beschreibung und Verwaltung von Informationsbeständen über organisatorische und technologische Grenzen hinweg, um die Effizienz zu verbessern (Gartner, 2019m).
Enterprise Instant Messaging	Enterprise IM ist ein Instant-Messaging-System, das von Unternehmen als Mittel zur einfachen Kommunikation innerhalb des Unternehmens eingesetzt wird (Techopedia, 2019).
Enterprise Mashups	Ein Enterprise Mashup ist die Integration heterogener digitaler Daten und Anwendungen aus verschiedenen Quellen für Geschäftszwecke (Rouse, 2019b).
Enterprise Taxonomy and Ontology Management	Eine Taxonomie verwendet Hierarchien, um ein Thema zu klassifizieren. Ontologie definiert Themen im Kontext ihrer Beziehungen und Eigenschaften zu anderen Themen. Beide Modelle können helfen, Unternehmensinformationen effizient zu verwalten (Trotter, 2017).
Ethernet-Technologie und Services	Ethernet ist ein Basisband-Lokalnetzwerk (LAN). (Gartner, 2019n). Durch ein Ethernet können Daten in einem geschlossenen Netzwerk von einem Gerät zum anderen transportiert werden (Ullrich, 2018).
Extrem energieeffiziente Server	Extreme Niedrigenergie-Server sind Systeme, die um Prozessortypen herum aufgebaut sind, die ursprünglich für Umgebungen mit sehr geringer Leistung entwickelt wurden, typischerweise in Geräten wie Smartphones oder in einem Objekt mit eingebettetem Prozessor (Gartner, 2019o).
Faster cell networks	Ein Mobilfunknetz ist ein mobiles Netz, das Dienste bereitstellt, indem es eine große Anzahl von Basisstationen mit begrenzter Leistung nutzt, die jeweils nur ein begrenztes Gebiet, eine Zelle, abdecken (Telecomabc.com, 2019). Die Leistung ist höher bei den „faster cell networks“.

Technologie	Definition
Flash Memory	Flash-Memory ist ein nichtflüchtiger Speicher, bei dem Speicher-Einheiten („Blöcke“) gelöscht und umprogrammiert werden. Flash hält Daten auch dann längerfristig vor, wenn das System oder das Medium nicht mit Strom versorgt werden (Collins/da Silva, 2019).
Gesture control device	Benutzer können mit einfachen Gesten Geräte steuern oder mit ihnen interagieren, ohne sie physisch zu berühren (Digital Habits, 2019).
Grid Networks	Ein Grid-Netzwerk ist ein Computernetzwerk, das aus einer Reihe von (Computer-)Systemen besteht, die in einer Grid-Topologie verbunden sind. Beim Grid Computing stellen viele lose über Netzwerke miteinander verbundene Rechner ungenutzte Kapazität für Anwendungen mit hohem Ressourcenbedarf zur Verfügung (Luber/Litzel, 2017b).
Hybrid Cloud und IT as Service Broker	Hybrid Cloud Computing bezeichnet die richtlinienbasierte und koordinierte Bereitstellung, Nutzung und Verwaltung von Diensten über eine Mischung aus internen und externen Cloud Services hinweg (Gartner, 2019p).
Information Access	Ein geregelter Zugang zu Informationen ist besonders für stark datengetriebene Unternehmen relevant. Auf dem Markt gibt es zahlreiche Information Access Technologien.
Integrated ecosystems	Ein integriertes (digitales) Ökosystem ermöglicht es Unternehmen, durch die Kombination von B2B-, Anwendungs- und Datenintegration im gesamten Unternehmensnetzwerk durchgängige Geschäftsabläufe zu schaffen (Hughes, 2019).
IoT-Plattform	Eine IoT-Plattform ist eine lokale Software-Suite oder ein Cloud-Service (IoT-Plattform als Service (PaaS)), der Endpunkte des Internet of Things (IoT) überwacht, verwaltet und steuert (Gartner, 2019q).
Klassifikationsstandards	Klassifikationsstandards sind in der Wirtschaft angewandte Klassifikationssysteme zur Beschreibung von Branchen, Produkten und Dienstleistungen (Mittelstand 4.0, 2019).
Kommerzielle UAVs (unpiloted aerial vehicles, Drohnen)	Drohnen sind unbemannte Flugobjekte, die auch autonom oder automatisiert fliegen können.

Technologie	Definition
Machine Learning	Machine Learning oder maschinelles Lernen ist ein Teilgebiet der künstlichen Intelligenz. Durch das Erkennen von Mustern in vorliegenden Datenbeständen sind IT-Systeme in der Lage, eigenständig Lösungen für Probleme zu finden (Luber/Litzel, 2016).
Maschinendatenerfassung	Die Maschinendatenerfassung (MDE) umfasst alle Informationen, die die aktuelle Leistung der Maschine beschreiben. Als Basisinput für die Maschinendaten werden die Lauf- und Stillstandszeiten, die Taktrate (Frequenz) bzw. Maschinengeschwindigkeit und die produzierte Menge benötigt (Schwer-Kopka, 2019).
In-Memory Computing	Bei In-Memory Computing (IMC) werden Daten im RAM und nicht mehr in Datenbanken auf Festplatten gesichert. Mit IMC lassen sich große Datenmengen zwischenspeichern, sodass schnelle Reaktionszeiten möglich werden, und Sitzungsdaten sichern, die zu einer optimalen Leistung beitragen können (Hewlett Packard Enterprise, o. J).
Media Tablets	Ein Media Tablet ist ein Gerät, das auf einem Touchscreen-Display basiert, welches die Eingabe von Inhalten über eine Bildschirmtastatur erleichtert (Gartner, 2019r).
Metadata Management	Metadatenmanagement ist die Verwaltung von Daten, die andere Daten beschreiben. Dazu gehört die Festlegung von Richtlinien und Prozessen, die sicherstellen, dass Informationen integriert, abgerufen, geteilt, verknüpft, analysiert und gepflegt werden können, um eine optimale Wirkung im gesamten Unternehmen zu erzielen (Rouse, 2019c).
Mobile Apps	Eine Mobile App ist eine schmale Anwendungssoftware, die im Internet zum Herunterladen auf Smartphones und Tablet-PCs bereitstehen und bestimmte Funktionen für den Benutzer erfüllt (Gründerszene, 2019).

Technologie	Definition
Nanotech	Nanotechnologie befasst sich mit der gezielten Beeinflussung von Materie auf atomarer und molekularer Ebene. Nanomaterialien können ganz andere physikalische und chemische Eigenschaften aufweisen als dieselben Stoffe in normalen Abmessungen, z. B. eine erhöhte chemische Reaktivität aufgrund der größeren spezifischen Oberfläche (European Food Safety Authority, 2019).
Next Generation Analytics	Next Generation Analytics beschreibt die Weiterentwicklung der Analytik erstens von der traditionellen Offline-Analytik bis hin zur integrierten Online-Analytik; zweitens von der Analyse historischer Daten bis hin zur Analyse von Echtzeitdaten; drittens von strukturierten und einfachen Daten, die von Einzelpersonen analysiert werden, zur Analyse komplexer Informationen verschiedenster Art aus vielen Systemen, die einen kollaborativen Entscheidungsprozess unterstützen (Gadgetsnow.com, 2011).
Open Source	Open Source beschreibt Software, die mit der Erlaubnis zur Nutzung, Vervielfältigung und Verbreitung versehen ist und die entweder kostenlos oder gegen Entgelt angeboten werden kann. Der Quellcode muss zur Verfügung gestellt werden (Gartner, 2019s).
Peer-to-peer Networking	Peer-to-Peer (P2P) ist ein Netzwerk, in dem Computer Daten direkt miteinander austauschen, ohne dass ein zentraler Server erforderlich ist (Market Business News, 2019).
QR-Codes	QR-Codes sind 2D-Codes, die von Smartphones und anderen Geräten eingescannt und ausgelesen und in denen Webadressen und andere Informationen untergebracht werden können. Sie verbinden physische und virtuelle Welt (Gabler Wirtschaftslexikon, 2019)
Radio Frequency Identification (RFID)	RFID ist die drahtlose Nutzung elektromagnetischer Felder zur Datenübertragung zum Zwecke der automatischen Identifizierung und Verfolgung von an Objekten angebrachten Tags. Die Tags enthalten elektronisch gespeicherte Informationen (Star Systems, 2019).
Roboter	Ein smarterer Roboter kann als Weiterentwicklung vom Roboter mit Menschen effizient kollaborieren

	und von ihnen lernen.
Technologie	Definition
Self-healing System Technology	Self-healing System Technology beschreibt Geräte oder Systeme, die in der Lage sind, zu erkennen, dass sie nicht ordnungsgemäß funktionieren, und ohne menschliches Eingreifen die notwendigen Anpassungen vornehmen, um sich wieder in den Normalbetrieb zu versetzen (Rouse, 2019d).
Sensoren und Aktoren	Sensoren und Aktoren bilden die Schnittstelle zwischen der Informationsverarbeitung und den Energie- und Stoffflüssen in technischen Systemen.
Serverless PaaS	Die Serverless-Funktion nutzt die Vorteile der Skalierbarkeit und Agilität der Cloud, verzichtet also auf den direkten Einsatz von Servern (Gartner, 2018).
Servers – Beyond Blades	Ein Blade-Server ist ein reduzierter Server-Computer mit einem modularen Design, der so optimiert ist, dass er den Verbrauch von Platz und Energie minimiert (Jeffrey, 2015). Die Weiterentwicklung davon sind Micro-Server (deshalb „beyond blades“).
Service-Register und Repositorien	Eine Service-Register wird verwendet, um Prozesse, Dienste, Ereignisse und wichtige Metadaten zu beschreiben. Nutzer durchsuchen diesen, um Dienste zu finden, die sie nutzen können, und rufen Informationen ab, z. B. den Status eines Dienstes. Ein Service-Repository speichert Artefakte von Prozessen, Diensten und Ereignissen wie WSDLs, XSDs und anderen relevanten Dokumenten (Packt, 2019).
Silicon-Anode-Batterien	Silizium-Anodenbatterien sind eine Erweiterung der weit verbreiteten Lithium-Ionen (Li-Ionen) Batterien. Li-Ionen-Akkus verwendeten Lithium als Anodenmaterial. Dieses wurde durch Kohlenstoff/Graphit ersetzt, nachdem Überhitzungs- und Explosionsereignisse gemeldet wurden. Li-Ionen-Batterien der nächsten Generation werden wahrscheinlich Siliziumanoden mit Silizium-Nanoröhren oder ein vergleichbares Beschichtungsverfahren verwenden. Dies führt zu einem deutlich höheren Energiespeicher und einer längeren Akkulaufzeit (Gartner, 2019t).

Technologie	Definition
Smart Dust	Smart Dust ist eine Sammlung winziger drahtloser mikroelektromechanischer Sensoren (MEMS). Diese Sensoren sind in der Lage, Bedingungen wie Licht, Vibration, Temperatur und Lautstärke zu erfassen und diese Informationen autonom an einen Empfänger zurückzugeben (Finch, 2018).
Smart Fabrics, Wearables	Smart Fabrics sind Textilien, die mit neuen Technologien entwickelt wurden und dem Träger einen Mehrwert bieten. Dazu gehören Gewebe, die es ermöglichen, digitale Komponenten (einschließlich Kleincomputer) und Elektronik in sie einzubetten (Apparesearch.com, 2019).
Smart Machines	Smart Machines lernen von selbst. Sie können ihr Verhalten auf der Grundlage von Erfahrungen anpassen und sind dabei nicht unbedingt abhängig von menschlichen Anweisungen. Sie sind in der Lage, unvorhergesehene Ergebnisse zu erzielen (Gartner, 2019u).
Smart Objects	Smart Objects sind intelligente Objekte, die Informationen erfassen, speichern und verarbeiten und mit anderen Gegenständen, Systemen oder mit Menschen interagieren (ITWissen.info, 2019a).
Smart Products/Services	Ein Smart Service ist eine digitale Dienstleistung, die auf der Basis vernetzter, intelligenter technischer Systeme und Plattformen Daten aggregiert und analysiert. Die dabei entstehenden Informationen und Wertangebote werden im Rahmen dienstleistungsbasierter Geschäftsmodelle über digitale Marktplätze und Schnittstellen vermarktet. Smart Products bilden die Basis für Smart Services. Sie sind mit IT- und Kommunikationstechnik sowie Sensorik ausgestattet und digital vernetzt (Pöppelbuß, 2018).
Software-defined anything	Software-defined anything (SDx) sind verbesserte Standards für die Infrastrukturprogrammierbarkeit und Interoperabilität von Rechenzentren, die durch Automatisierung im Zusammenhang mit Cloud Computing, DevOps (Prozessverbesserung) und schneller Infrastrukturbereitstellung angetrieben werden (High, 2013).

Technologie	Definition
Soziale Kommunikation und Kollaboration	Soziale Kommunikation und Kollaboration bezeichnet die Zusammenarbeit im Team mithilfe von Software. Hierfür bietet sich eine Arbeits- oder Projektplattform an, auf die alle Beteiligten Zugriff haben. Durch den digitalen Arbeitsprozess auf der jeweiligen Plattform können persönliche Treffen reduziert werden (Tixxt.com, 2019).
Steuerungs- und Simulationssoftware, Customer-Relationship-Management (CRM), Enterprise-Resource-Planning (ERP), Product Lifecycle Management, Produktdatenmanagement, Manufacturing Execution System (MES), Warehouse Management System	Verschiedene Softwares mit unterschiedlichen Funktionen, die die Steuerung und Simulation des Produktionsprozesses unterstützen. Ressourcen können besser geplant und Kundenbeziehungen gemanagt werden. Produkte werden über den gesamten Lebenszyklus verfolgt, ihre Daten standardisiert erfasst und analysiert. Fertigungsmanagement und Lagermanagement werden ebenfalls durch die unterschiedlichen Softwares ermöglicht.
Storage Class Memory	Storage Class Memory (SCM) ist eine hybride Speichertechnologie, die eine Kombination von Memory und Storage darstellt, die durch eine spezielle Memory-Storage-Schicht gebildet wird. SCM-Speicher vereinen die Vorteile von Solid-State-Drives (SSD) mit denen von Hard Disks (HD) (ITWissen.info, 2019b).
(Strategic) Big Data	Die Analyse großer, vielfältiger Datenmengen (Big Data) wird von immer mehr Unternehmen genutzt, beispielsweise um ihre strategischen Ziele zu analysieren. Big-Data-Analysen werden zunehmend zur Entscheidungsgrundlage und dienen der Effizienzsteigerung im Unternehmen (Engels/Goecke, 2019).
Ubiquitous Computing	Ubiquitous Computing ist der zunehmende Trend, Rechenfähigkeiten (meist in Form von Mikroprozessoren) in Alltagsgegenstände einzubetten, um sie effektiv kommunizieren und nützliche Aufgaben so ausführen zu lassen, dass die Notwendigkeit der Interaktion des Endbenutzers mit Computern minimiert wird. Ubiquitous Computing-Geräte sind vernetzt und ständig verfügbar (Rouse, 2019e).

Technologie	Definition
Volumetric displays	Die volumetrische Anzeige ist eine grafische Anzeigevorrichtung, die eine visuelle Darstellung eines Objekts in drei physikalischen Dimensionen bildet, im Gegensatz zu einem planaren Bild auf traditionellen Bildschirmen, die die Tiefe durch eine Reihe verschiedener visueller Effekte simulieren. Einzigartige Eigenschaften von volumetrischen Displays sind etwa die 360-Grad-Anzeige und ihr inhärentes 3D-Format (Marketsandmarkets, 2015).
Web-Scale IT	Web-Scale IT ist ein intelligenter Ansatz zur Konzeption, Realisierung und Verwaltung von Infrastrukturen für Rechenzentren, der zuerst von Web-Unternehmen und Cloud-Anbietern wie Google, Amazon und Facebook genutzt wurde (Nutanix, 2014).
WiFi, 802.11ax	802.11ax, auch als High Efficiency WLAN (HEW) bezeichnet, ist ein WLAN-Standard und der Nachfolger von 802.11ac. Er bietet einen höheren Durchsatz, erhöht die Performance in WLAN-Umgebungen mit vielen Usern, ist weniger stör anfällig und sorgt für bessere Energieeffizienz der Geräte (Luber, 2018).

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft / IW Consult

Tabelle 3-4: Digitale Technologien und Anwendungen

Cluster digitaler Technologien und Anwendungen, die eine Relevanz für Ressourceneffizienz aufweisen (Basis: Technologietrends von Gartner). Kursiv geschriebene Technologien sind bisherigen Studien zur Ressourceneffizienz entnommen.

Cluster	Subcluster	Technologien
Daten/Analytics	Datenanalyse	<ul style="list-style-type: none"> - (Strategic) Big Data - Advanced Analytics - <i>Data Mining</i> - Next Generation Analytics - Metadata Management - Enterprise Information Management - Actionable Analytics - Business Intelligence - Business Process Modeling - Service-Register und Repositorien - Augmented/Smart Data Discovery - <i>Betriebsdatenerfassung</i> - <i>Maschinendatenerfassung</i>
	Datenaustausch	<ul style="list-style-type: none"> - Information Access - Open Source - Enterprise Mashups - IoT-Plattform
Künstliche Intelligenz	Künstliche Intelligenz	<ul style="list-style-type: none"> - Deep (Reinforcement) Learning - Machine Learning - Artificial General Intelligence - Edge AI - AI PaaS - Deep Neural Nets
IoT/Robotics	The Internet of Everything, IoT	auch: <i>Smart Objects</i>
	Roboter	smart/autonom/mobil
	<i>Cyber-physische Systeme</i>	
	Smart Machines	<ul style="list-style-type: none"> - Smart Machines - Edge Computing - Smart Dust - Self-healing System Technology
	<i>Connected Logistics</i>	
	Smart Products/ Services	

Cluster	Subcluster	Technologien
Virtualisierung	Digitaler Zwilling	<ul style="list-style-type: none"> - Digitaler Zwilling - <i>Computer-Aided Design (CAD), Computer-aided engineering (CAE), Computer-aided manufacturing (CAM)</i>
	Augmented/Mixed Reality	
	Additive Manufacturing	3D (4D) Printing
Greentech	Energiesparende Technologien	<ul style="list-style-type: none"> - Extrem energieeffiziente Server - Servers – Beyond Blades - Silicon-Anode-Batterien
	Biotech	kultiviertes/künstliches Gewebe
Standards (Enabler)	Standards	<ul style="list-style-type: none"> - Blockchain - Digital Signature - Application frameworks - Integrated ecosystems - Software-defined anything - Enterprise Taxonomy and Ontology Management - <i>QR-Codes</i> - Radio Frequency Identification (RFID)/ Identifikationsstandards - Klassifikationsstandards
Netzwerke (Enabler)	Übertragung	<ul style="list-style-type: none"> - Breitband (FTTx) - WiFi, 802.11ax - 5G - Ethernet-Technologie und Services - Bluetooth - Peer-to-peer Networking - Faster cell networks
	Cloud	<ul style="list-style-type: none"> - Cloud Computing - Hybrid Cloud und IT as Service Broker - Cloud-Client Architecture - Data Broker PaaS - Serverless PaaS - Web-Scale IT - Ubiquitous Computing

Cluster	Subcluster	Technologien
Hardware und Interfaces (Enabler)	Menschliche Kollaboration	<ul style="list-style-type: none"> - Soziale Kommunikation und Kollaboration - Enterprise Instant Messaging
	Mensch-Maschine-Kollaboration	<ul style="list-style-type: none"> - Brain Computer Interface - Cognitive Expert Advisors - Gesture control device - Media Tablets - Conversational User Interface - Volumetric displays - Mobile Apps - <i>Steuerungs- und Simulationssoftware, Customer-Relationship-Management (CRM), Enterprise-Resource-Planning (ERP), Product Lifecycle Management, Produktdatenmanagement, Manufacturing Execution System (MES), Warehouse Management System</i>
	Maschine-Maschine-Kollaboration	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Sensoren und Aktoren</i> - Smart Fabrics, Wearables - Biochips - Nanotech - In-Memory Computing - Storage Class Memory - Flash Memory - Grid Networks - Kommerzielle UAVs (Drohnen)

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft / IW Consult

Tabelle 3-5: Zuordnung der Technologiesubcluster zu digitalen Konzepten

Digitale Konzepte im Kontext von Ressourceneffizienz in der Produktion	Beschreibung	Zugehörige Subcluster
Analyse und Monitoring		
Prozessmonitoring	Sensoren und Aktoren zeichnen an verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette Daten auf (etwa im Rahmen multisensorieller Diagnosesysteme). Verschiedene Betriebszustände von Anlagen und Prozessen werden durch entsprechende Software kontinuierlich analysiert sowie Abweichungen markiert und gemeldet. Mögliche Ineffizienzen können so entdeckt und behoben, unerwartete Systemausfälle vermieden werden. Ein Energiemonitoring wird ermöglicht.	Datenanalyse Datenaustausch Digitaler Zwilling Cloud Übertragung Standards
Kleinteilige Analyse der Ressourceneffizienz durch individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch	Physische Objekte (Werkstücke, Produkte, Maschinen) sind mit einem digitalen Gedächtnis ausgestattet. Dort hinterlegte Daten liegen direkt zugreifbar am Objekt vor. Eine Analyse dieser Daten durch entsprechende Software liefert Indizien zum Ressourcenverbrauch.	Smart Machines Smart Products/Services Cyber-Physische Systeme (CPS) Digitaler Zwilling Internet of Everything Standards
Predictive Maintenance	Systeme zur prädiktiven Wartung können Maschinenfehler, Maschinenausfälle oder Störungen frühzeitig entdecken, bevor sie auftreten. Fehler sollen durch Instandhaltung oder frühzeitige Reparaturen (Predictive Maintenance) verhindert werden.	Künstliche Intelligenz IoT Smart Machines Datenanalyse Datenaustausch Cloud Standards

Digitale Konzepte im Kontext von Ressourceneffizienz in der Produktion	Beschreibung	Zugehörige Subcluster
Vernetzung und Kollaboration		
Dezentral gesteuerte Fertigung	Die Produktion erfolgt dezentral über das intelligente Werkstück. Dieses hat Informationen über seine Eigenschaften, Fertigungsweise und Fertigungsziel.	Internet of Everything Digitaler Zwilling Standards Übertragung Cloud
Tracking und Tracing von Werkstücken und Produkten	Mithilfe von Ortungs- und Lokalisierungssystemen sind Werkstücke, Produkte und Maschinen entlang der Liefer- und Wertschöpfungskette leichter zu finden.	Datenanalyse Datenaustausch Connected Logistics Standards
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung	Durch modular gekapselte Funktionalität können Anlagen leicht modifiziert werden. Interoperationen zwischen mehreren Beteiligten können mit minimalem Arbeitsaufwand hergestellt, geändert oder aufgelöst werden.	Künstliche Intelligenz Augmented/Mixed Reality Standards Additive Manufacturing
Multimodale Assistenzsysteme	Multimodale, teilweise mobile Assistenzsysteme unterstützen Werker bei Fertigung und Montage. Softwaresysteme sprechen auf Basis der vernetzten Infrastruktur und der Auswertung der verfügbaren Sensorik (siehe oben) Empfehlungen zur Gestaltung des Produktionsprozesses aus.	Mensch-Maschine-Kollaboration Menschliche Kollaboration Roboter
Sonstiges		
Modellierung und Simulation: Virtuelle Produktentwicklung und Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen	Bei der virtuellen Produktentwicklung wird ein digitales Modell eines neuen Produkts entworfen, welches beliebig modifiziert, getestet und durch Simulationen optimiert werden kann. Auch eine virtuelle Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen ist denkbar.	Digitaler Zwilling Additive Manufacturing Augmented/Mixed Reality
Unmittelbar auf Ressourceneffizienz ausgerichtete Anwendungen	Anwendungen, deren direktes und erklärtes Ziel die Steigerung der Ressourceneffizienz ist.	Energiesparende Technologien Biotech

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft / IW Consult

3.3 Mapping: Digitale Technologien für Maßnahmen der Ressourceneffizienz

Eine wesentliche Frage dieser Untersuchung ist, welche digitalen Technologien Enabler für unternehmerische Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz sind. In der folgenden Analyse werden die zuvor identifizierten Technologien und Anwendungen der Digitalisierung, die in digitalen Konzepten und Subclustern konsolidiert wurden, den in Abschnitt 3.1 bestimmten übergeordneten Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz zugeordnet.

Das Ziel dieses Mappings ist, einen systematischen Überblick über relevante digitale Konzepte und Subcluster digitaler Technologien für die verschiedenen übergeordneten Ressourceneffizienzmaßnahmen zu generieren. Damit wird auch die notwendige direkte Verbindung zwischen den digitalen Technologien und Ressourceneffizienzmaßnahmen hergestellt und führt die bisherigen Kategorisierungen aus beiden Perspektiven zusammen.

Die Mappings sind dargestellt in Tabelle 3-6 auf der Produktebene und Tabelle 3-7 auf der Prozessebene. Ein Kreuz („x“) bedeutet, dass eine digitale Technologie in der jeweiligen Zeile relevant für die Ressourceneffizienzmaßnahme ist, die in der jeweiligen Spalte vermerkt ist. Ein weniger starker, aber dennoch existierender Zusammenhang wird mit einem Kreuz in Klammern („(x)“) gekennzeichnet. Da die beiden Mappings sehr umfangreich sind, werden im Folgenden die zentralen Ergebnisse herausgestellt.

Auf der **Produktebene** handelt es sich bis auf die Maßnahmen für Produkt-Service-Systeme um übergeordnete Ressourceneffizienzmaßnahmen, die sich überwiegend auf die Produktplanung/-gestaltung beziehen:

- Für die Produktentwicklung sind digitale Konzepte, wie unmittelbar auf Ressourceneffizienz ausgerichtete Anwendungen und die Modellierung und Simulation besonders relevant. Denn eine virtuelle Produktentwicklung erlaubt die vorherige Abschätzung der Umweltauswirkungen eines Produkts. Hierfür ist es notwendig, digitale Technologien (hier: Subcluster) wie digitaler Zwilling (virtuelle Abbilder bestehend aus Daten), Augmented / Mixed Reality und Additive Manufacturing einzusetzen. Aus den Experteninterviews wird auch deutlich: Die Simulation der Nutzung kann entscheidend für eine korrekte Produktentwicklung und spätere Wiederverwendung sein, da es Fehlentwicklungen und spätere Probleme praktisch auf null minimieren kann.
- Für die adäquate Werkstoffauswahl, den Leichtbau, die Miniaturisierung und eine fertigungsgerechte Produktgestaltung kann ein digitales Prozessmonitoring und eine kleinteilige Analyse durch die individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch dazu beitragen, relevante Daten systematisch zur Verfügung zu stellen. Eine permanente und durchgängige Analyse und Monitoring werden dadurch ermöglicht.
- Moderne Produkt-Service-Systeme profitieren von dynamisch kooperierenden Systemen und einer Modularisierung sowie von Predictive Maintenance, da hierüber zusätzliche Dienstleistungen angeboten werden können. Betrachtet man die Subcluster so sind bei Produkt-Service-Systemen der Datenaustausch, Smart Products / Services sowie additive

manufacturing sehr wesentlich, um auch smarte Dienstleistungen, wie zum Beispiel eine Ferndiagnose, zur Verfügung zu stellen.

- Die Subcluster Internet of Everything / IoT und die Datenanalyse sind für alle Maßnahmen auf der Produktebene relevant.

Auf der **Prozessebene** zeigt sich folgendes Bild:

- Für das strategische Ressourcenmanagement mit ressourceneffizienzorientierten ganzheitlichen Managementsystemen sind alle digitalen Konzepte relevant.
- Die digitalen Konzepte Prozessmonitoring, kleinteilige Analysen durch individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch, dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung sowie multimodale Assistenzsysteme sind für alle übergeordneten Ressourceneffizienzmaßnahmen auf der Prozessebene relevant. Das bedeutet, diese digitalen Konzepte sind sowohl auf strategischer als auch auf operationaler Ebene bei der Optimierung von Ressourcenverbräuchen und der Kreislaufführung bedeutsam. Darüber hinaus spielen hier unmittelbar auf die Ressourceneffizienz ausgerichtete Anwendungen eine Rolle.
- Zur Optimierung der Herstellungsprozesse sowie für eine verbesserte inner- und zwischenbetriebliche Kreislaufführung kann das Tracking und Tracing von Werkstücken und Produkten zentral sein.
- Für die Optimierung der Herstellungsprozesse sind weiterhin die dezentral gesteuerte Fertigung sowie die Modellierung und Simulation wesentliche digitale Konzepte zur Steigerung der Ressourceneffizienz.
- Wirft man einen Blick auf die digitalen Subcluster, so ist für die Steigerung der Ressourceneffizienz auf der Produktionsprozessebene die Datenanalyse sehr wichtig; für die Optimierung der Prozesse sowie der betriebsübergreifenden Kreislaufführung spielt auch der Datenaustausch eine Rolle.
- Die digitalen technologischen Subcluster Internet of Everything / IoT, Mensch-Maschine-Kollaboration sowie Smart Machines sind quasi für alle übergeordneten Ressourceneffizienzmaßnahmen relevant. Cyber-physische Systeme, Roboter und Connected Logistics spielen vor allem für Optimierungs- und Kreislaufführungsmaßnahmen eine Rolle.
- Insgesamt zeigt sich, dass Enabler-Technologien bei allen übergeordneten Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz relevant sein können.

Tabelle 3-6: Mapping: Digitale Technologien und Maßnahmen für Ressourceneffizienz auf der Produktebene

Ein Kreuz („x“) bedeutet, dass eine digitale Technologie in der jeweiligen Zeile relevant für die Ressourceneffizienzmaßnahme ist, was in der jeweiligen Spalte vermerkt ist. Ein weniger starker, aber dennoch existierender Zusammenhang wird mit einem Kreuz in Klammern („(x)“) gekennzeichnet.

ANSATZ	I. Design for resource efficiency: Ressourceneffizienzoptimierte Produktentwicklung/-gestaltung					
ÜBERGEORDNETE RESSOURCENEFFIZIENZMAßNAHMEN	Werkstoffauswahl / Materialsubstitu- tion	Leichtbauweise	Miniaturisie- rung	Fertigungsge- rechte Pro- duktgestal- tung	Nutzungsge- rechte Pro- duktgestal- tung	Funktionsge- rechte Produkt- gestaltung
DIGITALE KONZEPTE						
Analyse und Monitoring						
Prozessmonitoring	x	x	x	x		
Kleinteilige Analyse durch individuelle Zuordnung relevanter Produk- tionsdaten zum Ressourcenverbrauch	(x)	(x)	(x)	(x)		
Predictive Maintenance						
Vernetzung und Kollaboration						
Dezentral gesteuerte Fertigung						
Tracking & Tracing von Werkstücken und Produkten	(x)			(x)		
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung						
Sonstiges						
Multimodale Assistenzsysteme				x		
Modellierung & Simulation: Virtuelle Produktentwicklung und Inbe- triebnahme von Fertigungsprozessen	x	x	x	x	x	x
Unmittelbar auf RE ausgerichtete Anwendungen	x	x	x	x	x	x

SUBCLUSTER						
Datenanalyse	x	x	x	x	x	x
Datenaustausch					x	
Künstliche Intelligenz	x	x	x	x	x	x
Internet of Everything, IoT	x	x	x	x	x	x
Roboter						
Cyber-physische Systeme	x	x	x	x	x	x
Smart Machines				x		
Connected Logistics						
Smart Products/Services			x	x	x	
Digitaler Zwilling	x	x	x	x	x	x
Augmented/Mixed Reality	x	x	x	x	x	x
Additive Manufacturing	x	x	x			
Energiesparende Technologien					x	
Biotech	x				x	
Standards				x	x	x
Übertragung						
Cloud						
Menschliche Kollaboration						
Mensch-Maschine-Kollaboration						
Maschine-Maschine-Kollaboration						

ANSATZ	II. Design for reuse: Kreislaufführbarkeit	III. Design for durability		
ÜBERGEORDNETE RESSOURCENEFFIZIENZMAßNAHMEN	Recyclinggerechte und entsorgungsgerechte Produktgestaltung	Verlängerung der technischen Produktlebensdauer	Verlängerung der Produktnutzungsdauer	Reparaturgerechte Produktgestaltung
DIGITALE KONZEPTE				
Analyse und Monitoring				
Prozessmonitoring				
Kleinteilige Analyse durch individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch				
Predictive Maintenance		x	x	x
Vernetzung und Kollaboration				
Dezentral gesteuerte Fertigung				
Tracking & Tracing von Werkstücken und Produkten				
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung				
Sonstiges				
Multimodale Assistenzsysteme				
Modellierung & Simulation: Virtuelle Produktentwicklung und Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen	x			x
Unmittelbar auf RE ausgerichtete Anwendungen	x			x

SUBCLUSTER				
Datenanalyse	x	x	x	x
Datenaustausch	(x)			
Künstliche Intelligenz	x	x	x	x
Internet of Everything, IoT	x	x	x	x
Roboter				
Cyber-physische Systeme	x			x
Smart Machines				
Connected Logistics				
Smart Products/Services		x	x	x
Digitaler Zwilling	x	x	x	x
Augmented/Mixed Reality	x	x	x	x
Additive Manufacturing				x
Energiesparende Technologien				
Biotech				
Standards	x			
Übertragung		x	x	x
Cloud				x
Menschliche Kollaboration				
Mensch-Maschine-Kollaboration				
Maschine-Maschine-Kollaboration				

ANSATZ		IV. Ressourceneffizienz durch die Kombination von Produkt und Service (Produkt-Service-Systeme (Dematerialisierung))			
ÜBERGEORDNETE RESSOURCENEFFIZIENZMAßNAHMEN		Produktorientiertes Produkt-Service-System	Nutzungsorientiertes Produkt-Service-System	Ergebnisorientiertes Produkt-Service-System	Anpassungen des Kernprodukts für Serviceangebot
DIGITALE KONZEPTE					
Analyse und Monitoring					
Prozessmonitoring					
Kleinteilige Analyse durch individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch					
Predictive Maintenance		x	x	(x)	x
Vernetzung und Kollaboration					
Dezentral gesteuerte Fertigung					
Tracking & Tracing von Werkstücken und Produkten					
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung		x	x	x	x
Sonstiges					
Multimodale Assistenzsysteme					
Modellierung & Simulation: Virtuelle Produktentwicklung und Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen					
Unmittelbar auf RE ausgerichtete Anwendungen					x

SUBCLUSTER				
Datenanalyse				
Datenaustausch	x	x	x	x
Künstliche Intelligenz				
Internet of Everything, IoT	x	x	x	x
Roboter	(x)	(x)	(x)	(x)
Cyber-physische Systeme	x	x	x	x
Smart Machines				
Connected Logistics				
Smart Products/Services	x	x	x	x
Digitaler Zwilling				
Augmented/Mixed Reality				
Additive Manufacturing	x			x
Energiesparende Technologien				x
Biotech		(x)		
Standards	x	x	x	x
Übertragung	x	x	x	x
Cloud	x	x	x	x
Menschliche Kollaboration		x		x
Mensch-Maschine-Kollaboration				(x)
Maschine-Maschine-Kollaboration		x	x	x

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

Tabelle 3-7: Mapping: Digitale Technologien und Maßnahmen für Ressourceneffizienz auf der Prozessebene

Ein Kreuz („x“) bedeutet, dass eine digitale Technologie in der jeweiligen Zeile relevant für die Ressourceneffizienzmaßnahme ist, was in der jeweiligen Spalte vermerkt ist. Ein weniger starker, aber dennoch existierender Zusammenhang wird mit einem Kreuz in Klammern („(x)“) gekennzeichnet.

ANSATZ	I. Strategisches Ressourcenmanagement		II. Optimierung (REDUCE)		
	Ressourceneffizienzorientierte ganzheitliche Managementsysteme	Optimierung der Herstellungsprozesse	Abfallarme Produktion	Neue Techniken (nicht digital)	Neue Technologien (außer Digitalisierung)
ÜBERGEORDNETE RESSOURCENEFFIZIENZMAßNAHMEN					
DIGITALE KONZEPTE					
Analyse und Monitoring					
Prozessmonitoring	x	x	x	x	x
Kleinteilige Analyse durch individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch	x	x	x	x	x
Predictive Maintenance	(x)				
Vernetzung und Kollaboration					
Dezentral gesteuerte Fertigung	x	x	x	x	x
Tracking & Tracing von Werkstücken und Produkten	x	x	x		(x)
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung	x	x	x	x	x
Sonstiges					
Multimodale Assistenzsysteme	x	x	x	x	x
Modellierung & Simulation: Virtuelle Produktentwicklung und Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen		x	x	x	x
Unmittelbar auf RE ausgerichtete Anwendungen	x	x	x		

SUBCLUSTER					
Datenanalyse	x	x	x	x	x
Datenaustausch	x	x	x		
Künstliche Intelligenz	x	x	x	x	x
Internet of Everything, IoT	x	x	x	x	x
Roboter		x	x		
Cyber-physische Systeme		x	x		
Smart Machines		x	x	x	x
Connected Logistics	x	x	x	x	x
Smart Products/Services					
Digitaler Zwilling		x	x	x	x
Augmented/Mixed Reality		x	x	x	x
Additive Manufacturing		x	x	x	x
Energiesparende Technologien	x				
Biotech					(x)
Standards	x	x	x		
Übertragung	x	x	x		
Cloud	x	x	x		
Menschliche Kollaboration					
Mensch-Maschine-Kollaboration	x	x	x	x	x
Maschine-Maschine-Kollaboration		x	x	x	x

ANSATZ	III. Betriebsinterne Kreislaufführung (REUSE and RE-CYCLE)			IV. Betriebsübergreifende Kreislaufführung		V. Energieeffizienz/-einsparung	
	Weiter-/Wiederverwenden	Wiederverwertung (Recycling)	Energetische Verwertung	Recyclingnetzwerke	Urban Mining	Verminderung des Energieverbrauchs	Energieeffizienz
ÜBERGEORDNETE RESSOURCENEFFIZIENZMAßNAHMEN							
DIGITALE KONZEPTE							
Analyse und Monitoring							
Prozessmonitoring	x	x	x	x	x	x	x
Kleinteilige Analyse durch individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch	x	x	x	x	x	x	x
Predictive Maintenance	(x)						
Vernetzung und Kollaboration							
Dezentral gesteuerte Fertigung	(x)	(x)	(x)		(x)	(x)	(x)
Tracking & Tracing von Werkstücken und Produkten	x	x	x	x	x		
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung	x	x	x	x	x	x	x
Sonstiges							
Multimodale Assistenzsysteme	x	x	x	x	x	x	x
Modellierung & Simulation: Virtuelle Produktentwicklung und Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen							
Unmittelbar auf RE ausgerichtete Anwendungen	x	x	x	x	x	x	x

SUBCLUSTER							
Datenanalyse	x	x	x	x	x	x	x
Datenaustausch				x	x	(x)	(x)
Künstliche Intelligenz							
Internet of Everything, IoT	x	x	x	x	x	x	x
Roboter	x	x	x	x	x		
Cyber-physische Systeme	x	x	x	x	x	x	x
Smart Machines	x	x	x	x	x	x	x
Connected Logistics	x	x	x	x			
Smart Products/Services	(x)	(x)		(x)	(x)		
Digitaler Zwilling							
Augmented/Mixed Reality							
Additive Manufacturing						(x)	(x)
Energiesparende Technologien						x	x
Biotech							
Standards	x	x	x	x	x	x	x
Übertragung	x	x	x	x	x	x	x
Cloud	x	x	x	x	x	x	x
Menschliche Kollaboration							
Mensch-Maschine-Kollaboration	x	x	x	x	x	x	x
Maschine-Maschine-Kollaboration	x	x		x	x	(x)	(x)

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

3.4 Identifikation und Mapping: Digitale Geschäftsmodelle für Ressourceneffizienz

Typisierung und Mapping der Geschäftsmodelle in Kürze

Die vorliegende Analyse beschäftigt sich damit, welche digitalen Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns im Kontext von Ressourceneffizienzsteigerungen theoretisch möglich und/oder praktisch vorhanden und relevant sind. Aufgrund der Vielfalt und Mehrdimensionalität digitaler Technologien und Anwendungen und den sich daraus ergebenden zahlreichen Arten von Veränderungen in Bezug auf Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns müssen die Geschäftsmodelle stark abstrahiert werden, um ein umfassendes Bild gewährleisten zu können. Gerade weil die Veränderungen der Geschäftsmodelle so umfassend, verschieden und kaum vorhersagbar sind, kann nur ein hoher Abstraktionsgrad die erfolgten und zu erwartenden Entwicklungen klar und eindeutig zusammenfassen.

Unternehmen erfassen und analysieren zahlreiche Produktionsdaten, Bewegungsdaten, Bestandsdaten und Stammdaten und ziehen daraus Schlüsse für ihre Wertschöpfung. Die Digitalisierung basiert auf der Analyse und Nutzbarmachung von Daten und sie geht unbestritten mit neuen, teils disruptiven Geschäftsmodellen einher. Diese hinreichend zu benennen, ist schwierig. Die Komplexität der Digitalisierung, ihrer Technologien und Entwicklungspfade erfordert einen hohen Abstraktionsgrad, um die zentralen digitalen Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns möglichst umfassend identifizieren zu können.

Deshalb wird in dieser Analyse zwischen drei Arten von Geschäftsmodellen beziehungsweise Konzepten unternehmerischen Handelns unterschieden: dem der Daten, dem der Plattformen und „Anything as a Service“ (s. Abbildung 3-3). Diese drei Arten von Geschäftsmodellen sind nicht scharf voneinander zu trennen und bedingen sich zum Teil sogar. Daten werden beispielsweise oft über eine Plattform geteilt, auch „Anything as a Service“ läuft oft über eine Plattform. Generell basieren sowohl Plattformmodelle als auch Servicemodelle auf Datenmodellen. Je nachdem, welche Rolle das Konzept beziehungsweise Modell für die Wertschöpfung des Unternehmens spielt, ob es zentralen oder peripher-untergeordneten Einfluss auf diese hat, kann von einem Geschäftsmodell oder einem Konzept unternehmerischen Handelns gesprochen werden. Die verschiedenen Geschäftsmodelle werden ausführlich in Abschnitt 0 beschrieben.

- Grundlage aller digitalen Geschäftsmodelle ist das Modell der Daten. Dieses Modell hat verschiedene Abstufungen. Die Datenanalyse ist die Grundlage. Darin enthalten sind implizit die Erhebung, Speicherung und Aufbereitung der Daten. Datenhandel, Datenplattformen und datenbasierte Dienstleistungen bauen darauf auf.
- Ein weiteres zentrales digitales Geschäftsmodell ist das Modell der Plattformen. Sie fördern die effiziente und ortsunabhängige Vernetzung vieler unterschiedlicher Akteure zu geringen Informations- und Transaktionskosten. Die erfolgreichsten Unternehmen der Welt haben eine Plattform als integralen Bestandteil ihres Geschäftsmodells.
- Das dritte zentrale Geschäftsmodell bezieht sich auf das Angebot von Dienstleistungen statt Waren. „Anything as a Service“ beschreibt, dass vormals als fertige Waren angebotene Produkte nun auch, teilweise temporär, als Dienstleistung verkauft werden.

Abbildung 3-3: Typisierung digitaler Geschäftsmodelle

Digitale Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns: Daten, Plattformen, Anything as a Service.



Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

Im folgenden Schritt wurden die digitalen Technologien zunächst digitalen Geschäftsmodellen und Konzepten unternehmerischen Handelns zugewiesen, um eine Verbindung zwischen den Einzeltechnologien und den Modellen herzustellen, die die Digitalisierung determinieren, also Daten, Plattformen und „Anything as a Service“ (Angebot von Dienstleistungen). Anschließend wurden die einzelnen Ressourceneffizienzmaßnahmen den digitalen Geschäftsmodellen zugeordnet. Dies ist eine theoretische Betrachtung in dem Sinne, als nicht geprüft wird, inwiefern Unternehmen welches Geschäftsmodell tatsächlich zur Ressourceneffizienzsteigerung nutzen. Aufgezeigt werden die theoretisch und praktisch möglichen Zusammenhänge unabhängig von der bereits erfolgten breiten Implementierung in der Praxis. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass viele Potenziale der Digitalisierung zur Ressourceneffizienz aktuell noch nicht abgerufen werden, auch weil viele Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns bei zahlreichen Unternehmen noch keine umfangreiche Umsetzung erfahren haben (siehe oben und DEMAND, 2019). Eine ausführliche Beschreibung des Mappings digitaler Geschäftsmodelle und von Maßnahmen zur Steigerung von Ressourceneffizienz gibt es in den folgenden Abschnitten. Zusammengefasst kann daraus abgeleitet werden:

- Insgesamt scheinen die genannten Ressourceneffizienzmaßnahmen eher in Form von Konzepten unternehmerischen Handelns verwirklicht zu sein denn in Geschäftsmodellen [These 2.1]. Eigenständig betriebene Datenplattformen oder der Datenhandel treten noch hinter genutzte, aber nicht eigenständig betriebene Plattformen und Datenanalysen zurück. Allerdings könnte eine intensiviertere Datenerhebung und Analyse neue Chancen für Geschäftsmodelle auch beziehungsweise gerade im Bereich der Ressourceneffizienz ermöglichen, so ein weiteres Ergebnis des ersten Expertenworkshops. So haben manche Unternehmen durch verbesserte Produktionsprozesse gleichzeitig auch ein neues Geschäftsmodell entwickelt (Beispiel aus VDI ZRE (2017a): Schaumstoffverpackungen für Losgröße 1, Wetropa GmbH).
- Diese Analyse zeigt auch, dass digitale Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns, die jeweils eng mit den digitalen Technologien und Konzepten verknüpft sind, die Basis für zahlreiche Ressourceneffizienzmaßnahmen bilden oder diese verbessern können.

Wahrscheinlich ist, dass sich die Ressourceneffizienzmaßnahmen durch das Fortschreiten der Digitalisierung und die Weiterentwicklung digitaler Technologien und Geschäftsmodelle auch bereits in naher Zukunft bedeutend weiterentwickeln werden. Auch disruptive Neuerungen sind denkbar. Grundlegend neue Prozesse könnten deutlich mehr Potenziale in Bezug auf die Ressourceneffizienz freisetzen – so auch ein Ergebnis des ersten Expertenworkshops.

Erläuterung der drei identifizierten Geschäftsmodelle

Nachfolgend werden die drei identifizierten Geschäftsmodelle beziehungsweise Konzepte unternehmerischen Handelns näher erläutert. Da alle Geschäftsmodelle auf Daten basieren, wird dem Modell der Daten besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Daten

Dadurch, dass im Rahmen der Digitalisierung immer mehr Güter und Prozesse digital abgebildet werden können und/oder vernetzt sind, fallen immer mehr Daten an immer mehr Stellen im Unternehmen und entlang der Wertschöpfungskette an. Insbesondere steigt auch die Vielfalt der Daten sowie die Geschwindigkeit, mit der diese erfasst werden (Engels/Goecke, 2019).

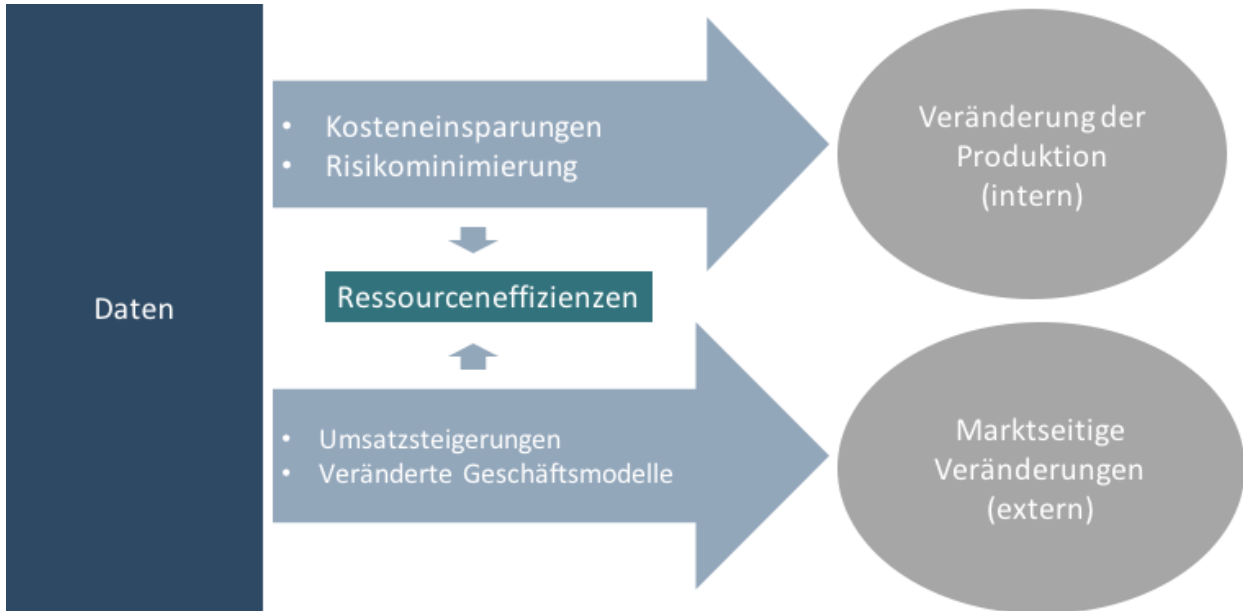
2018 wurden weltweit 33 Zettabyte (Trillionen Gigabyte) an vielfältigen Daten produziert, fünfmal mehr als noch 2013. Bis 2023 wird sich dieser Wert vermutlich auf 100 Zettabyte verdreifachen, ein Ende der Dynamik ist nicht in Sicht (Reinsel et al., 2018). Oft wird in diesem Kontext von Big Data gesprochen. Eine eindeutige und verständliche Definition, die in ähnlicher Form in vielen wissenschaftlichen Studien zu finden ist, liefert die TechAmerica Foundation (2012, 10): „Big Data is a term that describes large volumes of high velocity, complex and variable data that require advanced techniques and technologies to enable the capture, storage, distribution, management, and analysis of the information.“ Der Beitrag von Daten zur Wertschöpfung der Unternehmen ist in den letzten Jahren stetig gestiegen (DEMAND, 2019). Allein der Umsatz mit Big-Data-Lösungen hat sich nach Schätzungen von Wikibon (2017) seit dem Jahr 2011 weltweit um den Faktor 5,5 auf rund 42 Milliarden Dollar erhöht. Drei von vier deutschen Unternehmen ab 20 Mitarbeitern sehen Bitkom (2018) zufolge in Big Data eine wettbewerbsentscheidende Schlüsseltechnologie. 57 Prozent nutzen Big Data bereits beziehungsweise planen oder diskutieren den Einsatz.

Big Data eröffnet eine Vielfalt von Optionen für Unternehmen, die an zahlreichen Punkten der Wertschöpfungskette ansetzen. Insbesondere im Bereich Industrie 4.0 gibt es viele Ansatzpunkte für solche Datenanwendungen. Jede vierte Maschine in deutschen Fabriken (Industrieunternehmen ab 100 Mitarbeitern) ist smart und arbeitet vernetzt, so eine Studie von Bitkom (2018). Laut der Studie nutzt jedes zweite Unternehmen aus dem Produzierenden Gewerbe Industrie-4.0-Anwendungen, weitere 22 Prozent haben konkrete Pläne für einen Einsatz. Dementsprechend sind mehr als sieben von zehn großen deutschen Industrieunternehmen im Bereich Industrie 4.0 unterwegs und produzieren folglich im Rahmen ihrer Wertschöpfung Big Data. Für 29 Prozent der Unternehmen ab 100 Mitarbeitern, die für eine KPMG-Studie befragt wurden,

hat sich ihr Geschäftsmodell in den vergangenen zwei Jahren durch die zunehmende Verfügbarkeit von Daten und die Möglichkeit, diese zu analysieren, verändert (KPMG, 2017). In einer repräsentativen Studie mit 1.104 Unternehmen aus Industrie und Branchen unternehmensnaher Dienstleistungen (DEMAND, 2019) erwarten rund 88 Prozent der befragten Unternehmen, dass ihre internen Prozesse in fünf Jahren datengetriebener sein werden. 82 Prozent der Unternehmen verwenden Daten jetzt schon zur Steuerung von Prozessen, 81 Prozent zur Identifizierung von Produkten, Materialien und Ressourcen und 73 Prozent zur Analyse und Verbesserung von Abläufen.

Angelehnt an die von Engels/Goecke (2019, 26) identifizierten Wirkungsweisen von Big Data auf Unternehmen, zeigt Abbildung 3-4 die Weisen, auf denen Daten generell auf das Unternehmen einwirken können und wie diese in Zusammenhang mit Ressourceneffizienzen stehen:

- Es wird angenommen, dass auch kleinere Datenmengen, die nicht notwendigerweise Big Data zugeordnet werden, auf das Unternehmen wirken. Deshalb wird im Folgenden nicht mehr zwischen Big Data und kleineren Datenmengen unterschieden, sondern von Daten gesprochen. Gleichzeitig ist anzunehmen, dass die meisten der analysierten Technologien und Geschäftsmodelle auf größeren Datenmengen basieren.
- Der Einsatz von Datenanwendungen beeinflusst vor allem die Produktion und deren Bedingungen im Unternehmen und wirkt dort über Kosteneinsparungen und Risikominimierung. Kosteneinsparungen sind etwa möglich, indem durch die Erhebung und Auswertung von Daten Prozesse sicherer, stabiler, robuster, fehlertoleranter und damit effizienter gestaltet werden können. Die Ressourceneffizienz steigt, weil Ressourcen besser gemanagt werden, was kostensenkend wirken kann. Datenanalysen senken Risiken, indem sie zu einer höheren Objektivität bei kritischen Entscheidungen beitragen, oder eine präzisere Beschaffungsplanung unter der Berücksichtigung von Absatzschwankungen ermöglichen. Auch das erhöht die Ressourceneffizienz, etwa wenn Ressourcen gezielter eingesetzt werden können und das Risiko einer Produktionsunterbrechung sinkt.
- Daten können außerdem durch Umsatzsteigerungen und veränderte Geschäftsmodelle für marktseitige Veränderungen beim Unternehmen sorgen, die wiederum auf die Ressourceneffizienzen wirken. Mittels Datenanalysen kann das Kundenverhalten etwa granular ausgewertet und vorhergesagt werden, sodass wiederum passgenau produziert werden kann. Ein denkbarer Fall wäre auch, dass das Bedürfnis der Kunden nach energieeffizienteren Produkten per Datenanalysen identifiziert und so direkte Ressourceneffizienzsteigerungen möglich werden. Schließlich ermöglichen Datenanwendungen veränderte Geschäftsmodelle, wie die Erweiterung des Produktportfolios um datenzentrierte Dienstleistungen (Smart Services), die selbst die Ressourceneffizienz steigern können, etwa wenn ein Service bei Bedarf gebucht wird, statt eine entsprechende Maschinerie dafür selbst vorzuhalten.

Abbildung 3-4: Wirkungsweisen von Daten auf Unternehmen


Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

Insgesamt ergeben sich für das **Geschäftsmodell der Daten** vier Unterarten von Geschäftsmodellen beziehungsweise Konzepten unternehmerischen Handelns, die im Kontext der Ressourceneffizienz relevant sind:

- **Datenanalyse:** Unternehmen erfassen und analysieren die zahlreichen Produktionsdaten, Bewegungsdaten, Bestandsdaten und Stammdaten und ziehen daraus Schlüsse für ihre Wertschöpfung. Im Rahmen von Ressourceneffizienzsteigerungen besteht beispielsweise die Möglichkeit, unternehmensintern Datenanalyse zu betreiben, um mögliche Ineffizienzen zu identifizieren und schlussendlich zu beheben (Datenanalyse als Konzept unternehmerischen Handelns). Darüber hinaus ist Datenanalyse auch ein Geschäftsmodell: Unternehmen können anderen Unternehmen Datenanalysen anbieten, die wiederum bei diesen anderen Unternehmen zu Ressourceneffizienzveränderungen führen können (Datenanalyse als Geschäftsmodell). Technologien und Anwendungen, die der Datenanalyse zuzuordnen sind, weil Datenanalyse ein notwendiger Bestandteil der Technologie ist, sind unter anderem RFID-Tags (z. B. Analyse der Daten an verschiedenen Gütern im Verlauf des Wertschöpfungsprozesses), Digitale Zwillinge (virtuelle Abbilder bestehen aus Daten) sowie Lieferantentracking (die Ankunftsdaten der Lieferanten werden analysiert). Sie können an verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette beziehungsweise des Produktlebenszyklus zu Ressourceneffizienzen beitragen (siehe Kapitel 5.1.3 im Hauptbericht).

Es gibt drei Arten, auf denen Datenanalysen für die Unternehmen einen Mehrwert schaffen können (Buchholtz et al., 2014 bzw. Engels/Goecke, 2019).

- Data to Information bedeutet, dass Daten genutzt werden, um bestimmte Informationen aus ihnen zu ziehen. Im Kontext der Ressourceneffizienz könnte dies beispielsweise die Auslastung von Maschinen sein, aber auch viele andere Anwendungen sind denkbar. Die Analyse im Anhang 3 Abschnitt 3.4 zeigt, dass die Gewinnung von Informationen auf Basis einer Datenanalyse ein zentraler Hebel für Ressourceneffizienz ist.
- Data to Product/Service heißt, dass Erkenntnisse aus der Datenanalyse in der Praxis in einem Produkt oder einer Dienstleistung implementiert werden. Dies ist im Rahmen der Ressourceneffizienz besonders bei der nutzungsorientierten Fertigung relevant: Produktanpassungen auf Basis der Nutzungsdaten des Produkts können das Produkt selbst ressourceneffizienter machen.
- Data to Management nutzt die aus den Daten gewonnenen Informationen bei der Entscheidungsfindung und hilft etwa dabei, Verluste durch den Abbau von Entscheidungsunsicherheiten zu vermeiden. Entscheidungen etwa für ressourceneffiziente Produktionsweisen können so datenbasiert getroffen werden. Datengestützte Entscheidungen treten an die Stelle von Entscheidungen, die auf subjektiven Empfindungen beruhen und oft verzerrt sind (Engels/Goecke, 2019, 29). In der Befragung von KPMG (2017) geben drei Viertel der befragten Unternehmen ab 100 Mitarbeitern an, relevante Unternehmensentscheidungen auf Grundlage von Datenanalysen zu treffen.
- Darüber hinaus ist denkbar, dass Unternehmen Einnahmen aus Daten beziehungsweise deren Analyse erzielen können, wenn sie diese an andere Marktteilnehmer vertreiben (siehe folgendes Aufzählungszeichen).
- **Datenerwerb oder -verkauf (Datenhandel):** Unternehmen erwerben (Konzept unternehmerischen Handelns) oder verkaufen (Geschäftsmodell) erfasste (gegebenenfalls weiterverarbeitete) Daten von anderen Unternehmen beziehungsweise an andere Unternehmen. Dieser Erwerb beziehungsweise Verkauf kann auch auf nicht-monetärer Basis erfolgen. Ein zentraler Bestandteil der 3D-Druck-Technologie und damit des Additive Manufacturing ist der Datenerwerb beziehungsweise -verkauf, weshalb diese Technologie dieser Unterart zugeordnet ist. Ressourceneffizienzen entstehen an verschiedenen Stellen der Wertschöpfungskette, etwa bei dem Unternehmen, das 3D-Druck-Technologien nutzt und so unter Umständen Transport- oder Materialkosten spart.

Bislang und auch in naher Zukunft ist der Datenhandel für viele Unternehmen aus Industriebranchen und aus Branchen unternehmensnaher Dienstleistungen jedoch noch deutlich ausbaufähig. Nur 13 Prozent der Unternehmen in Deutschland rechnen in den nächsten fünf Jahren damit, häufiger Daten zuzukaufen. Nur 7 Prozent erwarten, dass ihr Unternehmen Daten auch verstärkt verkaufen wird (DEMAND, 2019). Beliebter ist der Datenaustausch: Laut 41 Prozent der befragten Unternehmen ist der Datenaustausch zukünftig relevant für ihr Unternehmen: Sie erwarten in den nächsten fünf Jahren einen verstärkten beidseitigen Austausch von Daten mit externen Partnern. In dem Zusammenhang sind besonders auch Datenplattformen relevant (siehe folgendes Aufzählungszeichen).

- **Datenplattform:** Unternehmen nutzen digitale Plattformen, um Daten mit anderen Unternehmen auszutauschen beziehungsweise zu handeln (Datenplattform als unternehmerisches Konzept). Beispielsweise ist denkbar, dass verschiedene Stakeholder eines Unternehmens über eine Plattform Zugriff auf Daten aus den Digitalen Zwillingen und einem Lieferantentracking im Sinne von Connected Logistics haben. Auch innerhalb des Unternehmens ist eine Datenplattform für verschiedene Unternehmensbereiche denkbar. Durch dieses Dataharing können Ressourceneffizienzen geschaffen werden. Es ist auch denkbar, dass Unternehmen selbst Plattformen (mit-) anbieten (Datenplattform als Geschäftsmodell). Letzteres ist mit der zweiten Geschäftsmodellart der Plattformen verbunden (siehe Abbildung 3-3).

Im Kontext der Ressourceneffizienz wird angenommen, dass vor allem das Teilen von Daten unter verschiedenen Akteuren und Stakeholdern entlang der Wertschöpfungskette zu Ressourceneffizienzsteigerungen beitragen kann. Damit muss der Datenaustausch keinesfalls mit finanziellen Leistungen einhergehen, vielmehr ist der Datenaustausch oft für alle Beteiligten vorteilhaft. In der Plattformökonomie ist es generell so, dass eine Plattform Nutzen für alle Nutzer auf allen Seiten der Plattform bietet (Demary/Rusche, 2018). Plattformen vereinfachen oft die Zusammenarbeit und senken Informations- und Transaktionskosten. Anstelle eines rein bilateralen Austauschs kann dieser potenziell viele Teilnehmer haben, Netzwerkeffekte sind möglich.

- **Datenbasierte Dienstleistungen:** Unternehmen können datenbasierte Dienstleistungen (Smart Services), also Dienstleistungen, deren zentraler Bestandteil die Erfassung und Analyse von Daten ist, nutzen (als unternehmerisches Konzept) oder anbieten (als Geschäftsmodell). Diese Unterart des Datenmodells ist eng mit der dritten Geschäftsmodellart des „Anything as a service“ verbunden (siehe Abbildung 3-3). Die Bandbreite ist groß und reicht von Remote-Service-Lösungen, die einem Unternehmen einen Fernzugriff auf seine Anlagen beim Kunden erlauben, bis hin zu komplexen Optimierungsservices, bei dem der Leistungsgrad der Maschinen beim Kunden optimiert wird (fir, 2019) und auch Ressourceneffizienzsteigerungen angestrebt werden können.

Plattformen

Digitale Plattformen sind als Enabler der Vernetzung vieler verschiedener Akteure, Stakeholder und Nutzer im Rahmen der Digitalisierung ein zentrales Geschäftsmodell. Für diese Analyse werden digitale Plattformen, angelehnt an Demary/Rusche (2018, 8), wie folgt definiert: Eine digitale Plattform ist ein Unternehmen, welches das Internet nutzt, um ökonomisch vorteilhafte Interaktionen zwischen zwei oder mehr unabhängigen Nutzergruppen zu ermöglichen beziehungsweise zu vereinfachen. Beispielsweise senken Plattformen Transaktions- und Informationskosten und ermöglichen das Ausnutzen von Netzwerkeffekten (Evans/Schmalensee, 2007), was auch Ressourceneffizienzsteigerungen zuträglich sein kann.

Insbesondere kann auch das Teilen von Daten zwischen verschiedenen Stakeholdern mithilfe einer Plattform ressourceneffizienzsteigernd sein (siehe oben). Denkbar ist auch Ressourceneffizienz, wenn das Teilen von Raum- und Materialüberschüssen über Plattformen organisiert wird. Die Transaktionsinhalte der Plattform können also durchaus auch physisch-analog sein. Es

ist darüber hinaus denkbar, dass nicht nur der nachfragende Nutzer einer Plattform (Konzept unternehmerischen Handelns), sondern auch der mitnutzende Anbieter (Geschäftsmodell) durch die Plattform Ressourceneffizienzsteigerungen erfährt. Da Plattformen als zentrales Geschäftsmodell der größten Unternehmen der Welt gelten (Alphabet (Google), Amazon, Apple, Microsoft; siehe Desjardins (2019)) und damit ein Exempel statuiert haben, ist zu erwarten, dass auch vermehrt im B2B-Bereich (Business-to-Business) Plattformmodelle geprüft und implementiert werden. In diesem Bereich ist viel Bewegung zu erwarten (einige deutsche digitale Plattformen der Industrie nennt BDI (2019)).

Anything as a Service

„Anything as a Service“ (XaaS) ist ein Sammelbegriff, der ursprünglich aus der IT kommt und beschreibt, dass statt der Anschaffung eigener Hardware und deren eigenständigem Betrieb zunehmend Aufgaben als Service angeboten (Geschäftsmodell) und nachgefragt (Konzept unternehmerischen Handelns) werden. Im Rahmen der Digitalisierung spielt die „Dienstleistungsierung“ beziehungsweise „Servitizierung“ eine entscheidende Rolle: Flexibleres Wirtschaften durch das temporäre, spontane Zukaufen von Dienstleistungen breitet sich zunehmend aus. Dadurch können Ressourcen effizienter genutzt werden. Beispielsweise können der 3D-Druck oder Additive Manufacturing auch als Serviceleistung angeboten werden.

Dem kurzfristigen Modell des „Anything as a Service“ steht eine langfristige Version gegenüber: Unternehmen bieten in der langen Frist Dienstleistungen statt Produkte an. Die Annahme ist dann, dass anbietende Unternehmen einen Anreiz haben, ein langfristig funktionierendes Produkt zu liefern, weil ihr Produkt in einer fortwährenden Dienstleistung besteht und nicht in einem zu einem Zeitpunkt verkauften Produkt – dies führt zu Ressourceneffizienzen. „Anything as a Service“ hat das Potenzial, sehr disruptiv zu sein und ursprünglich immer physische Produktkäufe zu ersetzen. So ist fast alles auch als reiner Service denkbar: Beispielsweise kann statt einer Maschine eine Maschinenleistung (Durchsatz pro Stunde) gekauft werden.

Mapping: Digitale Geschäftsmodelle für Ressourceneffizienz

Im Rahmen der Analyse werden die in Abschnitt 5.1 im Hauptbericht identifizierten Technologien und Anwendungen der Digitalisierung, die in digitalen Konzepten und Subclustern konsolidiert wurden, jeweils den Geschäftsmodellen zugeordnet (Mapping in Tabelle 3-8). Auf diese Weise wird eine direkte Verbindung zwischen den Technologien und den Geschäftsmodellen der Digitalisierung hergestellt. Dies macht deutlich, welche digitalen Konzepte und Subcluster digitaler Technologien welchen Geschäftsmodellen zuträglich sind, sodass weder die Geschäftsmodelle noch die Technologien für sich allein stehen. Vieles ist miteinander verknüpft und bedingt sich zum Teil gegenseitig. Der hohe Abstraktionsgrad der Geschäftsmodelle führt dazu, dass viele Technologien allen oder fast allen Geschäftsmodellen zugeordnet werden können.

Aufgrund deren Mehrdimensionalität kann oft nicht trennscharf zwischen Geschäftsmodellen und damit auch zwischen Zuordnungen unterschieden werden. In der Regel kann ein digitales Konzept beziehungsweise ein Subcluster der Technologien gleich mehreren Arten von Geschäftsmodellen (Konzepten unternehmerischen Handelns) zugeordnet werden, weil sie auf mehrere einwirken und die Geschäftsmodelle sich untereinander bedingen beziehungsweise

überschneiden. Zukünftig sind – je nach Entwicklung und Durchsetzung der Technologien und Anwendungen – auch andere Zuordnungen denkbar. Das Mapping kann also nur eine Momentaufnahme darstellen. Auch sind unterschiedliche Einordnungen je nach Branche, in der die Technologien und Konzepte angewendet werden, denkbar, denn die Art und der Umfang der Anwendung können sehr verschieden ausfallen.

Da das Mapping sehr umfangreich ist, werden im Folgenden die zentralen Ergebnisse herausgestellt. Ein Kreuz („x“) bedeutet, dass das digitale Konzept beziehungsweise die Technologie in der jeweiligen Zeile auf dem Geschäftsmodell beziehungsweise Konzept unternehmerischen Handelns basiert, das in der jeweiligen Spalte vermerkt ist. Ein weniger starker, aber dennoch existierender Zusammenhang wird mit einem Kreuz in Klammern („(x)“) gekennzeichnet. Wenn zunächst Digitale Konzepte und Technologien mit digitalen Geschäftsmodellen in Verbindung gebracht werden, sind naturgemäß viele Zusammenhänge identifizierbar. Ein Blick auf die auffälligsten Differenzierungen ist sinnvoll:

- Die Datenanalyse ist mit Abstand am grundlegendsten und für alle digitalen Konzepte und Technologie-Subcluster relevant.
- Auch Datenplattformen und datenbasierte Dienstleistungen spielen für viele digitale Konzepte und Technologien eine Rolle: Der Datenaustausch ist zentral. Es ist wahrscheinlich, dass die Bedeutung von Datenplattformen und datenbasierten Dienstleistungen zukünftig noch zunimmt. Viele Technologien sind in Zukunft auch als Ausführung im Rahmen einer datenbasierten Dienstleistung denkbar – unter Umständen auch als „Anything as a Service“-Modell.
- Der Datenhandel ist vergleichsweise wenig relevant für die bisher existierenden Technologien und Konzepte. Zukünftig ist auch hier eine wachsende Bedeutung möglich. Allerdings ist auch zu bedenken, dass viele Unternehmen ihre Daten nicht mit anderen teilen möchten. Das liegt auch daran, dass ihnen die Grundlage für einen strukturierten Umgang mit diesen Daten, eine unternehmensweite Data Governance, noch fehlt (Engels, 2019; DEMAND, 2019).
- „Anything as a Service“ (XaaS) spielt vor allem für stark serviceorientierte Technologien und Konzepte wie Predictive Maintenance und Multimodale Assistenzsysteme eine Rolle.
- Plattformen sind überall da zentral, wo die Vernetzung von verschiedenen Akteuren wichtig ist. Das ist naturgemäß vor allem bei den digitalen Konzepten so, die der Vernetzung und Kollaboration zugeordnet werden können, aber auch bei denen, die Analyse und Monitoring beschreiben.
- Manche digitalen Konzepte sind sehr komplex und umfassend und bauen daher auf allen genannten Geschäftsmodellen und Konzepten unternehmerischen Handels auf, so etwa das Prozessmonitoring.
- Gleiches gilt für manche Technologie-Subcluster: Datenanalyse, Datenaustausch, Künstliche Intelligenz und das Internet of Everything sind allen Geschäftsmodellen zuordenbar.

- Auch die technischen Enabler Standards, Übertragung und Cloud sind allen Geschäftsmodellen zuzuordnen. An dieser Stelle ist auch ein Perspektivwechsel denkbar und sinnvoll: Alle Geschäftsmodelle bedienen sich Standards, Übertragungs- und Cloudtechnologien.
- Menschliche und Mensch-Maschine-Kollaborationen hingegen sind Enabler, die eher punktuell wirken und lediglich mit Datenanalyse und Plattformen in Verbindung gebracht werden. Maschine-Maschine-Kollaborationen sind wiederum mit allen Geschäftsmodellen außer dem Untermodell des Datenhandels verbindbar.
- Das Technologie-Subcluster Biotech hat vergleichsweise am wenigsten mit digitalen Geschäftsmodellen und Konzepten unternehmerischen Handelns zu tun.

Insgesamt zeigt das Mapping, dass der Austausch von Informationen zwischen Akteuren über Plattformen ein zentraler Bestandteil fast aller Technologien und Konzepte ist.

In einem zweiten Schritt werden folgend die in Abschnitt 3.1 im Anhang A3 erarbeiteten Aspekte der Ressourceneffizienz den digitalen Geschäftsmodellen und Konzepten unternehmerischen Handelns in einem Mapping zugeordnet (Tabelle 3-9). Auch dieses Mapping kann keine trennscharfen Zuordnungen liefern und bietet allenfalls eine Momentaufnahme. Durch das zweifache Mapping werden die verschiedenen Ebenen: Technologien, digitale Konzepte, digitale Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns stringent mit der Ressourceneffizienz verbunden. Die zentralen Ergebnisse sind hier:

- Die Datenanalyse ist das Konzept unternehmerischen Handelns, welches in allen Ressourceneffizienzmaßnahmen zum Tragen kommt, wenn auch in unterschiedlichem Maße. Ohne die Analyse von Daten ist eine weitere Steigerung der Ressourceneffizienz nicht möglich. Wenn Daten systematisch zur Verfügung stehen, können beispielsweise Zuschnitte von Material exakt geplant und Verschnitte vermieden werden. Auch die Teilnehmer des ersten Expertenworkshops betonten, dass insbesondere weniger offensichtliche Zusammenhänge durch umfangreiche Daten und die entsprechende Auswertung identifiziert werden könnten und im Zusammenhang mit weiteren Entscheidungen im Sinne der Ressourceneffizienz zu dieser beitragen könnten. An dieser Stelle ist Digitalisierung also eine Voraussetzung beziehungsweise ein Enabler für eine weitere Steigerung der Ressourceneffizienz, da sie Ressourceneffizienz messbar und Einsparpotenziale umsetzbar macht [Thesen 1.1 und 1.2].
- Datenplattformen, datenbasierte Dienstleistungen sowie der Datenhandel sind hingegen vor allem bei der nutzungs- und funktionsgerechten Produktgestaltung sowie im Bereich Produktion beim Ressourcenmanagement und der Optimierung relevant.
- Nachhaltigkeitsmaßnahmen und Maßnahmen der Kreislaufführung bauen vor allem auch auf der Vernetzung von Akteuren über Plattformen auf.
- Neue Produkt-Service-Kombinationen als Ressourceneffizienzmaßnahmen bauen naturgemäß vor allem auf dem Geschäftsmodell „Anything as a Service“ auf. Dies kann von Reparaturen vor Ort bis Ferndiagnosen reichen.

- Der Bereich Produktion ist der Bereich, in dem die meisten digitalen Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns in der Ressourceneffizienz zum Tragen kommen. Insbesondere im Rahmen des Strategischen Ressourcenmanagements und der Optimierung (REDUCE-Prinzip) sind digitale Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns eine Möglichkeit, Ressourceneffizienz zu verbessern.
- Das Ergebnis, dass sich im Bereich Produkt bei den Ressourceneffizienzmaßnahmen Leichtbauweise, Materialauswahl und Miniaturisierung recht wenige Verbindungen zu digitalen Geschäftsmodellen herstellen lassen, korreliert mit der Anmerkung aus dem ersten Expertenworkshop, dass die Digitalisierung bei zahlreichen eher analogen Prozessen je nach Branche schnell an das Ende ihres Potenzials stoßen kann.

Tabelle 3-8: Mapping digitale Geschäftsmodelle und Technologien

Mapping der digitalen Konzepte sowie Subcluster mit Technologien und Anwendungen der Digitalisierung, die auf Ressourceneffizienz einwirken können, auf Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns: Daten, Plattformen, Anything as a Service.

	Geschäftsmodelle/Konzepte unternehmerischen Handelns					
	Daten				Plattformen	Anything as a Service
	Datenanalyse	Datenhandel	Datenplattform	Datenbasierte Dienstleistung		
DIGITALE KONZEPTE						
Analyse und Monitoring						
Prozessmonitoring	x	x	x	(x)	x	(x)
Kleinteilige Analyse durch individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch	x	x	x	(x)	x	
Predictive Maintenance	x		x	x	x	x
Vernetzung und Kollaboration						
Dezentral gesteuerte Fertigung	x		(x)		x	(x)
Tracking und Tracing von Werkstücken und Produkten	x	x	x	(x)	x	
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung	x		x	x	x	(x)
Multimodale Assistenzsysteme	x	(x)	x	x	(x)	x
Sonstiges						
Modellierung und Simulation: Virtuelle Produktentwicklung und Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen	x	(x)	x	(x)	(x)	
Unmittelbar auf RE ausgerichtete Anwendungen	x		x	(x)	x	(x)

SUBCLUSTER						
Datenanalyse	x	x	x	x	x	x
Datenaustausch	x	x	x	x	X	x
Künstliche Intelligenz	x	x	x	x	X	x
Internet of Everything, IoT	x	x	x	x	x	x
Roboter	x	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)
Cyber-physische Systeme	x	X	x	x	(x)	x
Smart Machines	x		x	(x)		(x)
Connected Logistics	x		x		x	
Smart Products/Services	x			x	x	x
Digitaler Zwilling	x		x	x		
Augmented/Mixed Reality	x			x		x
Additive Manufacturing	x	x	x	x		x
Energiesparende Technologien	x		x	x		
Biotech	x					
Standards	x	x	x	x	x	x
Übertragung	x	x	x	x	x	x
Cloud	x	x	x	x	x	x
Menschliche Kollaboration	x				x	
Mensch-Maschine-Kollaboration	x				x	
Maschine-Maschine-Kollaboration	x		x	x	x	x

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

Tabelle 3-9: Mapping: Digitale Geschäftsmodelle und Ressourceneffizienzmaßnahmen

Mapping der Ressourceneffizienzmaßnahmen auf digitale Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns: Daten, Plattformen, Anything as a Service.

		Geschäftsmodelle/Konzepte unternehmerischen Handelns					Plattfor- men	Anything as a Ser- vice
		Daten						
Ansatz	Übergeordnete Maßnahme	Datenanalyse	Datenkauf- & -verkauf	Datenplattform	Datenbasierte Dienstleistung			
PRODUKT								
I. Design for resource efficiency: Ressourceneffizienzoptimierte Produktentwicklung/-gestaltung	Werkstoffauswahl/Materialsubstitution	x						
	Leichtbauweise	x						
	Miniaturisierung	x						
	Fertigungsgerechte Produktgestaltung	x				x	x	
	Nutzungsgerechte Produktgestaltung	x	x	x	x	x	x	
	Funktionsgerechte Produktgestaltung	x	(x)	x	(x)	x	x	
II. Design for reuse: Kreislaufführbarkeit	Demontagegerechte Produktgestaltung	x						
	Recyclinggerechte und entsorgungsgerechte Produktgestaltung	x				(x)		
III. Design for durability	Verlängerung der technischen Produktlebensdauer	X					(x)	
	Verlängerung der Produktnutzungsdauer	x		(x)		x	(x)	
	Reparaturgerechte Produktgestaltung	x			x	x	x	

		Geschäftsmodelle/Konzepte unternehmerischen Handelns					
		Daten				Plattfor- men	Anything as a Ser- vice
Ansatz	Übergeordnete Maßnahme	Datenanalyse	Datenkauf- & - verkauf	Datenplattform	Datenbasierte Dienstleistung		
IV. Ressourceneffizienz durch die Kombination von Produkt und Service (Produkt-Service-Systeme)	Produktorientiertes Produkt-Service-System	(x)					x
	Nutzungsorientiertes Produkt-Service-System	(x)				x	x
	Ergebnisorientiertes Produkt-Service-System	x			x	x	x
	Anpassungen des Kernprodukts für Serviceangebot	x	x	x	x	x	x
PRODUKTION							
I. Strategisches Ressourcenmanagement	Ressourceneffizienzorientierte ganzheitliche Managementsysteme	x	x	x	x	x	x
II. Optimierung (REDUCE)	Optimierung der Herstellungsprozesse	x	x	x	x	x	x
	Abfallarme Produktion	x		x	x	x	x
	Neue Techniken (nicht digital)						
	Neue Technologien (außer Digitalisierung)	x	x	x	x	x	x
III. Betriebsinterne Kreislaufführung (REUSE and RECYCLE)	Weiter-/Wiederverwenden	x		x	x	x	x
	Wiederverwertung (Recycling)	x				x	
	Energetische Verwertung	(x)					

		Geschäftsmodelle/Konzepte unternehmerischen Handelns					Plattfor- men	Anything as a Ser- vice
		Daten						
Ansatz	Übergeordnete Maßnahme	Datenanalyse	Datenkauf- & - verkauf	Datenplattform	Datenbasierte Dienstleistung			
IV. Betriebsübergrei- fende Kreislauführung	Recyclingnetzwerke	x				x		
	Urban Mining	x	x	x		(x)		
V. Energieeffizienz/- einsparung	Verminderung des Energieverbrauchs	x		x	x	(x)	x	
	Energieeffizienz	x						

Quelle: eigene Darstellung, Institut der deutschen Wirtschaft

3.5 Beschreibung und Mapping: Digitale Wertschöpfungsketten/-netze

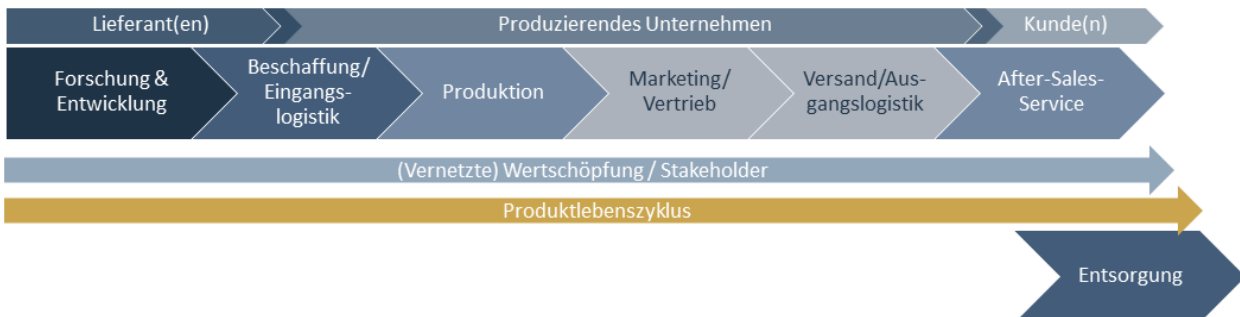
Im vorangegangenen Kapitel wurden die Geschäftsmodelle in der digitalen Welt typisiert und hinsichtlich ihres Einflusses auf die Ressourceneffizienz analysiert. Daran anschließend soll nun deren Einbettung in Wertschöpfungsketten und -netzwerken betrachtet werden.

Digitale Wertschöpfungsketten und -netze in Kürze

Anders als bei Porter, der in seiner Grunddefinition einer Wertschöpfungskette zwischen den Primäraktivitäten Eingangslogistik, Produktion, Ausgangslogistik, Marketing & Vertrieb und Kundenservice und den Unterstützungsaktivitäten Personalwirtschaft, Unternehmensinfrastruktur, Technologieentwicklung und Beschaffung differenziert, werden in der vorliegenden Studie im Sinne des Untersuchungsgegenstands „Ressourceneffizienz“ Personalwirtschaft und Unternehmensinfrastruktur zurückgestellt und Technologieentwicklung und Beschaffung mit in den Vordergrund gerückt. Aufgrund seiner fundamentalen Bedeutung wurde gleichzeitig der Aspekt *Entsorgung* in die Betrachtung mit einbezogen (Abbildung 3-5).

Abbildung 3-5: Wertschöpfungskette

„Starre“ Wertschöpfungskette, Stakeholder und Produktlebenszyklus inkl. Entsorgung



Quelle: eigene Darstellung, IW Consult

Die Digitalisierung wirkt auf bestehende „starre“ Wertschöpfungsketten und die sich stärker verbreitenden dynamischen Wertschöpfungsnetzwerke. Diese Wirkung geschieht zum einen direkt über die digitalen Technologien, die in den einzelnen Produktionsstufen eingesetzt werden, und zum anderen indirekt über die digitalen Geschäftsmodelle, die über die Ausprägungen Datenanalyse, Plattformen oder auch „Anything as a Service“ in den einzelnen Produktionsstufen angewendet werden können.

Im Bereich Produktion führt die Digitalisierung zu den größten Effekten in den Unternehmen. Nicht nur die hergestellten Produkte selbst, sondern auch die damit verbundenen Produktionsprozesse und die zur Produktion eingesetzten Maschinen sind von der Digitalisierung betroffen und können von den damit einhergehenden Ressourceneffizienzmaßnahmen profitieren. Anders ist dies beim Marketing und Vertrieb: Hier steht die Erfüllung von Kundenbedürfnissen und Kundenerwartungen im Vordergrund und weniger die Möglichkeit zur Ressourceneffizienz.

Die oben beschriebenen Plattformen können als Mittler zwischen Lieferanten, produzierenden Unternehmen und Kunden agieren, indem sie Daten von allen Beteiligten sammeln und an alle Beteiligten liefern und gleichzeitig darauf basierende oder daraus generierte Dienstleistungen anbieten. Eine besondere Rolle spielen dabei die in den Plattformen integrierten Data Science Center: Sie werden zu einem wesentlichen Bestandteil der Wertschöpfungskette, indem sie Big Data konsolidieren und analysieren. Dabei sind die Quantität und Qualität der auszutauschenden Daten eine Grundvoraussetzung, um Ressourceneffizienzpotenziale zu identifizieren und den Beteiligten der Wertschöpfungskette und des Wertschöpfungsnetzwerks zugänglich zu machen.

In einem weiteren Schritt wurden die Technologien und Anwendungen der Digitalisierung sowie Maßnahmen und Aspekte der Ressourceneffizienz mit den Bestandteilen der Wertschöpfungsketten gemappt. Abschließend wurden die oben genannten digitalen Geschäftsmodelle den Gliedern der Wertschöpfungskette zugeordnet und deren voraussichtliche Rolle in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken betrachtet. Die Ergebnisse werden im Folgenden ausführlich beschrieben.

Erläuterung von Wertschöpfungsketten, - netzen

Zunächst erfolgt eine kurze Beschreibung von starren, „klassischen“ sowie digitalen Wertschöpfungsketten und deren Entwicklung hin zu dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken. Klassische, „starre“ Wertschöpfungsketten stellen die Produktionsstufen als eine geordnete Reihung von Tätigkeiten dar. Heute werden immer stärker Daten in den verschiedenen Stufen erhoben und mit anderen internen und externen, eng vernetzten und in Echtzeit kommunizierenden Akteuren geteilt, so dass vernetzte, dynamische Wertschöpfungsketten entstehen. Die Effizienz des Gesamtprozesses wird deutlich verbessert, da durch die Einbindung einzelner Wertschöpfungsprozesse in übergreifend vernetzte Systeme die Abstimmung zwischen den Produktionsstufen optimiert wird (Botthof, 2017). Gleichzeitig stellen diese dynamischen Wertschöpfungsnetzwerke aber auch wesentlich erhöhte Anforderungen an die Koordinations- und Kooperationsfähigkeiten sowie -bereitschaften aller Akteure.

Übergreifend führt die Digitalisierung in der Wertschöpfungskette bei Produktion sowie bei Marketing und Vertrieb zu den größten Effekten in den Unternehmen. Die Produktion ist allein deshalb schon sehr stark von der Digitalisierung betroffen, weil dieser Bereich – neben den hergestellten Produkten selbst – auch die damit verbundenen Produktionsprozesse und die zur Produktion eingesetzten Maschinen umfasst. Somit besteht hier ein großer Hebel zur Ressourceneffizienz. Anders gestaltet sich der Bereich Marketing und Vertrieb: Dieser profitiert hauptsächlich von einer besseren Erfüllung von Kundenbedürfnissen und -erwartungen und weniger hinsichtlich Möglichkeiten zur Ressourceneffizienz. Dies wird unter anderem auch in beiden Tabellen (Tabelle 3-10 und Tabelle 3-11) deutlich, bei denen in den jeweiligen Spalten kaum ein Item auf Marketing und Vertrieb zutrifft.

Mapping: Digitale Wertschöpfungsketten/-netzwerke für Ressourceneffizienz

In einem nächsten Schritt werden – analog zur Vorgehensweise bei den digitalen Geschäftsmodellen – die in Abschnitt 5.1.1 im Hauptbericht identifizierten Technologien und Anwendungen der Digitalisierung, die in digitalen Konzepten und Subclustern konsolidiert wurden, jeweils den einzelnen Bestandteilen der Wertschöpfungsketten zugeordnet. Bei den in Tabelle 3-10 genannten Konzepten und Technologien handelt es sich eher um Potenziale, weniger um tatsächlich in den Unternehmen bereits umgesetzte Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Ideen und Konzepte existieren zwar häufig, es fehlt jedoch an der Formulierung und insbesondere der Umsetzung von damit verbundenen Digitalisierungsstrategien. Somit stellt die Vielzahl an Konzepten und Technologien einen Idealzustand dar. Die Realität sieht – gerade in KMU – etwas ernüchternder aus. Die in Kapitel 3.4 vorgenommenen Anmerkungen zu Trennschärfe der digitalen Konzepte und Technologien sowie zum Zeitaspekt („Momentaufnahme“) gelten auch für die nachfolgende Tabelle. Da hier das Mapping ebenfalls sehr umfangreich ist, werden im Folgenden nur die zentralen Ergebnisse herausgestellt. Für detailliertere Ergebnisse für alle neun Konzepte und 17 Subcluster siehe Tabelle 3-10. Ein Kreuz („x“) bedeutet, dass das digitale Konzept beziehungsweise die Technologie in der jeweiligen Produktionsstufe anwendbar ist. Ein weniger starker, aber dennoch existierender Zusammenhang wird mit einem Kreuz in Klammern („(x)“) dargestellt.

Sämtliche in Tabelle 3-10 aufgeführten digitalen Konzepte und Technologien finden ihre mögliche Anwendung in der Produktionsstufe. Dies unterstreicht nochmals deren bereits genannten Stellenwert bei der Ressourceneffizienz. In einer rein quantitativen Längsschnittbetrachtung (= Anzahl der anzuwendenden Konzepte und Technologien) ist außerdem der Bereich von Forschung und Entwicklung ein geeigneter Anknüpfungspunkt, gefolgt von Beschaffung/Eingangslogistik, Versand/Ausgangslogistik sowie After-Sales-Services. Entsorgung und insbesondere Marketing/Vertrieb (s. o.) spielen nur eine untergeordnete Rolle.

- In einer Querschnittsbetrachtung der digitalen Konzepte, die auf Ressourceneffizienz einwirken können, ist das Tracking und Tracing von Werkstücken und Produkten für fast alle Produktionsstufen von Bedeutung. Das liegt daran, dass durch Tagging, Tracing and Tracking Stoffströme in der Wertschöpfungskette besser verfolgt werden können (siehe auch Abschnitt 1.3).
- Darauf folgt das Prozessmonitoring, das über Sensoren und Aktoren die Betriebszustände von Anlagen und Prozessen erfasst, analysiert und bei Abweichungen reagieren kann. Material- und Energieeinsparungen können so realisiert werden. Basis dafür sind Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS), über die die Produktionsprozesse auf Betriebsebene koordiniert werden. Multimodale Assistenzsysteme, die auch auf oben genannte Daten zugreifen können, ermöglichen Planung und Aufbau eines ressourceneffizienten Produktionsprozesses, der wiederum von Manufacturing-Execution-Systemen (MES) operativ in Herstellungsprozesse überführt werden kann.
- Untersucht man die für Ressourceneffizienz relevanten (und in der Tabelle geclusterten) Technologien, kristallisieren sich Datenaustausch und Datenanalyse, Standards,

Übertragung und Cloud als besonders bedeutsam heraus. Sie finden in annähernd allen Produktionsstufen der Wertschöpfungskette ihre Anwendung. Dies ist insofern auch nicht überraschend, weil genannte Technologien gleichzeitig die Grundlage der in Tabelle 3-8 genannten Geschäftsmodelle und Konzepte unternehmerischen Handelns sind und dort auch entsprechend häufig aufgeführt werden.

Im nächsten Schritt werden die in Abschnitt 3.1 erarbeiteten Maßnahmen beziehungsweise Aspekte der Ressourceneffizienz mit den Wertschöpfungsketten gemappt. Analog zum Mapping der Technologien stellt der Produktionsbereich – neben dem After-Sales-Service – den größten Anknüpfungspunkt für Ressourceneffizienzmaßnahmen dar (Längsschnittbetrachtung; s. Tabelle 3-11). Ein weiterer wichtiger Bereich ist Forschung und Entwicklung (FuE): Werden hier von Beginn an bei der Produktentwicklung Effizienzmaßnahmen berücksichtigt, können in den darauffolgenden Gliedern der Wertschöpfungskette beziehungsweise -netzwerke diese Maßnahmen auch tatsächlich ihre Wirkung entfalten. Marketing/Vertrieb ist – vergleichbar zum Technologie-Mapping – auch hier zu vernachlässigen.

Betrachtet man (im Querschnitt) die Zuordnung von Ressourceneffizienzmaßnahmen zu Produktionsstufen in Unternehmen, sind folgende Ergebnisse festzuhalten (Tabelle 3-11):

- Die Optimierung der Produktion (REDUCE), insbesondere durch die Verwendung neuer Technologien und Techniken, sowie das Strategische Ressourcenmanagement durch effizienzorientierte ganzheitliche Systeme können die größten Hebelwirkungen auf dem Weg zu mehr Ressourceneffizienz verzeichnen. Es geht vor allem darum, Reduktionspotenziale und die Optimierung im Materialmix zu erreichen.
- Neben den Maßnahmen zur Verminderung des Energieverbrauchs liegt in der betriebsinternen Kreislaufführung (REUSE and RECYCLE) und auch betriebsübergreifend bei den Recyclingnetzwerken Potenzial: Nicht nur die Bereiche Beschaffung und Produktion, sondern auch der After-Sales-Service und (natürlich) die Entsorgung können zur Ressourceneffizienz im Unternehmen beitragen.
- Nicht zu vernachlässigen ist der PRODUKT-Ansatz selbst – schließlich bestimmt die Designphase über bis zu 80 Prozent des Energie- und Ressourcenverbrauchs von Produkten in ihrem gesamten Lebenszyklus: Auch wenn hier hauptsächlich nur die beiden Bereiche FuE und Produktion betroffen sind, können dort eine Vielzahl von Maßnahmen aus dem Themenfeld *Design for resource efficiency* angewendet werden: Werkstoffauswahl/Materialsubstitution, Leichtbauweise, Miniaturisierung sowie fertigungs-, nutzungs- und funktionsgerechte Produktgestaltung.

In einem vierten und letzten Schritt erfolgt dann die Zuordnung der oben beschriebenen digitalen Geschäftsmodelle zu den Gliedern der Wertschöpfungskette sowie deren voraussichtliche Rolle in dynamischen Wertschöpfungsnetzwerken. Durch diese Vorgehensweise ist gewährleistet, dass alle möglichen Aspekte der Digitalisierung als Enabler der Ressourceneffizienz Berücksichtigung finden.

Die in Kapitel 0 vorgenommene Analyse der drei großen Geschäftsmodelle der Digitalisierung – Daten, Plattformen und „Anything as a Service“ – hinsichtlich der digitalen Konzepte und Technologien sowie der Ressourceneffizienzmaßnahmen hat im positiven Sinne deutlich gemacht, wie wirksam sie bereits heute sowie zukünftig zur Ressourceneffizienz beitragen können. Zentraler Aspekt sind dabei die Datenanalyse und der Datenaustausch, die in allen Bereichen der Wertschöpfungsketten beziehungsweise -netzwerke [FuE, Beschaffung/Eingangslogistik, Produktion, Marketing/Vertrieb, Versand/Ausgangslogistik, After-Sales-Service, (Entsorgung)] die Grundlage bilden.

Heutige Wertschöpfungsketten und insbesondere die sich weiterverbreitenden dynamischen Wertschöpfungsnetzwerke sind bereits jetzt von der Quantität und Qualität auszutauschender Daten abhängig. Diese Anforderungen werden sich mit steigender digitaler Transformation der Wirtschaft noch verstärken – annähernd unabhängig von den Produktionsstufen. Möglicherweise führt das zu Schwierigkeiten bei den Unternehmen, die an diesem Veränderungsprozess bisher nicht teilhaben (wollen oder können). Sie könnten als Partner von Netzwerken weniger attraktiv werden und so an den Effizienzgewinnen von Netzwerken – auch im Bereich der Ressourcen – nicht teilhaben. Hier liegt die Chance für nutzergerecht strukturierte Datenplattformen und datenbasierte Dienstleistungen, die die Anwendungsschwelle sowohl von der technischen als auch der Kostenseite möglichst niedrig halten.

Die Dynamisierung der Märkte führt zu steigender Erwartungshaltung der Kunden hinsichtlich Flexibilität und Kundenorientierung der Anbieter. Kunden erwarten immer kürzere Reaktionszeiten. Dynamische, den gesamten Produktzyklus umfassende Wertschöpfungsketten sind erforderlich. Möglicherweise befinden sich hier gerade KMU in einer vorteilhaften Situation. Sie könnten eine Treiberrolle übernehmen, in dem sie digitale produkt- und serviceorientierte Geschäftsmodelle zur Planung, Gestaltung, Steuerung und Wartung komplexer Wertschöpfungsnetze im Unternehmen und über Unternehmensgrenzen hinweg (zu Kunden und Lieferanten) entwickeln. Aufgrund ihrer gegenüber Großunternehmen höheren Flexibilität könnten diese schneller auf den Markt kommen. Indem sie kurze Zyklen mit schnellem Feedback nutzen, Verschwendung vermeiden und kundenzentriert vorgehen, könnten sie zur Ressourceneffizienz beitragen.

Entwicklung und Betrieb von Wertschöpfungsnetzwerken sind auf nachhaltigen ökonomischen – und damit auch ressourceneffizienten – Mehrwert ausgerichtet. Plattformen fungieren dabei als Mittler zwischen Lieferanten, produzierenden Unternehmen und Kunden: Sie sammeln/liefern Daten an alle Beteiligten und bieten gleichzeitig darauf basierende beziehungsweise daraus generierte Dienstleistungen an. In den Plattformen integrierte „Data Science Center“ werden zu einem zentralen Bestandteil der Wertschöpfungskette, indem sie Big Data konsolidieren und analysieren. So können Ressourceneffizienzpotenziale frühzeitig erkannt und allen Beteiligten des Wertschöpfungsnetzwerks zugänglich gemacht werden.

Tabelle 3-10: Mapping (Digitale) Wertschöpfungsketten/-netzwerke und Technologien

Mapping der digitalen Konzepte sowie Subcluster mit Technologien und Anwendungen der Digitalisierung, die auf Ressourceneffizienz einwirken können, auf (digitale) Wertschöpfungsketten und -netzwerke

	Digitalisierung in Wertschöpfungsketten und -netzwerken						
	[Lieferant(en)]		Produzierendes Unternehmen			[Kunde(n)]	
	Forschung & Entwicklung	Beschaffung/ Eingangslgistik	Produktion	Marketing/ Vertrieb	Versand/Ausgangslgistik	After-Sales-Service	Entsorgung
DIGITALE KONZEPTE							
Analyse und Monitoring							
Prozessmonitoring	(x)	x	x		x		x
Kleinteilige Analyse durch individuelle Zuordnung relevanter Produktionsdaten zum Ressourcenverbrauch	x		x				
Predictive Maintenance	(x)		x			x	
Vernetzung und Kollaboration							
Dezentral gesteuerte Fertigung	(x)		x				
Tracking & Tracing von Werkstücken und Produkten	(x)	x	x		x	x	x
Dynamisch kooperierende Systeme und Modularisierung	(x)	(x)	x		(x)	(x)	
Multimodale Assistenzsysteme	(x)	x	x		x	(x)	

Digitalisierung in Wertschöpfungsketten und -netzwerken							
	[Lieferant(en)]		Produzierendes Unternehmen			[Kunde(n)]	
	Forschung & Entwicklung	Beschaffung/ Eingangsl- gistik	Produktion	Marketing/ Vertrieb	Versand/Ausgangslo- gistik	After-Sales-Service	Entsor- gung
Sonstiges							
Modellierung & Simulation: Virtuelle Produktentwicklung und Inbetriebnahme von Fertigungsprozessen	x	(x)	x		(x)	(x)	
Unmittelbar auf RE ausgerichtete Anwendungen	(x)		x		(x)		(x)
SUBCLUSTER							
Datenanalyse	x	x	x	(x)	x	x	x
Datenaustausch	x	x	x	x	x	x	x
Künstliche Intelligenz	x	x	x	x	x	(x)	
Internet of Everything, IoT	x	x	x		x	x	x
Roboter	(x)	(x)	x		(x)		
Cyber-physische Systeme	x		x				
Smart Machines	x	(x)	x		(x)	(x)	
Connected Logistics		x	(x)		x	(x)	
Smart Products/Services	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	x	(x)

Digitalisierung in Wertschöpfungsketten und -netzwerken							
	[Lieferant(en)]		Produzierendes Unternehmen			[Kunde(n)]	
	Forschung & Entwicklung	Beschaffung/ Eingangsl- gistik	Produktion	Marketing/ Vertrieb	Versand/Ausgangslo- gistik	After-Sales-Service	Entsor- gung
Digitaler Zwilling	x		x			x	x
Augmented/Mixed Reality	x	(x)	x	x	(x)	(x)	(x)
Additive Manufacturing	x	x	x		(x)	(x)	
Energiesparende Technologien	x	x	x		x	x	(x)
Biotech	(x)		x				x
Standards	x	x	x	x	x	x	x
Übertragung	x	x	x	(x)	x	x	x
Cloud	x	x	x	(x)	x	x	x
Menschliche Kollaboration	x	x	x	x	x	x	(x)
Mensch-Maschine-Kollaboration	x	x	x	x	x	x	x
Maschine-Maschine-Kollaboration	x	(x)	x		(x)	x	(x)

Quelle: eigene Darstellung, IW Consult

Tabelle 3-11: Mapping: (Digitale) Wertschöpfungsketten/-netzwerke und Ressourceneffizienzmaßnahmen

Mapping der Ressourceneffizienzmaßnahmen auf (digitale) Wertschöpfungsketten und -netzwerke

		Digitalisierung in Wertschöpfungsketten und -netzwerken						
		[Lieferant(en)]		Produzierendes Unternehmen			[Kunde(n)]	
Ansatz	Übergeordnete Maßnahme	Forschung & Entwicklung	Beschaffung/ Eingangsl Logistik	Produktion	Marketing/ Vertrieb	Versand/ Ausgangs- logistik	After-Sales- Service	Entsorgung
PRODUKT								
I. Design for resource efficiency: Ressourceneffizienzoptimierte Produktentwicklung/-gestaltung	Werkstoffauswahl / Materialsubstitution	x		x				x
	Leichtbauweise	x		x				
	Miniaturisierung	x		x				
	Fertigungsgerechte Produktgestaltung	x	x	x				
	Nutzungsgerechte Produktgestaltung	x		x			x	
	Funktionsgerechte Produktgestaltung	x		x			x	
II. Design for reuse: Kreislaufführbarkeit	Demontagegerechte Produktgestaltung	x					x	x
	Recyclinggerechte und entsorgungsgerechte Produktgestaltung	x						x

		Digitalisierung in Wertschöpfungsketten und -netzwerken						
		[Lieferant(en)]		Produzierendes Unternehmen			[Kunde(n)]	
Ansatz	Übergeordnete Maßnahme	Forschung & Entwicklung	Beschaffung/ Eingangslogistik	Produktion	Marketing/ Vertrieb	Versand/ Ausgangs- logistik	After-Sales- Service	Entsorgung
III. Design for durability	Verlängerung der technischen Produktlebensdauer	x					x	
	Verlängerung der Produktnutzungsdauer	x					x	
	Reparaturgerechte Produktgestaltung	x					x	
IV. Ressourceneffizienz durch die Kombination von Produkt und Service (Produkt-Service-Systeme)	Produktorientiertes Produkt-Service-System						x	x
	Nutzungsorientiertes Produkt-Service-System					x	x	
	Ergebnisorientiertes Produkt-Service-System						x	
	Anpassungen des Kernprodukts für Serviceangebot					(x)	x	
PRODUKTION								
I. Strategisches Ressourcenmanagement	Ressourceneffizienzorientierte ganzheitliche Managementsysteme	x	x	x		x	x	

		Digitalisierung in Wertschöpfungsketten und -netzwerken						
		[Lieferant(en)]		Produzierendes Unternehmen			[Kunde(n)]	
Ansatz	Übergeordnete Maßnahme	Forschung & Entwicklung	Beschaffung/ Eingangslogistik	Produktion	Marketing/ Vertrieb	Versand/ Ausgangs- logistik	After-Sales- Service	Entsorgung
II. Optimierung (REDUCE)	Optimierung der Herstellungsprozesse	x	x	x		(x)		
	Abfallarme Produktion			x				x
	Neue Techniken (nicht digital)	x	x	x		x	x	x
	Neue Technologien (außer Digitalisierung)	x	x	x	(x)	x	x	(x)
III. Betriebsinterne Kreislaufführung (REUSE and RECYCLE)	Weiter-/Wiederverwenden			x			x	x
	Wiederverwertung (Recycling)			x			x	x
	Energetische Verwertung							x
IV. Betriebsübergreifende Kreislaufführung	Recyclingnetzwerke		x	x			x	x
	Urban Mining		x	x			x	
V. Energieeffizienz/-einsparung	Verminderung des Energieverbrauchs	x	x	x		x	(x)	
	Energieeffizienz			x				

Quelle: eigene Darstellung, IW Consult

4 Literaturverzeichnis (Anhang)

Advantage Technology Solutions, 2013, What Are The Top Tech Trends For 2014?, <http://www.advantagetechtechnology.com.au/blog/what-are-top-tech-trends-2014> [7.8.2019]

Apparelsearch.com, 2019, Smart Fabrics: Learn about Smart Fabrics, https://www.apparelsearch.com/terms/s/smart_fabrics_term.html [7.8.2019]

BDI – Bundesverband der Deutschen Industrie e.V., 2019, Deutsche digitale Industrieplattformen, <https://bdi.eu/artikel/news/deutsche-digitale-industrieplattformen/> [4.9.2019]

Biebeler, Hendrik, 2014, Steigerung der Materialeffizienz in Unternehmen. Bedingungen, Aktivitäten, Hemmnisse und ihre Überwindung, IW-Analyse, Nr. 98, Köln

Biebeler, Hendrik / Lang, Thorsten, 2014, Ressourceneffizienzindikatoren. Darstellung und Bewertung, Bericht zu Projekt 16/13, Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Köln

Bitkom, 2018, Big Data steht bei sechs von zehn Unternehmen an erster Stelle, <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Big-Data-steht-bei-sechs-von-zehn-Unternehmen-an-erster-Stelle.html> [4.9.2019]

Botthof, Alfons, 2017, Digitalisierung industrieller Wertschöpfung – Transformationsansätze für KMU, Begleitforschung AUTONOMIK für Industrie 4.0, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin

Buchholtz, Sonia / Bukowski, Maciej / Śniegocki, Aleksander, 2014, Big and open data in Europe. A growth engine or a missed opportunity?, Warschau

BMU - Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2020, Deutsches Ressourceneffizienzprogramm III 2020 – 2023. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Ressourceneffizienz/progress_iii_programm_bf.pdf [5.10.2020]

Chamoni, Peter, 2019, Data Mining, <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/daten-wissen/Business-Intelligence/Analytische-Informationssysteme--Methoden-der-/Data-Mining/index.html> [3.8.2019]

Collins, Steve / da Silva, Julian, 2019, Flash-Speicher, <https://www.computerweekly.com/de/definition/Flash-Speicher> [7.8.2019]

DEMAND – Azkan, Can / Demary, Vera / Fritsch, Manuel / Goecke, Henry /Korte, Tobias / Krotova, Alevtina / Lichtblau, Karl / Schmitz, Edgar, 2019, Readiness Data Economy. Bereitschaft der deutschen Unternehmen für die Teilhabe an der Datenwirtschaft, Köln

Demary, Vera / Rusche, Christian, 2018, The Economics of Platforms, IW-Analyse, Nr. 123, Köln

Desjardins, Jeff, 2019, How the Tech Giants Make Their Billions, <https://www.visualcapitalist.com/how-tech-giants-make-billions/> [4.9.2019]

Deutsche Bundesregierung, 2012, Deutsches Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) – Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz natürlicher Ressourcen, Beschluss des Bundeskabinetts vom 29.2.2012, URL: http://www.bmu.de/fileadmin/bmuimport/files/pdfs/allgemein/application/pdf/progress_bf.pdf [15.4.2014]

Digital Europe, 2018, Investing in ICT innovation to achieve material efficiency, <https://www.digitaleurope.org/policies/sustainability-environment/> [14.01.2019]

Digital Habits, 2019, Gesture Control, <http://www.digitalhabits.it/gesture-control-devices/> [7.8.2019]

Dömming, Daniel, 2018, Connected Logistics – einfach erklärt!, <https://www.salt-solutions.de/solutions/detail/connected-logistics-einfach-erklart.html> [3.8.2019]

Dooley, Brian J., 2017, AI as a Platform-as-a-Service, <https://tdwi.org/articles/2017/06/29/ai-as-platform-as-a-service.aspx> [7.8.2019]

Engels, Barbara / Goecke, Henry, 2019, Big Data in Wirtschaft und Wissenschaft. Eine Bestandsaufnahme, IW-Analyse, Nr. 130, Köln

EREK – European Resource Efficiency Knowledge Centre, 2018, DIGITALISATION & RESOURCE EFFICIENCY, Quartely – Sep 2018, <https://www.resourceefficient.eu/sites/easme/files/EREK-Quarterly-N1.pdf> [14.01.2019]

European Food Safety Authority, 2019, Nanotechnologie, <https://www.efsa.europa.eu/de/topics/topic/nanotechnology> [7.8.2019]

EEA - Europäische Umweltagentur, 2016, More from less. Material resource efficiency in Europe 2015. Overview of policies, instruments and targets in 32 countries, EEA Report, Nr. 10, Kopenhagen

Engels, Barbara, 2019, Ein unbekannter Schatz – Wie bestimmen Unternehmen in Deutschland den Wert ihrer Daten, IW Trends, 2018, 45. Jg. Nr. 4, S.41–59

Eurostat, o. J., Begriff der natürlichen Ressourcen, Umweltdatenzentrum für natürliche Ressourcen, <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/environmental-data-centre-on-natural-resources/overview/natural-resource-concepts> [18.2.2019]

Evans, David S. / Schmalensee, Richard, 2007, Industrial Organization of markets with Two-Sided Platforms, in: Competition Policy International, 3. Jg., Nr. 1, S. 151 -179

Finch, Sarah, 2018, At A Glance – Smart Dust, <https://disruptionhub.com/smart-dust-at-a-glance/> [7.8.2019]

fir – RWTH Aachen, 2019, Datenbasierte Dienstleistungen. Umsatzpotenziale mit Smart Services erschließen, <https://www.fir.rwth-aachen.de/beratung/service-instandhaltung/smart-services-digitale-datenbasierte-dienstleistungen/> [4.9.2019]

Francois-Lavet, Vincent / Henderson, Peter / Islam, Riashat / Bellemare, Marc G. / Pineau, Joelle, 2018, An Introduction to Deep Reinforcement Learning. Foundations and Trends in Machine Learning, 11. Jg., Nr. 3-4, Berkeley, C. A.

Fraunhofer ISI / HsKA – Hochschule Karlsruhe Technik und Wirtschaft, 2017, Die Nutzung digitaler Technologien in der industriellen Produktion führt zu Produktivitätsvorteilen in Milliardenhöhe, <https://www.hs-karlsruhe.de/presse/nutzung-digitaler-technologien-in-industrieller-produktion/> [7.8.2019]

Gabler Wirtschaftslexikon, 2019, QR-Code, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/qr-code-53515/version-368828> [15.11.2020]

Gadgetsnow.com, 2011, Next-generation analytics, <https://www.gadgetsnow.com/slideshows/gartner2011/Next-generation-analytics/photolist/10487319.cms> [7.8.2019]

Gartner, 2018, Innovation Insight for Serverless PaaS, <https://www.gartner.com/en/documents/3865563/innovation-insight-for-serverless-paas0> [7.8.2019]

Gartner, 2019a, 3D Printing, <https://www.gartner.com/it-glossary/3d-printing/> [7.8.2019]

Gartner, 2019b, Advanced Analytics, <https://www.gartner.com/it-glossary/advanced-analytics> [7.8.2019]

Gartner, 2019c, Augmented Reality (AR), <https://www.gartner.com/it-glossary/augmented-reality-ar> [7.8.2019]

- Gartner, 2019d, Biochips, <https://www.gartner.com/it-glossary/biochips> [7.8.2019]
- Gartner, 2019e, Blockchain, <https://www.gartner.com/it-glossary/blockchain> [7.8.2019]
- Gartner, 2019f, Bluetooth, <https://www.gartner.com/it-glossary/bluetooth> [7.8.2019]
- Gartner, 2019g, Business Intelligence (BI), <https://www.gartner.com/it-glossary/business-intelligence-bi> [7.8.2019]
- Gartner, 2019h, Business Process Modeling (BPM), <https://www.gartner.com/it-glossary/bpm-business-process-modeling> [7.8.2019]
- Gartner, 2019i, Cloud Computing, <https://www.gartner.com/it-glossary/cloud-computing> [7.8.2019]
- Gartner, 2019j, Data Broker, <https://www.gartner.com/it-glossary/data-broker> [7.8.2019]
- Gartner, 2019k, Digital Signature, <https://www.gartner.com/it-glossary/digital-signature> [7.8.2019]
- Gartner, 2019l, Digital Twin, <https://www.gartner.com/it-glossary/digital-twin> [7.8.2019]
- Gartner, 2019m, Enterprise Information Management (EIM), <https://www.gartner.com/it-glossary/enterprise-information-management-eim> [7.8.2019]
- Gartner, 2019n, Ethernet, <https://www.gartner.com/it-glossary/ethernet> [7.8.2019]
- Gartner, 2019o, Extreme Low-Energy Servers, <https://www.gartner.com/it-glossary/extreme-low-energy-servers> [7.8.2019]
- Gartner, 2019p, Hybrid Cloud Computing, <https://www.gartner.com/it-glossary/hybrid-cloud-computing> [7.8.2019]
- Gartner, 2019q, IoT Platforms, <https://www.gartner.com/it-glossary/iot-platforms> [7.8.2019]
- Gartner, 2019r, Media Tablet, <https://www.gartner.com/it-glossary/media-tablet> [7.8.2019]
- Gartner, 2019s, Open Source, <https://www.gartner.com/it-glossary/open-source> [7.8.2019]
- Gartner, 2019t, Silicon Anode Batteries, <https://www.gartner.com/it-glossary/silicon-anode-batteries> [7.8.2019]

Gartner, 2019u, Smart Machines, <https://www.gartner.com/it-glossary/smart-machines> [7.8.2019]

GIZ – Deutsche Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit / VDI ZRE – Zentrum Ressourceneffizienz, 2018, Digital Transformation and Resource Efficiency, <https://www.giz.de/en/downloads/giz2019-en-policybrief-c-ressourceneffizienz.pdf> [15.8.2019]

Gründerszene, 2019, App, <https://www.gruenderszene.de/lexikon/begriffe/app?interstitial> [30.8.2019]

Heath, Nick, 2018, What is artificial general intelligence?, <https://www.zdnet.com/article/the-true-costs-and-roi-of-implementing-ai-in-the-enterprise/> [7.8.2019]

Hewlett Packard Enterprise, o. J., Was ist in-memory computing?, <https://www.hpe.com/de/de/what-is/in-memory-computing.html> [15.11.2020]

High, Peter, 2013, Gartner: Top 10 Strategic Technology Trends For 2014, <https://www.forbes.com/sites/peterhigh/2013/10/14/gartner-top-10-strategic-technology-trends-for-2014/#14c32fa421ec> [7.8.2019]

Hughes, Adam, 2019, Why Digital Ecosystems are Driving Digital Transformation, <https://www.cleo.com/blog/digital-ecosystems> [30.8.2019]

IBM Services, 2019, What's edge computing and how can it transform your business?, <https://www.ibm.com/services/cloud/edge-computing> [7.8.2019]

Imagimob, 2018, What is Edge AI?, <https://www.imagimob.com/blog/what-is-edge-ai#> [7.8.2019]

ITWissen.info, 2013, CA (computer aided), <https://www.itwissen.info/CA-computer-aided-CA-Technik.html> [30.8.2019]

ITWissen.info, 2018, FTTx (fiber to the x), <https://www.itwissen.info/FTTx-fiber-to-the-x.html> [7.8.2019]

ITWissen.info, 2019a, Smart Object, <https://www.itwissen.info/Smart-Object-smart-object.html> [30.8.2019]

ITWissen.info, 2019b, SCM (storage class memory), <https://www.itwissen.info/SCM-storage-class-memory-SCM-Technologie.html> [7.8.2019]

IZT – Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung, 2018, Grüne Industrie 4.0? Von Potenzialen zur Umsetzung, IZT-Text 8-2018, https://www.researchgate.net/publication/331020971_Grune_Industrie_40_Von_Potenzialen_zur_Umsetzung_Innovationsagenda, [7.8.2019]

Jeffrey, Steve, 2015, Blade Server, <https://stevenjeffrey.wordpress.com/2015/01/29/blade-server/> [7.8.2019]

KPMG, 2017, Mit Daten Werte schaffen. Studie 2017, <https://home.kpmg/de/de/home/themen/2017/05/mit-daten-werte-schaffen---studie-2017.html> [4.9.2019]

Länger, Klaus, 2017, Was ist Virtual, Augmented und Mixed Reality?, <https://www.it-business.de/was-ist-virtual-augmented-und-mixed-reality-a-650442/> [7.8.2019]

Luber, Stefan, 2018, Was ist 802.11ax?, <https://www.ip-insider.de/was-ist-80211ax-a-751305/> [7.8.2019]

Luber, Stefan / Litzel, Nico, 2016, Was ist Machine Learning?, <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-machine-learning-a-592092/> [30.8.2019]

Luber, Stefan / Litzel, Nico, 2017a, Was ist ein Cyber-physisches System (CPS)?, <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-cyber-physisches-system-cps-a-668494/> [30.8.2019]

Luber, Stefan / Litzel, Nico, 2017b, Was ist Grid Computing?, <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-grid-computing-a-629099/> [30.8.2019]

Market Business News, 2019, What is peer-to-peer? Definition and example, <https://marketbusinessnews.com/financial-glossary/peer-to-peer/> [7.8.2019]

MarketsandMarkets, 2015, Volumetric Display Market, <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/volumetric-display-market-248090250.html> [7.8.2019]

McKinsey & Company, 2013, the 'big data' revolution in healthcare, Accelerating value and innovation, https://www.mckinsey.com/insights/health_systems/~/_media/7764A72F70184C8EA88D805092D72D58.ashx [5.11.2020]

Mittelstand 4.0, 2019, Klassifikationsstandards, <https://www.estandards-mittelstand.de/estandards-wissen/standards-im-e-business/klassifikation/> [30.8.2019]

Möller, Michael, 2018, Betriebsdatenerfassung. Grundlagen, Ziele und Trends auf dem Weg zur Smart Factory, https://www.it-production.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2018/05/WhitePaper-BDE-05-2018.pdf [30.8.2019]

Nutanix, 2014, Was ist eine Web-Scale Infrastruktur?, https://www.adn.de/fileadmin/user_upload/Hersteller/Nutanix/Datenblaetter/Web-Scale_Infrastructure_Overview_de-DE__A4__1_.pdf [30.8.2019]

Packt, 2019, Service registry and service repository, https://subscription.packtpub.com/book/application_development/9781849684163/5/ch05lvl1sec36/service-registry-and-service-repository [7.8.2019]

Parker, Rebecca, 2019, Brain Computer Interface Market Vast Innovation in Globally with Topmost Key Players like: Nihon Kohden Corporation, Mind Solutions Inc., Advanced Brain Monitoring, Inc., Quantum Applied Science and Research, Inc., Cadwell Laboratories Inc., <https://www.thewirenewsnow.com/brain-computer-interface-market-vast-innovation-in-globally-with-topmost-key-players-like-nihon-kohden-corporation-mind-solutions-inc-advanced-brain-monitoring-inc-quantum-applied-science/23469/> [7.8.2019]

PCMag, 2019, Definition of: application framework, <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/37907/application-framework> [7.8.2019]

Pöppelbuß, Jens, 2018, <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/smart-service> [30.8.2019]

Reinsel, David / Gantz, John / Rydning, John, 2018, The Digitization of the World. From Edge to Core, IDC White Paper, Framingham

RoseIndia, 2013, What is (mit Self-Service Delivery)?, <https://www.roseindia.net/management/what-is-actionable-analytics.html> [7.8.2019]

Rouse, Margaret, 2019a, 5G, <https://searchnetworking.techtarget.com/definition/5G> [7.8.2019]

Rouse, Margaret, 2019b, enterprise mashup (or data mashup), <https://searchbusinessanalytics.techtarget.com/definition/enterprise-mashup> [7.8.2019]

Rouse, Margaret, 2019c, metadata management, <https://whatis.techtarget.com/definition/metadata-management> [7.8.2019]

Rouse, Margaret, 2019d, self-healing, <https://whatis.techtarget.com/definition/self-healing> [7.8.2019]

Rouse, Margaret, 2019e, pervasive computing (ubiquitous computing), <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/pervasive-computing-ubiquitous-computing> [7.8.2019]

Schebeck, Liselotte, 2018, Ressourceneffizienz durch 4.0. Potenziale für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) im Verarbeitenden Gewerbe, in: Thiel, Stephanie / Thomé-Kozmiensky, Elisabeth / Goldmann, Daniel (Hrsg.), Recycling und Rohstoffe, Band 11, Neuruppin, S.65-79

Schmidhuber, Jürgen, 2015, Deep Learning in Neural Networks. An Overview, Neural Networks, 61. Jg, Lugano /Okinawa / Ohio, S. 85-117

Schmidt, Mario et al, 2017, 100 Betriebe für Ressourceneffizienz – Band 1. Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft, Berlin / Heidelberg

Schwer-Kopka, 2019, MES-Definitionen, <https://www.schwer-kopka.de/de/produkte/mes/mes-definitionen/107-maschinendatenerfassung-mde.html> [30.8.2019]

Smarten, 2018, Advanced Data Discovery for Every Skill and User, <https://www.elegantmicroweb.com/blog/augmented-data-discovery-helps-business-users-achieve-results.htm> [7.8.2019]

Spektrum, 2019, Biotechnologie, <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/biotechnologie/1583> [30.8.2019]

Star Systems, 2019, What is RFID (Radio Frequency Identification)?, <https://star-int.net/star-systems-rfid-university/> [7.8.2019]

TechAmerica Foundation, 2012, Demystifying Big Data. A Practical Guide To Transforming The Business of Government, Washington D. C.

Techopedia, 2019, Enterprise Instant Messaging (Enterprise IM), <https://www.techopedia.com/definition/29007/enterprise-instant-messaging-enterprise-im> [7.8.2019]

Telecomabc.com, 2019, Cellular network, <http://www.telecomabc.com/c/cellular.html> [7.8.2019]

Tixxt.com, 2019, Social Collaboration, <https://www.tixxt.com/de/social-collaboration/> [7.8.2019]

Trotter, Cate, 2017, The unknown technologies retail needs to be aware of, <https://www.insider-trends.com/the-unknown-technologies-shaping-our-future/> [7.8.2019]

UBA – Umweltbundesamt, 2012, Glossar zum Ressourcenschutz, Dessau-Roßlau

UBA, 2016, Die Nutzung natürlicher Ressourcen, Bericht für Deutschland 2016, Dessau-Roßlau

UBA, 2020a, ISO 14001. Umweltmanagementsystemnorm, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/wirtschaft-umwelt/umwelt-energiemanagement/iso-14001-umweltmanagementsystemnorm#textpart-1> [5.11.2020]

UBA, 2020b, Umwelt- und Energiemanagementsysteme, <https://www.umweltbundesamt.de/daten/umwelt-wirtschaft/umwelt-energiemanagementsysteme#textpart-2> [5.11.2020]

Ullrich, Julia, 2018, Was ist Ethernet?, <https://www.biteno.com/ethernet/> [30.8.2019]

VCI – Verband der chemischen Industrie, 2019, Readiness-Check. Wie gut ist Ihr Unternehmen auf die digitale und zirkuläre Transformation vorbereitet? <https://www.vci.de/die-branche/chemie-40/services/readiness-check-tool-chemie-4-punkt-0-wie-gut-ist-ihr-unternehmen-auf-digitale-und-zirkulaere-transformation-vorbereitet.jsp> [7.8.2019]

VDI – Verein Deutscher Ingenieure e.V., 2016, VDI Blatt 1:2016-2, Ressourceneffizienz. Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Berlin

VDI ZRE, o. J., Was ist Ressourceneffizienz, <https://www.ressource-deutschland.de/themen/allgemeines/was-ist-ressourceneffizienz/> [19.2.2019]

VDI ZRE – Zentrum Ressourceneffizienz, 2017, Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0. Potentiale für KMU des verarbeitenden Gewerbes, Studie im Auftrag des BMU, https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/Redaktion/Bilder/Newsroom/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf [7.8.2019]

Vetrano, Giannina, 2019, Wir müssen reden... – Conversational User Interfaces: Hype, Pflicht oder Kür?, <https://www.datagroup.de/news/wir-muessen-reden-conversational-user-interfaces-hype-pflicht-oder-kuer/> [7.8.2019]

Vogt, Marina, 2017, 3D-Druck war gestern, die Zukunft gehört dem 4D-Printing!, <https://www.management-circle.de/blog/4d-printing/> [7.8.2019]

WGP Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik e.V., 20XX/o.J., KI in der Produktion. Künstliche Intelligenz erschliessen für Unternehmen, WGP Standpunkt, https://wgp.de/wp-content/uploads/WGP-Standpunkt_KI-final_20190906-2.pdf [5.10.2020]

Wikibon, 2017, 2017-2027 Worldwide Big Data Market Forecast, <https://wikibon.com/agenda/2017-2027-worldwide-big-data-market-forecast/> [4.9.2019]

Wilts, Henning / Berg, Holger, 2017, The Digital Circular Economy. Can the Digital Transformation Pave the Way for Resource-Efficient Materials Cycles? https://www.researchgate.net/publication/331631088_The_Digital_Circular_Economy_Can_the_Digital_Transformation_Pave_the_Way_for_Resource-Efficient_Materials_Cycles [7.8.2019]

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz aus Produktsicht.....	16
Tabelle 3-2: Ansätze zur Steigerung der Ressourceneffizienz auf der Prozessebene.....	22
Tabelle 3-3: Glossar: Digitale Technologien	29
Tabelle 3-4: Digitale Technologien und Anwendungen	42
Tabelle 3-5: Zuordnung der Technologiesubcluster zu digitalen Konzepten.....	45
Tabelle 3-6: Mapping: Digitale Technologien und Maßnahmen für Ressourceneffizienz auf der Produktebene.....	49
Tabelle 3-7: Mapping: Digitale Technologien und Maßnahmen für Ressourceneffizienz auf der Prozessebene	55
Tabelle 3-8: Mapping digitale Geschäftsmodelle und Technologien	70
Tabelle 3-9: Mapping: Digitale Geschäftsmodelle und Ressourceneffizienzmaßnahmen	72
Tabelle 3-10: Mapping (Digitale) Wertschöpfungsketten/-netzwerke und Technologien	80
Tabelle 3-11: Mapping: (Digitale) Wertschöpfungsketten/-netzwerke und Ressourceneffizienzmaßnahmen	83

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Digitalisierungsschritte	7
Abbildung 3-1: Auswahl und Clusterung der Ressourceneffizienzmaßnahmen	14
Abbildung 3-2: Auswahlverfahren der Technologien.....	27
Abbildung 3-3: Typisierung digitaler Geschäftsmodelle	60
Abbildung 3-4: Wirkungsweisen von Daten auf Unternehmen	63
Abbildung 3-5: Wertschöpfungskette	75