



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie



DE.DIGITAL

Schwerpunktstudie Digitalisierung und Energieeffizienz

Erkenntnisse aus Forschung und Praxis

2020

[bmwi.de](https://www.bmwi.de)

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)
Öffentlichkeitsarbeit
11019 Berlin
www.bmwi.de

Text und Redaktion

ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung
(Prof. Dr. Irene Bertschek, Dr. Daniel Erdsiek, Dr. Thomas Niebel,
Dr. Bettina Schuck, Dr. Mareike Seifried*), Institut der deutschen
Wirtschaft Consult GmbH (Johannes Ewald, Dr. Thorsten Lang*) und
Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) e. V. an der RWTH Aachen
(Jan Hicking, Lucas Wenger, Tim Walter*).

*verantwortliche/r Autor/-in

Stand

November 2020

Gestaltung

ZEW Mannheim

Bildnachweis

zf L / Gettyimages

Diese und weitere Broschüren erhalten Sie bei:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
Referat Öffentlichkeitsarbeit
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
www.bmwi.de

Zentraler Bestellservice:

Telefon: 030 182722721
Bestellfax: 030 18102722721

Diese Publikation wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Inhaltsverzeichnis

Das Wichtigste in Kürze	6
1. Einleitung, Ziele und Inhalt	8
2. Aktueller Stand der Forschung	10
2.1 Steigerung der Energieeffizienz durch Digitalisierung.....	10
2.2 Energieeffizienz der Digitalisierung	12
3. Unternehmensbefragung	14
3.1 Zielsetzung und Methodik	14
3.2 Ergebnisse	14
3.2.1 Gezielte Maßnahmen in den Bereichen Energieeffizienz und Digitalisierung	14
3.2.2 Steigerung der Energieeffizienz durch Digitalisierung.....	18
3.2.3 Energieeffizienz der Digitalisierung.....	25
3.2.4 Entwicklung des Stromverbrauchs	27
3.3 Fazit zur Unternehmensbefragung	29
4. Fallstudien.....	31
4.1 Zielsetzung und Methodik	31
4.2 Ergebnisse	32
4.2.1 Energieeffizienzmonitoring und –optimierung im Produktionsbereich: Bayer AG	32
4.2.2 Digitale Energieplattform zur Effizienzoptimierung im Gebäude- und Produktionsbereich: Bosch Building Technologies.....	33
4.2.3 Building Information Modeling als Planungstool im Gebäudebereich: formitas AG.....	35
4.2.4 DA/RE - Digitale Energieplattform zur Netzstabilisierung und Engpassbeseitigung: TransnetBW GmbH und Netze BW	36
4.2.5 Rechenzentren in Windkraftanlagen: WestfalenWIND IT GmbH & GREEN IT GmbH	38
4.3 Fazit zu den Fallstudien	39
5. Zusammenfassung	41
6. Anhang.....	43
Informationen zur Unternehmensbefragung.....	43
Glossar.....	45
7. Literatur	48

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)	15
Abbildung 2: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)	16
Abbildung 3: Umsetzung von Digitalisierungsprojekten in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)	17
Abbildung 4: Umsetzung von Digitalisierungsprojekten in den vergangenen drei Jahren nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)	18
Abbildung 5: Gründe für Digitalisierungsprojekte in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent).....	19
Abbildung 6: Energieeinsparung als Grund für Digitalisierungsprojekte der vergangenen drei Jahre (Anteil der Unternehmen in Prozent).....	20
Abbildung 7: Energieeinsparung als Grund für Digitalisierungsprojekte der vergangenen drei Jahre nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)	21
Abbildung 8: Einsatz digitaler Technologien zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)	22
Abbildung 9: Einsatz digitaler Technologien zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)	23
Abbildung 10: Unternehmen nach Anteil der Mitarbeitenden im regelmäßigen Homeoffice vor, während und nach der Corona-Krise.....	24
Abbildung 11: Ersatz von Dienstreisen durch Telefon- und Videokonferenzen vor, während und nach der Corona-Krise (Anteil der Unternehmen in Prozent)	25
Abbildung 12: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der IT-Energieeffizienz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent).....	26
Abbildung 13: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der IT-Energieeffizienz in den vergangenen drei Jahren nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent).....	27
Abbildung 14: Entwicklung des Stromverbrauchs bei Durchführung gezielter Energieeffizienzmaßnahmen (Anteil der Unternehmen in Prozent).....	28
Abbildung 15: Entwicklung des Stromverbrauchs ohne gezielte Energieeffizienzmaßnahmen (Anteil der Unternehmen in Prozent).....	29
Abbildung 16: Übersicht der Fallstudienpartner und –inhalte.....	31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Branchenabgrenzung Informationswirtschaft und Verarbeitendes Gewerbe nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008).....	44
---	----

Das Wichtigste in Kürze

Neben dem Ausbau erneuerbarer Energien ist die Energieeffizienz die zweite tragende Säule der Energiewende. In der Diskussion um eine Steigerung der Energieeffizienz rückt auch die Rolle der Digitalisierung zunehmend in den Fokus. Einerseits werden digitalen Technologien wie Künstliche Intelligenz, Big Data, Internet of Things, Robotik und Industrie 4.0 erhebliche Potenziale zugesprochen, den Energieverbrauch durch Effizienzgewinne zu senken. Andererseits trägt die Digitalisierung selbst erheblich zur globalen Klima- und Umweltbelastung bei, da digitale Technologien auch große Mengen an Energie verbrauchen. Der Beitrag der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz zeigt sich demnach erst, wenn beide Perspektiven berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Schwerpunktstudie, inwieweit die Potenziale digitaler Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz in der deutschen Wirtschaft bereits ausgeschöpft und die möglichen negativen Effekte der Digitalisierung schon heute durch gezielte Maßnahmen eingedämmt werden. Aus dem Blickwinkel von Forschung und Praxis ergeben sich interessante Einblicke zum aktuellen Stand sowie den Perspektiven des Wirtschaftsstandorts Deutschland.

Insgesamt bestehen in vielen Bereichen noch große Potenziale hinsichtlich der Steigerung der Energieeffizienz durch digitale Technologien. Obwohl die positiven Effekte der Digitalisierung in der wissenschaftlichen Literatur betont werden, etwa in Bezug auf neue Geschäftsmodelle, Produkte und die Optimierung von internen Prozessen zur Senkung des Energieverbrauchs, zeigt sich in der Unternehmensbefragung des ZEW Mannheim, dass digitale Technologien zur Senkung des Energieverbrauchs bisher eher zögerlich eingesetzt und deren Potenziale somit bei Weitem noch nicht ausgeschöpft werden. So sind Energieeinsparungen in den zwei betrachteten Wirtschaftszweigen Informationswirtschaft und Verarbeitendes Gewerbe der am seltensten genannte Grund für die Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen. Außerdem setzen nur rund ein Drittel der Unternehmen, die in den vergangenen drei Jahren Energieeffizienzmaßnahmen durchführten, digitale Technologien im verbrauchsintensiven Gebäude- und Produktionsbereich mit dem Ziel ein, den Energieverbrauch zu senken.

Um die negativen Effekte der Nutzung digitaler Technologien auf den Energieverbrauch einzudämmen, kommt auch der energieeffizienten Gestaltung der Digitalisierung eine hohe Bedeutung zu. Zwar ist der konkrete Energiebedarf der Digitalisierung aufgrund der Komplexität der Wirkungsketten grundsätzlich schwer zu beziffern, doch ist unumstritten, dass einzelne digitale Technologien einen hohen direkten Energieverbrauch aufweisen. Im Rahmen der Unternehmensbefragung wird jedoch deutlich, dass eine energieeffiziente Gestaltung der Digitalisierung noch nicht flächendeckend durch gezielte Maßnahmen getrieben wird. Unternehmen setzen bisher vor allem auf die Nutzung energieeffizienter Hardware und Cloud-Technologien, wohingegen der energieeffiziente Betrieb von eigenen Rechenzentren und Serverräumen weniger stark forciert wird. Insgesamt weist die Entwicklung des Energieverbrauchs der befragten Unternehmen darauf hin, dass in allen Bereichen weiterhin große Potenziale zum Energiesparen bestehen, so dass in Zukunft verstärkte Anstrengungen erforderlich sind, um die Energieeffizienz zu steigern.

Im Rahmen der Fallstudien zeigt sich, dass bereits heute Praxisbeispiele dafür existieren, wie mit innovativen Lösungen die Energieeffizienz verbessert und langfristige Klimaziele erreicht werden können. Von digitalen Energiemanagementplattformen über digitale Planungstools im Bau bis hin zu Rechenzentren in

Windkraftanlagen: Die Experteninterviews geben interessante Einblicke in die Treiber und Herausforderungen von innovativen Projekten in diesem Bereich und dadurch Aufschluss über zentrale Erfolgsprinzipien.

Insgesamt lassen sich auf Basis der Schwerpunktstudie drei übergeordnete Handlungsfelder für Politik und Wirtschaft identifizieren.

1. **Verbesserung der Erfassung, Integration, Verarbeitung und des Schutzes von Energiedaten:** Sowohl in der Forschung als auch in der Praxis zeigt sich, dass die Datenverfügbarkeit und -verarbeitung eine zentrale Hürde darstellt, um die Potenziale digitaler Technologien im Energiebereich realisieren zu können.
2. **Abbau von Informationsdefiziten und Förderung von Akzeptanz:** Für eine breitere Durchdringung von digitalen Ansätzen zur Steigerung der Energieeffizienz müssen Informationsdefizite zu den Möglichkeiten digitaler Technologien abgebaut und entsprechende digitale Kompetenzen aufgebaut werden. Auch die Stärkung des Vertrauens in digitale Technologien und in deren Akzeptanz seitens der Unternehmen und Endnutzer ist für eine weitere Verbreitung und konsequente Nutzung essentiell.
3. **Anreize durch gesetzliche Zielvorgaben:** Konkrete Zielvorgaben können Anreize für Unternehmen setzen, neue Lösungsansätze zu finden und künftig vermehrt in energieeffizienzsteigernde Maßnahmen zu investieren. Diese ökologischen Forderungen können Unternehmen wiederum ökonomisch nutzbar machen, etwa durch die Erschließung neuer Kundengruppen oder Kostensenkungen durch neue Geschäftsmodelle, Prozesse und Produkte.

Das Ziel sollte demnach künftig sein, die Potenziale der Digitalisierung zu fördern ohne die negativen Effekte, sowohl direkte als auch indirekte, aus dem Blickpunkt zu verlieren. So sollte bei der Einführung von Maßnahmen eine Analyse der vielfältigen Wirkungskanäle vorgenommen werden, um gegenläufigen Effekten frühzeitig begegnen zu können. Dies bedarf einiger Anstrengungen und der fachübergreifenden Zusammenarbeit von Wissenschaft, Praxis und Politik. Doch nur so kann die Digitalisierung ihren Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung der deutschen Wirtschaft leisten.

1. Einleitung, Ziele und Inhalt

Der Energieeffizienz kommt im Rahmen einer Modernisierungsstrategie für eine nachhaltige Entwicklung Deutschlands eine Schlüsselstellung zu: Zum einen dient sie dem Klima- und Umweltschutz sowie der Schonung endlicher Energieressourcen und ist damit neben der Nutzung erneuerbarer Energien die zweite tragende Säule der Energiewende. Zum anderen ist sie der wirtschafts- und energiepolitische Schlüssel für eine zukunftsfähige Entwicklung, da Verbesserungen der Energieeffizienz die Energiekostenbelastung der Unternehmen senken und so die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands stärken.

In der Diskussion um eine Steigerung der Energieeffizienz rückt die Rolle digitaler Technologien zunehmend in den Fokus. So nimmt die Digitalisierung in der aktuellen nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung (Deutscher Bundestag 2018) und der Energieeffizienzstrategie 2050 (Deutscher Bundestag 2019) sowie auf europäischer Ebene im Klimazielplan 2030 (European Commission 2020) und dem Europäischen Grünen Deal (Europäische Kommission 2019) eine zentrale Stellung ein. Auch der diesjährige Digitalgipfel 2020 dreht sich rund um das Schwerpunktthema „Durch Digitalisierung zu mehr Nachhaltigkeit“ (www.Digital-Gipfel.de) und betont die Rolle der Digitalisierung für eine nachhaltige Entwicklung. Dies hat zwei Gründe: Einerseits werden digitalen Technologien erhebliche Potenziale zugesprochen, den Energieverbrauch zu senken. Neue digitale Technologien wie Künstliche Intelligenz, Big Data, Internet of Things, Robotik und Industrie 4.0 bieten die Möglichkeit, den Energieverbrauch effizienter zu gestalten und dadurch Ressourcen einzusparen. Dies reicht von der Dematerialisierung von Produkten und nachhaltigerem Konsum bis hin zu Effizienzsteigerungen bei der Herstellung und Nutzung. Demnach kann die Digitalisierung die Entwicklung neuer Produkte und Geschäftsmodelle voranbringen, die der Verwirklichung von Nachhaltigkeitszielen dienen, sowie zur Optimierung bestehender Prozesse beitragen. Andererseits rückt der Energieverbrauch von digitalen Technologien selbst zunehmend in den Blickpunkt. Denn die Digitalisierung trägt erheblich zur globalen Klima- und Umweltbelastung bei, da digitale Technologien und dadurch benötigte Daten- und Rechenzentren große Mengen an Energie verbrauchen. Aus diesem Grund ist es von großer Bedeutung, alle bestehenden und neuen Einspar- und Effizienzmöglichkeiten auszuschöpfen, damit die Digitalisierung ihren Beitrag zur Zielerreichung leistet.

Das Ziel dieser Schwerpunktstudie ist es zu untersuchen, inwieweit die Potenziale digitaler Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz in der deutschen Wirtschaft bereits ausgeschöpft und die möglichen negativen Effekte durch gezielte Maßnahmen eingedämmt werden. Mithilfe der Studienergebnisse sollen Handlungsfelder für die Politik und die Wirtschaft identifiziert werden, um einen positiven Beitrag der Digitalisierung zur nachhaltigen Entwicklung Deutschlands zu fördern.

Der Bericht gliedert sich in drei Kapitel:

1. Aktueller Stand der Forschung zum Einfluss von digitalen Technologien auf die Energieeffizienz: Wo und wie stark tragen digitale Technologien zu Einsparungen des Energieverbrauchs bei? Welchen Einfluss haben die Nutzung digitaler Technologien und digitaler Konsum selbst auf den Energieverbrauch? Welche Hürden bestehen in der wissenschaftlichen Erforschung dieses Themas?

2. Repräsentative Ergebnisse einer Unternehmensbefragung zu Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz durch Digitalisierung und energieeffiziente Digitalisierung: Inwieweit werden bestehende Möglichkeiten gegenwärtig in der Wirtschaft genutzt? Wie unterscheiden sich Unternehmen dabei nach Branchen und Größenklassen?
3. Fallstudien zu innovativen Projekten im Bereich Energieeffizienz durch Digitalisierung und energieeffiziente Digitalisierung in Deutschland: Welche Faktoren treiben neuartige digitale Lösungen im Bereich der Energieeffizienz und welche Herausforderungen bestehen bei der Implementierung? Welche Erfolgsprinzipien lassen sich daraus ableiten?

Nach der Darstellung und Diskussion der Ergebnisse der Teilstudien erfolgt eine übergeordnete Zusammenfassung der Schwerpunktstudie.

2. Aktueller Stand der Forschung

Die effiziente Nutzung von Energie mithilfe digitaler Technologien ist ein Thema, mit dem sich die Wissenschaft in verschiedenen Disziplinen seit längerem beschäftigt. Ein Grund für dieses Interesse ist, dass die Digitalisierung zwei gegenläufige Effekte auf den Energieverbrauch hat: Sie ist einerseits Teil der Lösung, da sie zur Ressourceneinsparung beitragen kann. Andererseits ist sie Teil des Problems, da sie Ressourcen verbraucht (Hilty und Aebischer 2015). In der wissenschaftlichen Literatur wird deshalb seit einigen Jahren kontrovers diskutiert, ob die Digitalisierung die Energieeffizienz verbessern kann. Zwar gibt es Stimmen, die von positiven Effekten ausgehen (Kander et al. 2013) und ein „grünes Wachstum“ erwarten (Perez 2013). Jedoch wird dieser Zusammenhang ebenso bestritten (Williams 2011) und auf Nachfragesteigerungen (Rebound-Effekt) durch die höhere Energieeffizienz (Galvin 2015) sowie den erhöhten direkten Energiebedarf durch den Einsatz digitaler Technologien hingewiesen.

Bei der Bewertung des Themas ist deshalb zu beachten, dass es neben den positiven Effekten der Energieeinsparung auch einen höheren Energieverbrauch durch die Digitalisierung geben kann. Der Beitrag der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz zeigt sich erst, wenn beide Perspektiven berücksichtigt werden. Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden zwischen den zwei Sichtweisen unterschieden und die bestehende Literatur entsprechend aufgearbeitet.¹

2.1 Energieeffizienz durch Digitalisierung

Der Digitalisierung werden große Potenziale zugesprochen, die Energieeffizienz in verschiedenen Wirtschaftsbereichen zu verbessern und den Energiebedarf innerhalb der Sektoren zu senken (BMW 2016; Bründlinger et al. 2018; Richard und Vogel 2017). Durch die Nutzung digitaler Technologien sind Effizienzgewinne sowohl in der Energieerzeugung als auch in der Gestaltung des Energieverbrauchs möglich. Laut der International Energy Agency (2017) beinhaltet die Digitalisierung somit insgesamt „[...]a great promise to help improve the safety, productivity, efficiency and sustainability of energy systems worldwide“.

In Hinblick auf die Potenziale der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz werden in der Literatur unterschiedliche Aspekte betont. Zunächst entstehen durch Digitalisierungstrends wie die Automatisierung, Blockchain, Big-Data- oder Cloud-Lösungen Möglichkeiten für neue Produkte und Geschäftsmodelle (Giehl et al. 2019; Röglinger und Urbach 2016). Im Energiesektor können durch den Einsatz digitaler Technologien Strompreise, Leistungen und Kundenansprache individueller angepasst werden, was zu einer höheren Produktivität der Energiewirtschaft führen kann. Im Bereich der Energieerzeugung können digitale Technologien außerdem eine stärkere Vernetzung der Sektoren ermöglichen, was wiederum zu einer größeren Flexibilität im System führt und die Notwendigkeit von Reserven verringert. Gleichwohl stellen sich durch die Digitalisierung des Energiesektors auch Fragen zur Cybersicherheit, zum Datenschutz und zu möglichen Auswirkungen auf Arbeitsplätze und Anforderungen an Berufe (International Energy Agency 2017).

Auch außerhalb der Energiewirtschaft ermöglicht die Digitalisierung neue Produkte und Geschäftsmodelle, die den Energieverbrauch senken können (Röglinger und Urbach 2016). Beispielsweise kann durch die

¹ Eine ausführliche Fassung der Literaturübersicht findet sich unter www.iwconsult.de.

Dematerialisierung, also die Neugestaltung von Produkten und Dienstleistungen unter Berücksichtigung des Material- und Energieaufwands, Energie gespart werden. Dies geschieht, wenn digitale statt physische Produkte oder Dienstleistungen angeboten und genutzt werden, zum Beispiel E-Books statt gedruckter Exemplare (Tahara et al. 2018), digitales Musikstreaming statt CDs (Weber et al. 2010) oder Car-Sharing-Konzepte statt eines eigenen Fahrzeugs. Allerdings hängen die Einsparpotenziale stark von den jeweiligen Rahmenbedingungen und Nutzungsformen ab. Werden beispielsweise E-Books auf Geräten mit größeren Bildschirmen wie Tablets oder Desktops gelesen oder E-Book-Reader nur selten genutzt, haben traditionelle Bücher, die nach Gebrauch recycelt werden, einen Vorteil gegenüber E-Books.

Darüber hinaus birgt die Optimierung von Geschäftsprozessen durch digitale Technologien erhebliche Einsparpotenziale. Allerdings werden diese Potenziale sowohl in der Energiewirtschaft als auch in anderen Branchen bisher nicht vollumfänglich ausgeschöpft. In der Energiewirtschaft steht die digitale Transformation laut einer Studie eher noch am Anfang (Arms und Lang 2018). Obwohl die deutschen Energie- und Versorgungsunternehmen in den Bereichen IT-Sicherheit und zügiger Implementierung neuer technologischer Branchenstandards bereits vermehrt Maßnahmen ergriffen haben, nicht zuletzt bedingt durch gesetzliche Vorgaben, gibt es in Handlungsfeldern wie etwa Big-Data Analytics und interne Prozessdigitalisierung noch Nachholbedarf (Arms und Lang 2018).

Auch in anderen Branchen können digitale Technologien wie die Automatisierung, Big-Data- oder Cloud-Lösungen im betrieblichen Umwelt- und Energiemanagement eingesetzt werden, um interne Prozesse zu optimieren und Auswirkungen auf die gesamte Umwelt bzw. den Energieverbrauch und -kosten zu senken (Umweltbundesamt 2019a). Laut einer Studie werden Technologien wie die Automatisierung, Mobile Computing oder Social Networks bereits heute im Umweltmanagement der Unternehmen eingesetzt, während bei anderen Technologien wie Big Data, Blockchain oder digitale Produktion allenfalls Pilotprojekte bestehen (Umweltbundesamt 2019b). Auch bei Energiemanagementsystemen, zu welchen viele Unternehmen mittlerweile durch das Energiedienstleistungsgesetz (EDL-G) bereits verpflichtet sind, können digitale Lösungen helfen, Betriebsdaten zu erfassen und die Optimierung von Betriebsabläufen zu kontrollieren (Barckhausen et al. 2020). Letztlich hängen die konkreten Potenziale zur Steigerung der Energieeffizienz von den spezifischen Bedingungen in jedem einzelnen Unternehmen ab. Eine zentrale Voraussetzung für die erfolgreiche Realisierung dieser Potenziale besteht daher zunächst in der Auseinandersetzung der Unternehmen mit ihren Möglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz.

Der Einsatz digitaler Technologien birgt nicht nur für Unternehmen, sondern auch für private Haushalte Einsparpotenziale. Zudem schaffen neue Märkte für energieeffiziente Produkte und Dienstleistungen neue Arbeitsplätze, wenngleich durch die Digitalisierung auch Arbeitsplätze ersetzt werden können. Ein verringerter Energieverbrauch erlaubt es außerdem, Energieimporte zu senken und somit Mittel für andere Zwecke, wie etwa Investitionen in Bildung, zu schaffen (Deichmann und Zhang 2013).

Insgesamt zeigt sich, dass sich die Steigerung der Energieeffizienz durch die Digitalisierung in vielen Bereichen noch in den Anfängen befindet. Obwohl positive Effekte durch die neuen Technologien erwartet werden, existieren wenige Studien zu den konkreten Effekten der Digitalisierung auf die Energieeffizienz. Die bestehenden wissenschaftlichen Studien zeigen meist verschiedene Entwicklungsszenarien auf und kommen zu sehr unterschiedlichen Einschätzungen. Für den Straßenverkehr sind beispielsweise – je nach Szenario – durch die Digitalisierung sowohl Einsparungen als auch Erhöhungen des Energiebedarfs denkbar (International Energy Agency 2017). Eine aktuelle, umfassende Studie von Lange et al. (2020) kommt zu dem

Ergebnis, dass die Digitalisierung bislang mit einem erhöhten Energieverbrauch einhergeht, da die steigernden Effekte stärker ausfallen als die senkenden Effekte. Zu den steigernden Effekten zählen der direkte Energieverbrauch der IKT-Branche sowie das durch die Digitalisierung hervorgerufene wirtschaftliche Wachstum und den damit verbundenen Energieverbrauch. Als senkende Effekte gelten wiederum der verringerte Energiebedarf aufgrund der Verwendung digitaler Technologien sowie der mit der Digitalisierung verbundene strukturelle Wandel hin zu weniger energieintensiven Branchen. Nach ihrer Ansicht kann Digitalisierung künftig nur dann zur Stärkung der Nachhaltigkeit beitragen, wenn die senkenden Effekte realisiert werden können, ohne zugleich die steigernden Effekte auszulösen.

Gleichwohl bleibt das größte Hindernis bei der Umsetzung von Studien die Datenverfügbarkeit, welche zu einer genaueren Beurteilung oftmals noch unzureichend ist. Indirekte Effekte wie Verhaltensänderungen sind zudem schwer zu prognostizieren. In der Literatur sind die Gesamtauswirkungen der Digitalisierung als Mittel zur Steigerung der Energieeffizienz damit nicht eindeutig geklärt (Court und Sorrell 2020). Um die Einsparpotenziale der Digitalisierung für Privathaushalte und Wirtschaft voll ausschöpfen zu können, sind deshalb noch diverse Hürden zu überwinden. Dazu zählen unter anderem einheitliche Standards und Schnittstellen zur Datenerfassung und -verarbeitung sowie die Bearbeitung datenschutzrechtlicher Fragestellungen. In diesen Bereichen hat es in Deutschland bereits einige Weichenstellungen gegeben. Beispielsweise sollen nach dem Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende (Messstellenbetriebsgesetz) bis zum Jahr 2032 95 Prozent aller Messstellen mit modernen Messeinrichtungen bzw. intelligenten Messsystemen ausgestattet sein. Das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat in den letzten Jahren Schutzprofile und technische Richtlinien für einen sicheren, flächendeckenden Ausbau der Smart-Meter-Infrastruktur in Deutschland entwickelt (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2020). Trotz dieser und weiterer Maßnahmen bleiben die Aspekte Datenverfügbarkeit und -sicherheit zentrale Herausforderungen und benötigen weitere Anstrengungen. Nicht zuletzt fehlt auf Unternehmensebene oft ein langfristiger Planungshorizont für Effizienzinvestitionen.

2.2 Energieeffizienz der Digitalisierung

Neben den Potenzialen der Digitalisierung für die Energieeffizienz wird in der Literatur auch der erforderliche Energiebedarf der Digitalisierung untersucht, denn der Einsatz digitaler Technologien führt über verschiedene Kanäle auch zu einem bedeutenden Energieverbrauch. Weltweit steigt der Energieverbrauch durch Rechenzentren, Datenströme und private Endgeräte prozentual sogar stärker als der gesamte Energieverbrauch, so dass die Digitalisierung selbst erheblich zur Umweltbelastung beiträgt.

Insbesondere der Energiebedarf der Serverräume und Rechenzentren macht durch die hohe Nachfrage nach Rechenleistung einen erheblichen Anteil am Energieverbrauch aus. Zwischen 2010 und 2017 stieg der Energieverbrauch von Rechenzentren in Deutschland von 10,5 auf 13,2 Milliarden Kilowattstunden (kWh) (Hintemann und Hinterholzer 2019). Dies entspricht einem Zuwachs von mehr als 25 Prozent. Neben Rechenzentren und Netzwerken zur Datenübermittlung leisten insbesondere Endgeräte einen signifikanten Beitrag zum Verbrauch. Die Anzahl der Endnutzer und vernetzter Geräte stieg in den letzten Jahren stetig an und folglich auch der Energieverbrauch. Bedingt durch eine verbesserte Leistung und geringere Kosten der Geräte kann es zudem zu sogenannten Rebound-Effekten (auch „Bumerangeffekte“) kommen: Diese beschreiben das Phänomen, dass Effizienzsteigerungen zu einer Nachfragesteigerung der Nutzerinnen und Nutzer führen, sodass Einsparpotenziale nicht oder nur teilweise realisiert werden. Das Ausmaß dieser

Rebound-Effekte ist noch nicht abschließend geklärt, da diese indirekten Effekte schwer zu schätzen sind. Unumstritten ist jedoch, dass einzelne digitale Technologien einen hohen direkten Energieverbrauch haben. Ein Beispiel ist die Blockchain-Technologie. Kryptowährungen wie Bitcoin, welche die Blockchain-Technologie anwenden, haben einen hohen Energiebedarf beim Erstellen neuer Blöcke, auch Mining genannt (Reetz 2019). Der jährliche Energieaufwand allein für Bitcoin wird auf 30 bis 75 Milliarden kWh geschätzt (Reetz 2019). Die untere Grenze entspricht dabei in etwa dem gesamten Energieverbrauch von Dänemark im Jahr 2016.

Beim Energieverbrauch durch Digitalisierung lassen sich jedoch auch Effizienzgewinne beobachten. Neue Arten von Rechenzentren – sogenannte Hyperscale-Rechenzentren, die als Basis für Big Data und Cloud Computing dienen – steigern die Energieeffizienz in Deutschland und weltweit. Die Möglichkeiten solcher Effizienzgewinne mit aktuellen Technologien sollten konsequent gefördert und genutzt werden. So kann zum Beispiel der Trend einer sinkenden Energieintensität (Energieverbrauch pro Recheninstanz) für Rechenzentren fortgesetzt werden. Masanet et al. (2020) schätzen, dass die Energieintensität zwischen 2010 und 2018 jährlich um 20 Prozent abnahm. Die Speicherkapazitäten stiegen um das 25-fache, da die Speicherdichte und -effizienz wesentlich erhöht werden konnte, während der Energiebedarf sich nur verdreifachte.

Insgesamt betrachtet ist der Energieverbrauch von digitalen Technologien schwer zu beziffern. Je nach Annahmen schätzen Studien den Energieverbrauch unterschiedlich hoch (Richard et al. 2017). Prognoserechnungen verweisen oft auf ein positives und ein negatives Entwicklungsszenario. Darin spiegelt sich erneut das Grundproblem der Messung der Energieeffizienz der Digitalisierung wider. Die Datengrundlage erlaubt nur Schätzungen, die mit relativ großer Unsicherheit behaftet sind. Zur Optimierung der Schätzunsicherheiten empfehlen mehrere Studien, verbesserte Standards zur Messung des Energieaufwands auf nationalen und internationalen Ebenen einzuführen (International Energy Agency 2017; Masanet et al. 2020; Richard et al. 2017). Erst mit einer vergrößerten Datenbasis ist es möglich, verlässlichere Ist-Werte sowie Prognosen zu erstellen. Damit können der Politik bessere Möglichkeiten gegeben werden, die Weichen für die zukünftige Entwicklung in unterschiedlichen Branchen zu stellen (Richard et al. 2017). Eine frühe technologieoffene Forschung an möglichen Zukunftstechnologien könnte ebenfalls ein probates Mittel sein, um zukünftig Effizienzgewinne zu erzielen. Hierfür kann die Politik geeignete Einsparziele (etwa kWh/Gigabyte) vorgeben, um die Technologieoffenheit zu fördern.

3. Unternehmensbefragung

3.1 Zielsetzung und Methodik

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden wichtige Stellschrauben im Bereich der Energieeffizienz durch Digitalisierung und energieeffizienter Digitalisierung identifiziert. Die vorliegende Studie untersucht darauf aufbauend die grundsätzliche Bedeutung des Themas Energieeffizienz, den Einsatz vielversprechender digitaler Technologien zur Verbesserung der Energieeffizienz und die Verbreitung von Maßnahmen zu einer energieeffizienten Gestaltung der Digitalisierung in Unternehmen. In diesem Zusammenhang hat das ZEW Mannheim eine repräsentative Unternehmensbefragung in der „Informationswirtschaft“ (IKT-Branche, Mediendienstleister, wissensintensive Dienstleister) und im „Verarbeitenden Gewerbe“ (Chemie und Pharma, Fahrzeugbau, Maschinenbau, Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe) durchgeführt. Dazu wurde die quartalsweise erhobene ZEW-Konjunkturumfrage in der Informationswirtschaft² im zweiten Quartal 2020 um das Verarbeitende Gewerbe erweitert. Insgesamt konnten rund 1.700 Unternehmen mit mindestens fünf Beschäftigten zu den Themen Energieeffizienz und Digitalisierung befragt werden. Um die Repräsentativität der Befragungsergebnisse zu gewährleisten, erfolgt eine Hochrechnung der Antworten der Umfrageteilnehmer³.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 Gezielte Maßnahmen in den Bereichen Energieeffizienz und Digitalisierung

Energieeffizienz

Gezielte Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz sind eine zentrale Stellschraube für das Gelingen der Energiewende. Im Rahmen der Umfrage gaben 52 Prozent der Unternehmen aus dem Verarbeitenden Gewerbe, jedoch nur 24 Prozent aus der Informationswirtschaft an, in den letzten drei Jahren gezielt Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz durchgeführt zu haben. Eine mögliche Erklärung für die stärkere Verbreitung effizienzsteigernder Maßnahmen im Verarbeitenden Gewerbe ist der vergleichsweise höhere Energiebedarf durch die physische Produktion von Gütern und demnach die größeren Einsparpotenziale. Insgesamt zeigt sich, dass das Thema Energieeffizienz zwar in den Unternehmen beider Wirtschaftszweige angekommen ist, jedoch in den vergangenen drei Jahren nicht flächendeckend durch gezielte Maßnahmen getrieben wurde.

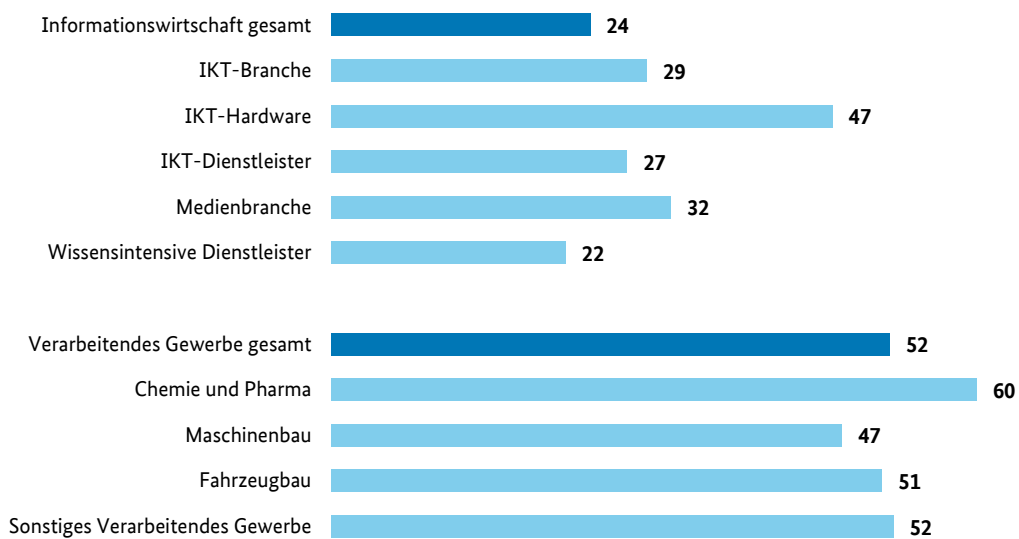
Innerhalb der Wirtschaftszweige zeigen sich leichte Unterschiede in der Durchführung von Maßnahmen. In der Informationswirtschaft findet das Thema Energieeffizienz in der IKT-Hardware stärkere Beachtung als in den anderen Teilbranchen. So unternahmen 47 Prozent der IKT-Hardware-Unternehmen in den vergangenen drei Jahren gezielte Schritte zur Verbesserung der Energiebilanz. In den anderen Teilbranchen initiierten hingegen nur 22 bis 29 Prozent der Unternehmen entsprechende Maßnahmen. Erneut ist die physische

² Weitere Informationen zur Konjunkturumfrage Informationswirtschaft unter: www.zew.de/WS380.

³ Eine Erläuterung des Verfahrens befindet sich im Anhang der Studie. Da die wissensintensiven Dienstleister einen großen Anteil der Unternehmen in der Informationswirtschaft ausmachen, dominieren sie die hochgerechneten Werte des gesamten Wirtschaftszweigs.

Produktion von Gütern in der IKT-Hardware eine mögliche Erklärung für die stärkere Verbreitung von Maßnahmen. Innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes weicht die Teilbranche Chemie und Pharma positiv vom Durchschnitt ab. Knapp zwei Drittel (60 Prozent) der Unternehmen führten Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz durch. In den restlichen Teilbranchen waren es lediglich 47 bis 52 Prozent.

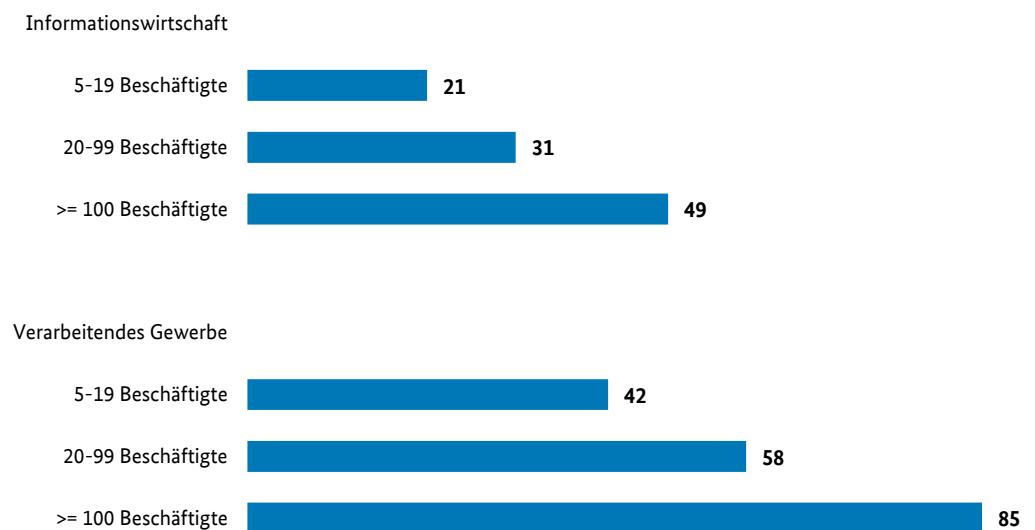
Abbildung 1: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Der Anteil der Unternehmen, die derartige Maßnahmen durchgeführt haben, steigt zudem mit der Unternehmensgröße. Während in der Informationswirtschaft von den kleinen Unternehmen (unter 20 Beschäftigte) nur 21 Prozent und im Verarbeitenden Gewerbe 42 Prozent effizienzsteigernde Maßnahmen durchführten, sind es bei den großen Unternehmen (100 oder mehr Beschäftigte) bereits 49 Prozent in der Informationswirtschaft bzw. 85 Prozent im Verarbeitenden Gewerbe. Dies könnte unter anderem durch die höhere Verfügbarkeit von Ressourcen und Fachkräften zur Umsetzung erklärt werden.

Abbildung 2: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)



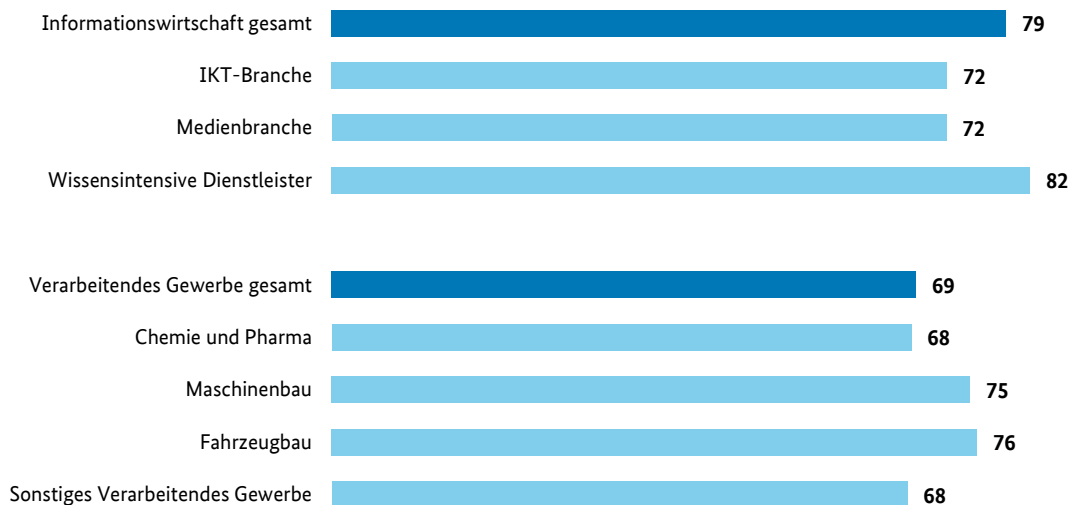
Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz sind somit vor allem im Verarbeitenden Gewerbe und bei großen Unternehmen verbreitet, wobei es auch dort, ebenso wie über alle Unternehmensgrößen und Teilbranchen hinweg, noch Aufholbedarf gibt.

Digitalisierung

Des Weiteren wurden Unternehmen zur Einführung von Digitalisierungsprojekten in den vergangenen drei Jahren befragt, um einen Eindruck der generellen Bedeutung von digitalen Technologien zu erhalten. 79 Prozent der Unternehmen in der Informationswirtschaft und 69 Prozent im Verarbeitenden Gewerbe haben in den letzten drei Jahren Maßnahmen zur Erneuerung oder Verbesserung der IT-Struktur und zur Nutzung digitaler Anwendungen umgesetzt. Das Thema Digitalisierung fand somit eine breite Durchdringung in beiden Wirtschaftszweigen. Dennoch bleibt ein nicht geringfügiger Anteil an Unternehmen, der in den vergangenen drei Jahren keine Digitalisierungsprojekte durchgeführt hat (rund 20 Prozent in der Informationswirtschaft und rund 30 Prozent im Verarbeitenden Gewerbe).

Abbildung 3: Umsetzung von Digitalisierungsprojekten in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)

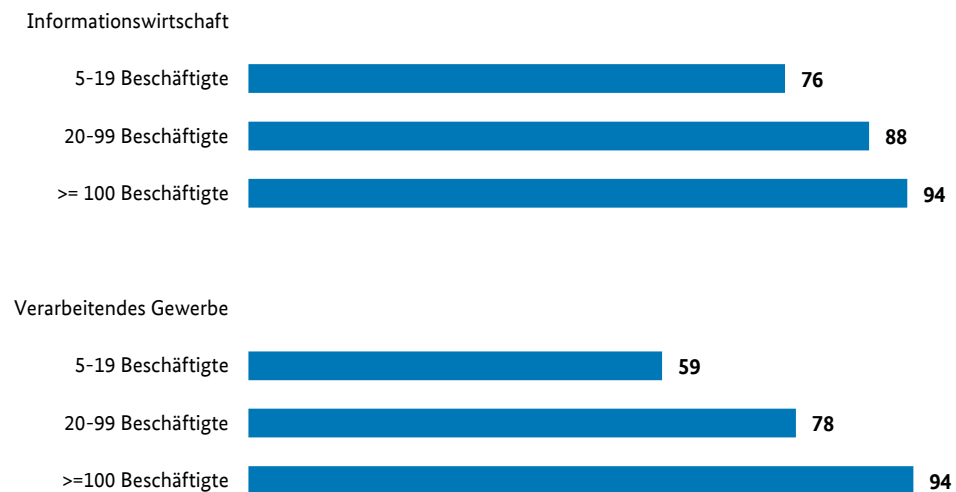


Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Zwischen den Teilbranchen zeigen sich jeweils nur geringfügige Unterschiede. In der Informationswirtschaft sind Digitalisierungsprojekte vor allem bei wissensintensiven Dienstleistern verbreitet (82 Prozent). Im Verarbeitenden Gewerbe liegen Unternehmen im Fahrzeugbau (76 Prozent) und im Maschinenbau (75 Prozent) vorne.

Erneut sind große Unternehmen aktiver bei der Umsetzung von Maßnahmen als mittlere und kleine Unternehmen. So haben in beiden Wirtschaftszweigen jeweils 94 Prozent der Unternehmen mit 100 oder mehr Beschäftigten in den vergangenen drei Jahren Digitalisierungsprojekte umgesetzt. Bei den kleinen Unternehmen sind es hingegen 76 Prozent in der Informationswirtschaft und 59 Prozent im Verarbeitenden Gewerbe. Dementsprechend ist das Gefälle zwischen Unternehmen unterschiedlicher Größe vor allem im Verarbeitenden Gewerbe hoch.

Abbildung 4: Umsetzung von Digitalisierungsprojekten in den vergangenen drei Jahren nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

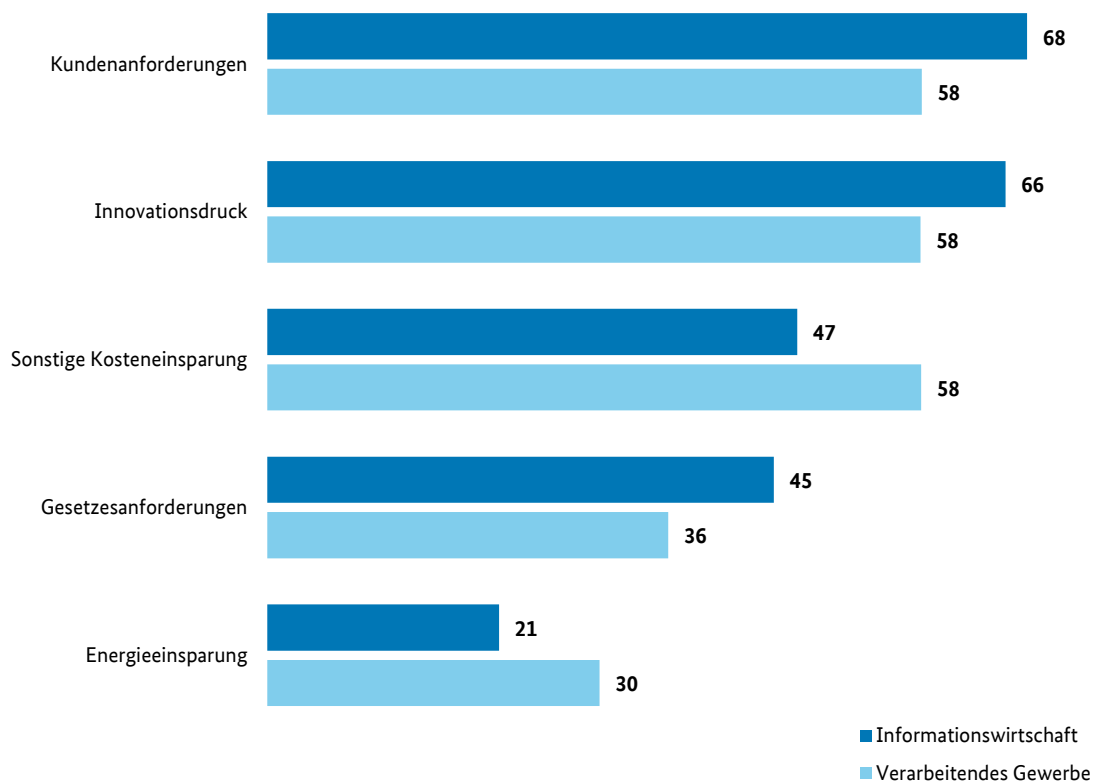
Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die befragten Unternehmen in den vergangenen drei Jahren bereits Maßnahmen im Bereich Energieeffizienz und vor allem im Bereich der Digitalisierung umgesetzt haben. Während das Thema Energieeffizienz im Verarbeitenden Gewerbe eine stärkere Beachtung findet, liegt die Informationswirtschaft in Hinblick auf die digitale Transformation vorne. Die Schnittstelle der beiden Themenbereiche – das heißt, welche Rolle die Digitalisierung bisher im Bereich Energieeffizienz spielt – wird im Folgenden untersucht.

3.2.2 Steigerung der Energieeffizienz durch Digitalisierung

Energieeinsparung als Grund für Digitalisierungsprojekte

Die Unternehmen, die in den vergangenen drei Jahren Digitalisierungsprojekte durchgeführt haben, wurden nach den Gründen für diese Maßnahmen befragt. Dabei ist insbesondere die Bedeutung von Energieeinsparungen als Treiber von Digitalisierungsprojekten von Interesse.

Abbildung 5: Gründe für Digitalisierungsprojekte in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

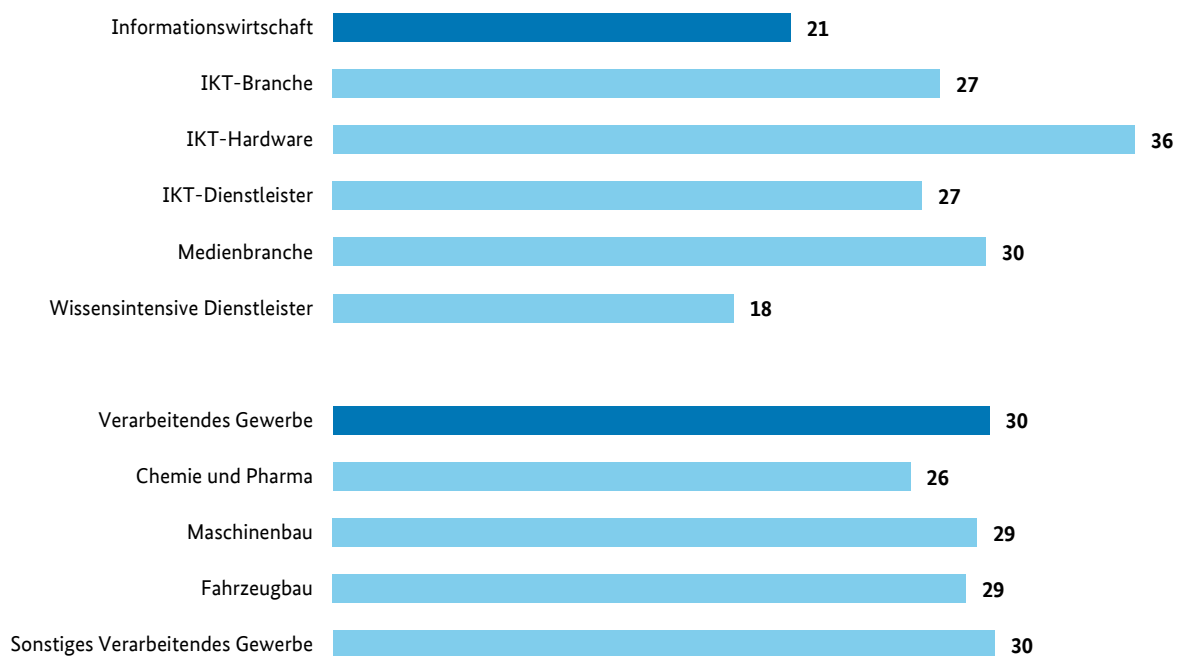
Anmerkung: Mehrfachnennungen möglich

In der Informationswirtschaft setzten Unternehmen vor allem aufgrund von Kundenanforderungen (68 Prozent), Innovationsdruck (66 Prozent) und sonstigen Kosteneinsparungen (47 Prozent) Digitalisierungsprojekte um. Energieeinsparungen stellen dagegen den am seltensten genannten Grund dar (21 Prozent). Im Verarbeitenden Gewerbe zeichnet sich ein ähnliches Bild ab: Als wesentliche Treiber von Digitalisierungsprojekten wurden Kundenanforderungen, Innovationsdruck und sonstige Kosteneinsparungen mit jeweils 58 Prozent benannt, wohingegen Energieeinsparungen die geringste Rolle spielten (30 Prozent). Dies deckt sich mit bisherigen Erkenntnissen aus wissenschaftlichen Studien, die darauf hindeuten, dass die Steigerung der Energieeffizienz durch die Digitalisierung in vielen Bereichen noch in den Anfängen steckt. Im Vergleich finden Energieeinsparungen durch digitale Technologien im Verarbeitenden Gewerbe zwar eine etwas breitere Anwendung (30 Prozent im Vergleich zu 21 Prozent in der Informationswirtschaft), jedoch bestehen in beiden Branchen noch erhebliche Potenziale im Einsatz von Digitalisierungsprojekten mit dem Ziel der Energieeinsparung.

Innerhalb der Informationswirtschaft zeigt sich zudem ein gemischtes Bild (vgl. Abbildung 6): So geben nur 18 Prozent der wissensintensiven Dienstleister an, dass Energieeinsparungen bei Digitalisierungsprojekten eine Rolle spielen, aber 36 Prozent der Unternehmen in der IKT-Hardwarebranche und immerhin 30 Prozent in der

Medienbranche. Im Verarbeitenden Gewerbe lässt sich hingegen ein konsistentes Bild über die einzelnen Teilbranchen erkennen: rund ein Drittel der Unternehmen benennt jeweils Energieeinsparungen als Grund für Digitalisierungsprojekte.

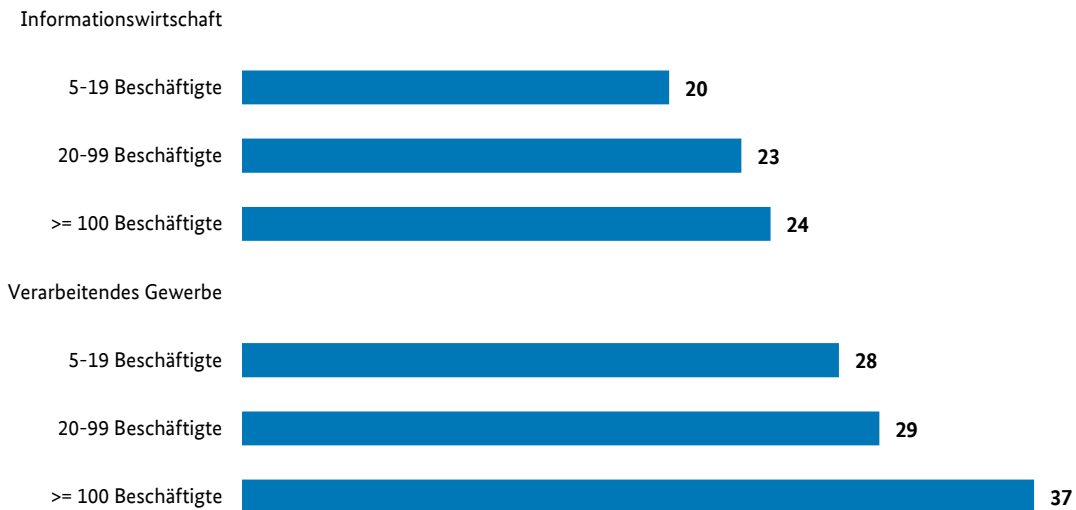
Abbildung 6: Energieeinsparung als Grund für Digitalisierungsprojekte der vergangenen drei Jahre (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

In Bezug auf die Unternehmensgröße ist erneut ein leicht positiver Trend zu verzeichnen: Mit zunehmender Größe werden Energieeinsparungen in beiden Wirtschaftszweigen häufiger als Beweggrund für Digitalisierungsprojekte benannt. Während dieser Anteil bei den kleinen Unternehmen noch bei 20 Prozent (Informationswirtschaft) bzw. 28 Prozent (Verarbeitendes Gewerbe) liegt, sind es bei den großen Unternehmen bereits 24 Prozent (Informationswirtschaft) bzw. 37 Prozent (Verarbeitendes Gewerbe).

Abbildung 7: Energieeinsparung als Grund für Digitalisierungsprojekte der vergangenen drei Jahre nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Insgesamt sind Energieeinsparungen also bisher nicht der wesentliche Treiber bei der Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen, wenngleich Unternehmen das Potenzial für Energieeinsparungen zumindest teilweise bei der Implementierung von Digitalisierungsmaßnahmen einbeziehen.

Einsatz von digitalen Technologien im Gebäude- und Produktionsbereich

In der wissenschaftlichen Literatur wird betont, dass digitale Technologien enorme Potenziale im Bereich der Energieoptimierung besitzen. Dies gilt insbesondere für den Gebäude- und den Produktionsbereich, welchen bei der Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele eine Schlüsselfunktion zukommt. Auf den Gebäudebereich entfallen rund 35 Prozent des Endenergieverbrauchs in Deutschland und rund ein Drittel der Treibhausgasemissionen (BMWi 2015). An den 35 Prozent des Endenergieverbrauchs haben die Haushalte mit über 21 Prozentpunkten den größten Anteil am gebäudebezogenen Endenergieverbrauch. Es folgen der Gewerbe-Handel-Dienstleistungssektor mit zehn Prozent und Industriegebäude mit rund drei Prozent. Deshalb hat die Bundesregierung eigens eine „Energieeffizienzstrategie Gebäude“ mit dem Ziel eines nahezu klimaneutralen Gebäudebestands bis 2050 formuliert (BMWi 2015). Digitale Technologien können bei der Umsetzung der Strategie wiederum einen wichtigen Beitrag leisten. Die Einsatzmöglichkeiten reichen von der frühen Planungsphase – beispielsweise durch die zunehmende Digitalisierung des Planungs- und Bauprozesses mithilfe von Building Information Modeling (BIM) – bis hin zu einem optimierten und intelligenten Energiemanagement in Gebäuden. Auch im Produktionsprozess ergeben sich durch den Einsatz von digitalen Technologien Möglichkeiten zur Energieoptimierung. Durch innovative Ansätze im Bereich der systemübergreifenden Vernetzung von Anlagen, Prozessen und Gebäudeteilen ermöglichen digitale Technologien die effiziente Überwachung, Steuerung und Regelung von kompletten Produktionsprozessen, und zwar auch aus der physischen Distanz. Insgesamt können über digitales Energiemanagement sowohl eine Vielzahl neuer Einsparpotenziale erschlossen als auch neue Dienstleistungen bereitgestellt werden (BMWi

2019). Aus diesem Grund wurden Unternehmen, die in den vergangenen drei Jahren bereits gezielte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durchgeführt haben, im Rahmen der Umfrage konkret nach dem Einsatz digitaler Technologien im Gebäude- und Produktionsbereich zur Verbesserung der Energieeffizienz befragt.

Im Gebäudebereich setzen von diesen Unternehmen in beiden Wirtschaftszweigen jeweils ein Drittel (31 Prozent in der Informationswirtschaft und 29 Prozent im Verarbeitenden Gewerbe) Automatisierungstechniken zur Senkung des Gebäudeenergieverbrauchs (sogenannte „Smart Building“-Technologien) ein. Auch Technologien zur Vernetzung, zur Steuerung und zum Monitoring von Produktionsprozessen, um die Energieeffizienz zu steigern, werden bereits von Unternehmen beider Wirtschaftszweige genutzt. Bezogen auf die Unternehmen, die in den vergangenen drei Jahren Energieeffizienzmaßnahmen durchführten, kamen derartige Technologien bei 32 Prozent der Unternehmen in der Informationswirtschaft und bei 43 Prozent der Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe zum Einsatz.

Abbildung 8: Einsatz digitaler Technologien zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)



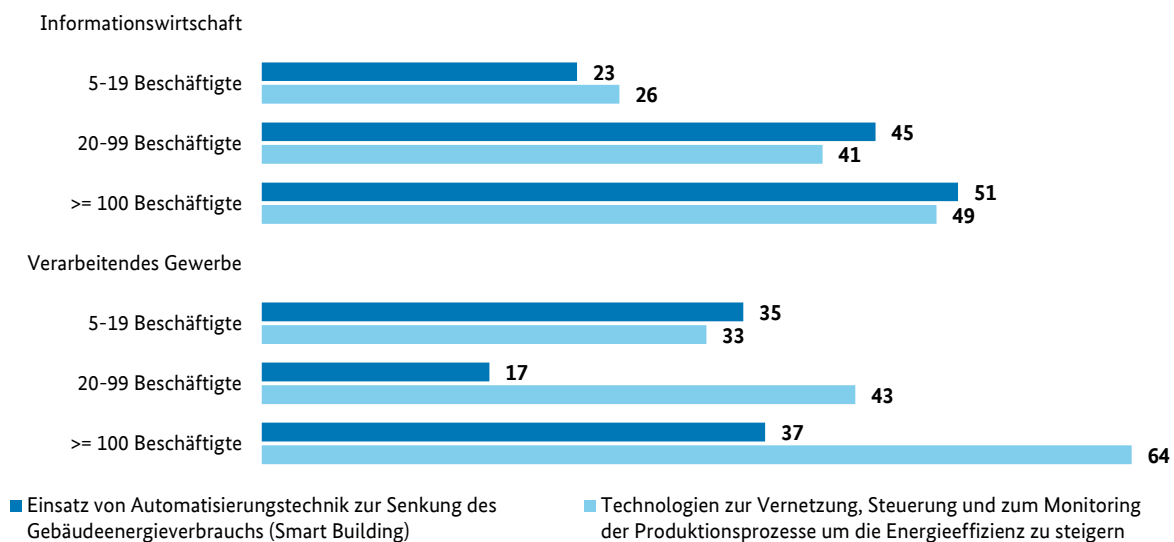
Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Anmerkung: Antworten der Unternehmen, die in den vergangenen drei Jahren Energieeffizienzmaßnahmen umsetzten (Abbildung 1)

Aufgeschlüsselt nach Unternehmensgröße ergibt sich ein ähnliches Bild wie zuvor: Digitale Technologien zur Verbesserung der Energiebilanz finden in größeren Unternehmen breitere Anwendung. Lediglich die Verbreitung von Smart-Building-Technologien weicht im Verarbeitenden Gewerbe von diesem Muster ab. Sowohl kleine als auch große Unternehmen setzten diese Technologien in den vergangenen drei Jahren vergleichbar häufig ein (35 Prozent und 37 Prozent), von den mittleren Unternehmen jedoch nur 17 Prozent. Der hohe Anteil der kleinen Unternehmen lässt sich womöglich mit der geringeren Komplexität und somit geringeren Kosten der Implementierung im Vergleich zu mittleren Unternehmen erklären. Große Unternehmen wiederum sind tendenziell einem größeren Druck ausgesetzt, bestimmte Klima- und

Energieziele zu erreichen und verfügen gleichzeitig über die Ressourcen zur Umstellung, so dass mittlere Unternehmen insgesamt zurückliegen.

Abbildung 9: Einsatz digitaler Technologien zur Verbesserung der Energiebilanz in den vergangenen drei Jahren nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Anmerkung: Antworten der Unternehmen, die in den vergangenen drei Jahren Energieeffizienzmaßnahmen umsetzten (Abbildung 1)

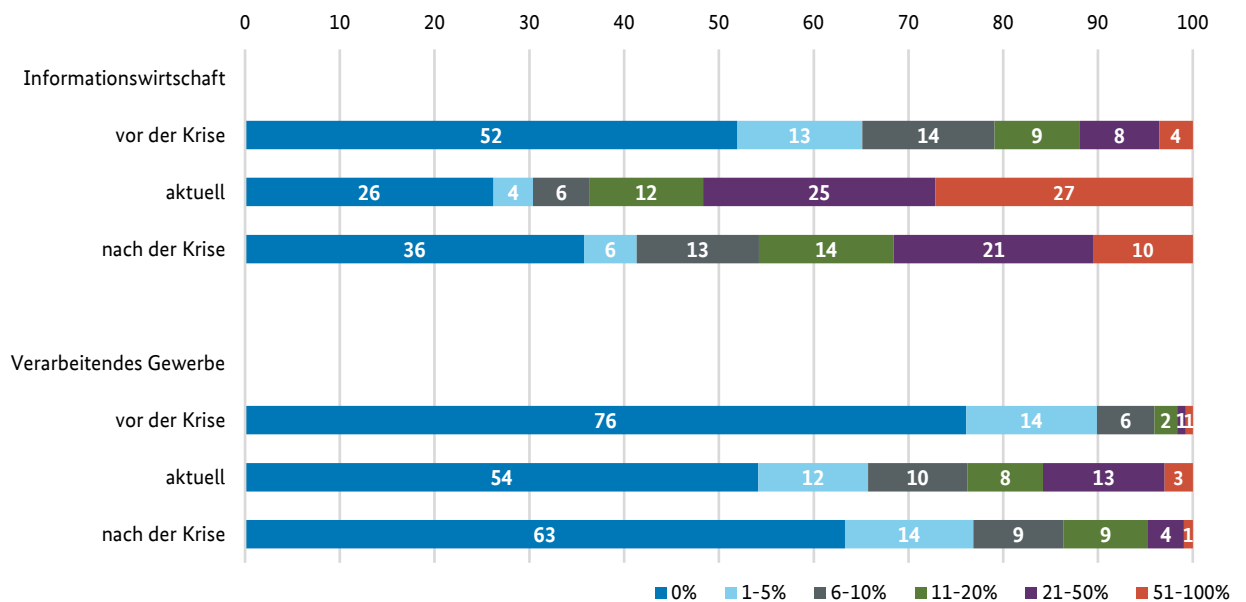
Verbreitung von digitalen Arbeitsmodellen

Die gegenwärtige Corona-Krise hat einen enormen Einfluss auf die Verbreitung digitaler Arbeitsmodelle (Bundesministeriums für Arbeit und Soziales 2020), was wiederum bislang nicht eindeutige, ökologische Effekte zur Folge hat. Einerseits birgt das mobile Arbeiten von Zuhause („Homeoffice“) und der Ersatz von Dienstreisen durch Telefon- und Videokonferenzen Potenzial für Energieeinsparungen (BMW 2019). So können digitale Arbeitsmodelle zu einer Verringerung des Verkehrsaufkommens führen und der damit einhergehende Energieverbrauch kann gesenkt werden (IZT-Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung 2020). Des Weiteren kann mobiles Arbeiten zu Energieeinsparungen hinsichtlich der genutzten Bürofläche führen. Wenn Arbeitnehmer vermehrt von Zuhause arbeiten und Arbeitsplätze im Bürogebäude teilen, wird weniger Bürofläche benötigt. Dadurch wird der Energieverbrauch durch Heizung, Beleuchtung und Kühlung des Gebäudes entsprechend verringert.

Andererseits kann jedoch das ortsflexible Arbeiten auch zur Klima- und Umweltbelastung beitragen, was bisher wiederum wenig diskutiert wird. Sowohl die Zunahme von privater Mobilität, beispielsweise durch den Wegfall von Einkaufsmöglichkeiten auf dem Arbeitsweg, als auch von privaten Wohnflächen in weniger energieeffizienten Gebäuden und ein dadurch bedingter Anstieg des Energieverbrauchs können die Folge von mobilem Arbeiten sein. Dies zeigt erneut die Komplexität der Schätzung eines Gesamteffekts. Um mit entsprechenden Maßnahmen auf die tatsächlichen Effekte reagieren zu können, ist die Beobachtung der langfristigen Entwicklung dieses Trends im Kontext der Energieeffizienz von großer Bedeutung.

Im Rahmen der Umfrage wurden Unternehmen deshalb nach dem Anteil der Beschäftigten im Homeoffice vor und während (d.h. aktuell) der Corona-Krise sowie zu den Erwartungen zum langfristigen Umgang mit Homeoffice nach der Krise befragt. Im Verarbeitenden Gewerbe haben vor dem Ausbruch der Corona-Pandemie nur in jedem vierten Unternehmen Beschäftigte regelmäßig im Homeoffice gearbeitet, d.h. mindestens einmal pro Woche. Aktuell liegt dieser Wert bei fast 50 Prozent, und für die Zeit nach der Krise erwarten 37 Prozent der Unternehmen, Homeoffice einzusetzen. Da sich gerade im Verarbeitenden Gewerbe nicht alle Tätigkeiten für die Arbeit von zuhause eignen, ist der Anteil an Beschäftigten, die regelmäßig im Homeoffice arbeiten, vergleichsweise gering. Allerdings wirkt sich die Corona-Krise langfristig auf die Intensität des Homeoffice aus. Noch stärker sind die langanhaltenden Veränderungen in der Informationswirtschaft. Schon vor der Krise setzte etwa jedes zweite Unternehmen in der Informationswirtschaft Homeoffice ein, da sich hier deutlich mehr Tätigkeiten für das ortsflexible Arbeiten eignen. Langfristig planen nun fast zwei Drittel der Unternehmen (64 Prozent) auch nach der Krise Homeoffice zu nutzen. Zudem gehen die Unternehmen davon aus, dass ein steigender Anteil der Beschäftigten regelmäßig Homeoffice Angebote in Anspruch nehmen wird.

Abbildung 10: Unternehmen nach Anteil der Mitarbeitenden im regelmäßigen Homeoffice vor, während und nach der Corona-Krise



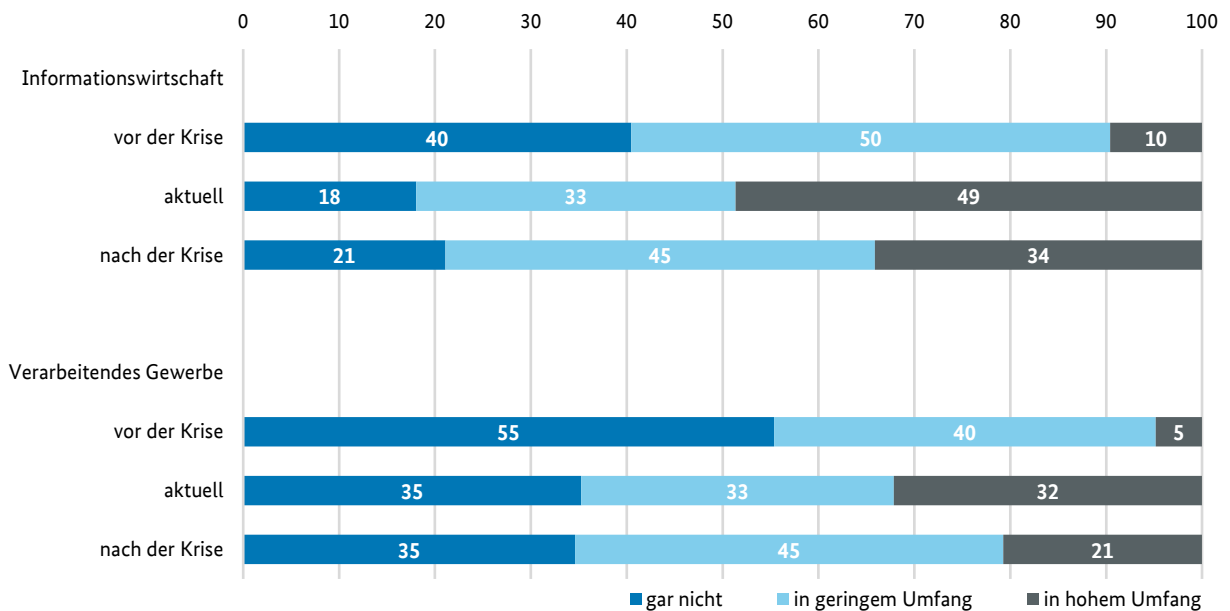
Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Anmerkung: Regelmäßiges Homeoffice definiert als mindestens einmal pro Woche.

Auch der Ersatz von Dienstreisen durch Telefon- und Videokonferenzen kann den Energiebedarf durch eine Reduktion des Verkehrsaufkommens erheblich senken. Hier zeichnet sich ebenfalls ein positiver, langfristiger Trend ab. Während vor der Krise lediglich 10 Prozent der Unternehmen in der Informationswirtschaft und 5 Prozent des Verarbeitenden Gewerbes in großem Umfang Dienstreisen durch digitale Lösungen substituiert haben, sind es aktuell 49 Prozent in der Informationswirtschaft und 32 Prozent im Verarbeitenden Gewerbe. Langfristig planen 34 Prozent der Unternehmen aus der Informationswirtschaft und 21 Prozent des

Verarbeitenden Gewerbes diesen Trend auch nach der Corona-Krise fortzuführen. Dies entspricht einer enormen Steigerung im Vergleich zum Vorkrisenniveau und zeigt, wie stark die Corona-Krise die Digitalisierung der Arbeitswelt vorantreibt.

Abbildung 11: Ersatz von Dienstreisen durch Telefon- und Videokonferenzen vor, während und nach der Corona-Krise (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Damit digitale Arbeitsmodelle tatsächlich zu einer Senkung der Umwelt- und Klimabelastung führen, muss auch die Digitalisierung der Arbeitswelt energieeffizient gestaltet werden. In diesem Zusammenhang zeigt sich unmittelbar die Relevanz flankierender Maßnahmen, die diesen Wandel aus Energiegesichtspunkten begleiten sollten, um den Prozess möglichst energieeffizient zu gestalten.

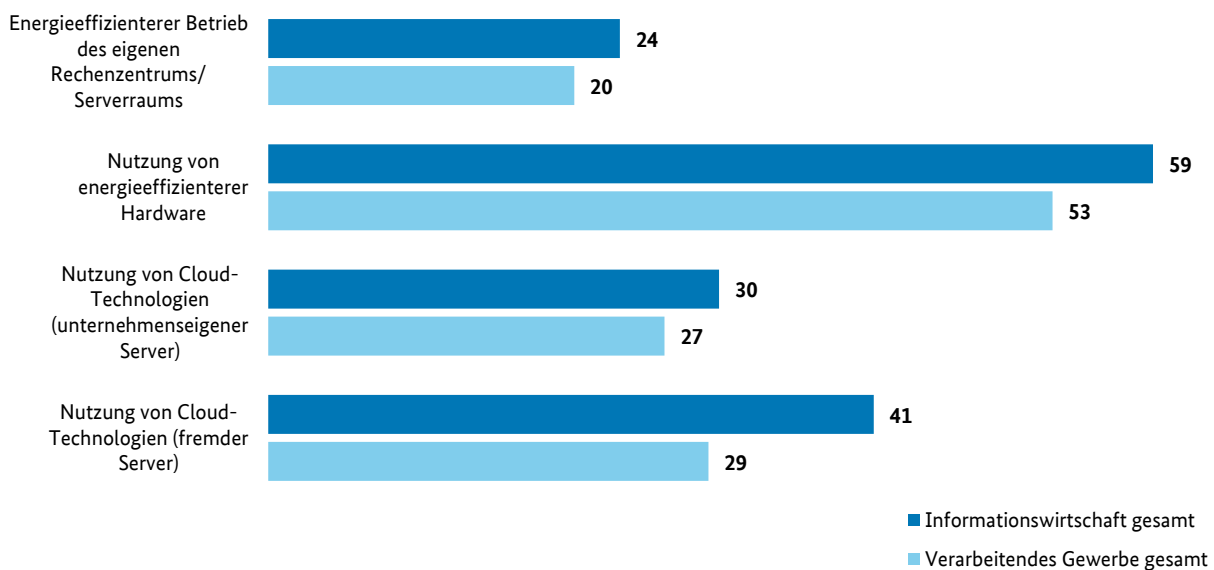
3.2.3 Energieeffizienz der Digitalisierung

Die Digitalisierung ist aufgrund ihrer Potenziale die Energieeffizienz zu verbessern zwar Teil der Lösung zur Steigerung der Energieeffizienz, aber indem sie zu einem Anstieg des Stromverbrauchs beiträgt, auch Teil des Problems. In Kapitel 2 wurden bereits wichtige Stellschrauben im Bereich der energieeffizienten Digitalisierung identifiziert: Energieeffiziente Rechenzentren und Serverräume sowie IKT-Produkte (Hardware). Schätzungen zufolge wird vor allem der Energiebedarf der Server aufgrund der hohen Nachfrage nach Rechenleistung in deutschen Rechenzentren vom Jahr 2015 bis zum Jahr 2025 um mehr als 60 Prozent steigen (Stobbe et al. 2015). Demnach kommt dem energieeffizienten Betrieb von Rechenzentren bzw. Serverräumen eine zentrale Bedeutung bei der Erreichung der Klimaziele zu. In diesem Kontext ist auch die Nutzung von Cloud-Technologien relevant. Denn Cloud Computing ermöglicht Energieeinsparungen, z. B. durch die bessere Auslastung, die in Cloud-Rechenzentren aufgrund der Nutzung von Skaleneffekten erzielt werden kann, oder die häufig deutlich bessere Hardware-Ausstattung in modernen Cloud-Rechenzentren (Stobbe et al. 2015). Aber

auch die Berücksichtigung des gesamten Produktlebenswegs von IKT-Hardware und dessen Auswirkungen auf das Klima und die Umwelt sollten künftig im Fokus stehen. Die Beschaffung umweltschonender Hardware ist demnach eine weitere wichtige Stellschraube für die Verbesserung der Energieeffizienz.

Im Rahmen der ZEW-Umfrage wurden die Unternehmen deshalb zu Maßnahmen in diesen Bereichen in den vergangenen drei Jahren befragt. Unternehmen in beiden Wirtschaftszweigen legten den Fokus vor allem auf die Anschaffung bzw. Nutzung von energieeffizienter Hardware, z. B. Server, PCs/Laptops, Netzwerk. In der Informationswirtschaft erneuerten 59 Prozent der Unternehmen und im Verarbeitenden Gewerbe 53 Prozent die Hardware. Auf dem zweiten Rang liegen in beiden Wirtschaftszweigen Cloud-Technologien. In der Informationswirtschaft finden Cloud-Technologien etwas breitere Anwendung als im Verarbeitenden Gewerbe. Es nutzten 30 Prozent Cloud-Technologien auf unternehmenseigenen Servern (Verarbeitendes Gewerbe: 27 Prozent) und 41 Prozent auf fremden Servern (Verarbeitendes Gewerbe: 29 Prozent). Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von eigenen Rechenzentren und Serverräume waren in beiden Wirtschaftszweigen mit 24 Prozent (Informationswirtschaft) bzw. 20 Prozent (Verarbeitendes Gewerbe) der letztgenannte Bereich. Obwohl Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes das Thema Energieeffizienz bislang stärker forcierten (vgl. Abbildung 1), liegt die Informationswirtschaft im Bereich der IT-Energieeffizienz, gemessen an den vier genannten Bereichen, vorne. Jedoch besteht in beiden Wirtschaftszweigen durchaus noch Handlungsbedarf, insbesondere im verbrauchsintensiven Bereich der Rechenzentren und Serverräume.

Abbildung 12: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der IT-Energieeffizienz in den vergangenen drei Jahren (Anteil der Unternehmen in Prozent)

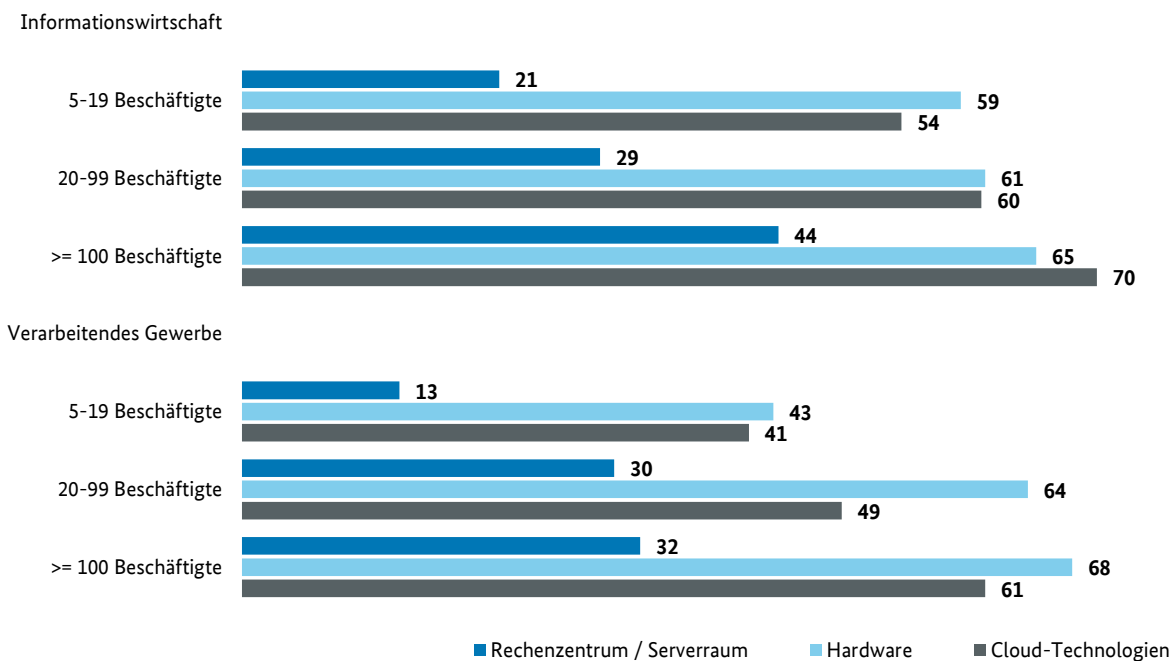


Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

In Abbildung 13 sind die oben genannten Maßnahmen zur Verbesserung der IT-Energieeffizienz nach Unternehmensgröße aufgeschlüsselt, wobei beide Cloud-Technologien hier zusammengefasst betrachtet werden. Demnach besagt die Kennzahl, ob ein Unternehmen mindestens eine der beiden Cloud-Technologien

(eigener vs. fremder Server) verwendet. In beiden Wirtschaftszweigen steigt der Anteil der Unternehmen, die Maßnahmen zur Verbesserung der IT-Energieeffizienz umsetzen, mit der Unternehmensgröße. In der Informationswirtschaft sind die Erneuerung der Hardware und die Nutzung von Cloud-Technologien jedoch über alle Unternehmensgrößen hinweg ähnlich verbreitet. Im Verarbeitenden Gewerbe ist das Gefälle zwischen den Unternehmen verschiedener Größenklassen größer. In Bezug auf die Rechenzentren und Serverräume zeigen sich in beiden Wirtschaftszweigen teilweise erhebliche Unterschiede nach Unternehmensgröße. So hebt sich in der Informationswirtschaft der Anteil großer Unternehmen (44 Prozent) stark von mittleren (29 Prozent) und kleinen (21 Prozent) Unternehmen ab. Im Verarbeitenden Gewerbe hingegen fallen kleine Unternehmen mit einem Anteil von nur 13 Prozent stark hinter mittleren und großen Unternehmen (30 bzw. 32 Prozent) zurück.

Abbildung 13: Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der IT-Energieeffizienz in den vergangenen drei Jahren nach Unternehmensgröße (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

3.2.4 Entwicklung des Stromverbrauchs

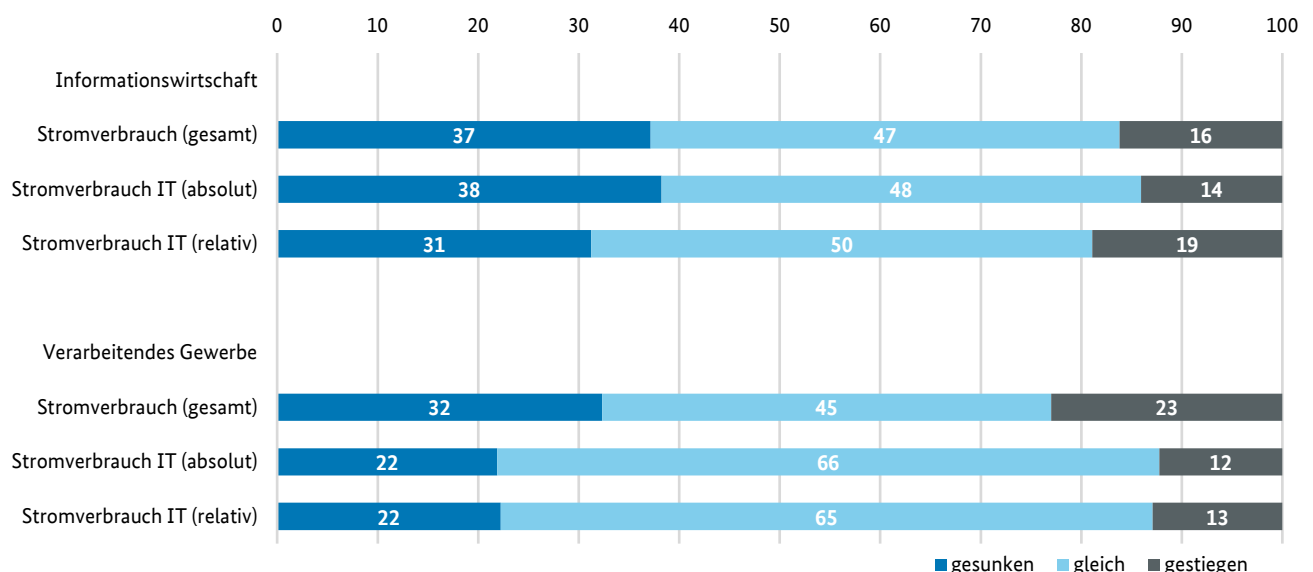
Abbildung 14 zeigt die Entwicklung des Stromverbrauchs für Unternehmen, die in den vergangenen drei Jahren Energieeffizienzmaßnahmen durchführten, wohingegen Abbildung 15 die Entwicklung für Unternehmen *ohne* derartige Maßnahmen darstellt. Es zeichnen sich deutliche Unterschiede im Stromverbrauch zwischen diesen beiden Gruppen ab. Von den Unternehmen, die Energieeffizienzmaßnahmen durchführten, gaben in der Informationswirtschaft 37 Prozent der Unternehmen an, dass ihr Stromverbrauch gesunken ist. Bei den Unternehmen ohne derartige Maßnahmen waren es nur 14 Prozent. Auch im Verarbeitenden Gewerbe ist der Anteil der Unternehmen, der eine Senkung des Stromverbrauchs angibt, in der

Gruppe mit Energieeffizienzmaßnahmen wesentlich höher (32 Prozent) als ohne entsprechende Maßnahmen (10 Prozent). Ein ähnliches Bild zeichnet sich für den absoluten und relativen IT-Stromverbrauch ab. Der Anteil der Unternehmen, die eine Senkung des IT-Stromverbrauchs beobachteten, ist bei Unternehmen mit Energieeffizienzmaßnahmen deutlich höher als ohne (rund 30 bis 40 Prozent in der Informationswirtschaft und rund 20 Prozent im Verarbeitenden Gewerbe).

Jedoch ist in beiden Gruppen bei einem Großteil der Unternehmen sowohl der gesamte Stromverbrauch als auch der im IT-Bereich verbrauchte Strom über die vergangenen drei Jahre gleichgeblieben. Es zeigt sich zudem, dass trotz Energieeffizienzmaßnahmen nicht unbedingt ein eindeutiger, messbarer Effekt auf den Stromverbrauch zu beobachten ist. So geben in der Informationswirtschaft 16 Prozent und im Verarbeitenden Gewerbe 23 Prozent der Unternehmen mit Energieeffizienzmaßnahmen an, dass der gesamte Stromverbrauch gestiegen ist. Eine mögliche Erklärung sind Unterschiede in der Anzahl und Tragweite der Maßnahmen, die sich entsprechend unterschiedlich stark auf den Energieverbrauch auswirken. Des Weiteren können Rebound-Effekte die positiven Effekte aufwiegen, so dass der Stromverbrauch insgesamt steigt. Möglich ist zudem ein negativer Einfluss externer Faktoren, z. B. des Wetters in bestimmten Regionen, welches den Stromverbrauch unabhängig von Maßnahmen durch vermehrte Kühlung oder Heizung ansteigen lässt (International Energy Agency 2019). Hier zeigen sich deutlich die Komplexität der Wirkungsketten und die Relevanz von Studien zur gezielten Analyse der Effekte spezifischer Maßnahmen.

Insgesamt weist die Entwicklung des Energieverbrauchs darauf hin, dass in allen Bereichen weiterhin große Potenziale zum Energiesparen bestehen. Dies deckt sich mit bisherigen Erkenntnissen (Deutsche Energie-Agentur 2012), die zeigen, dass verstärkte Anstrengungen erforderlich sind, um die Energieeffizienz zu steigern und so die Klima- und Umweltbelastung zu senken.

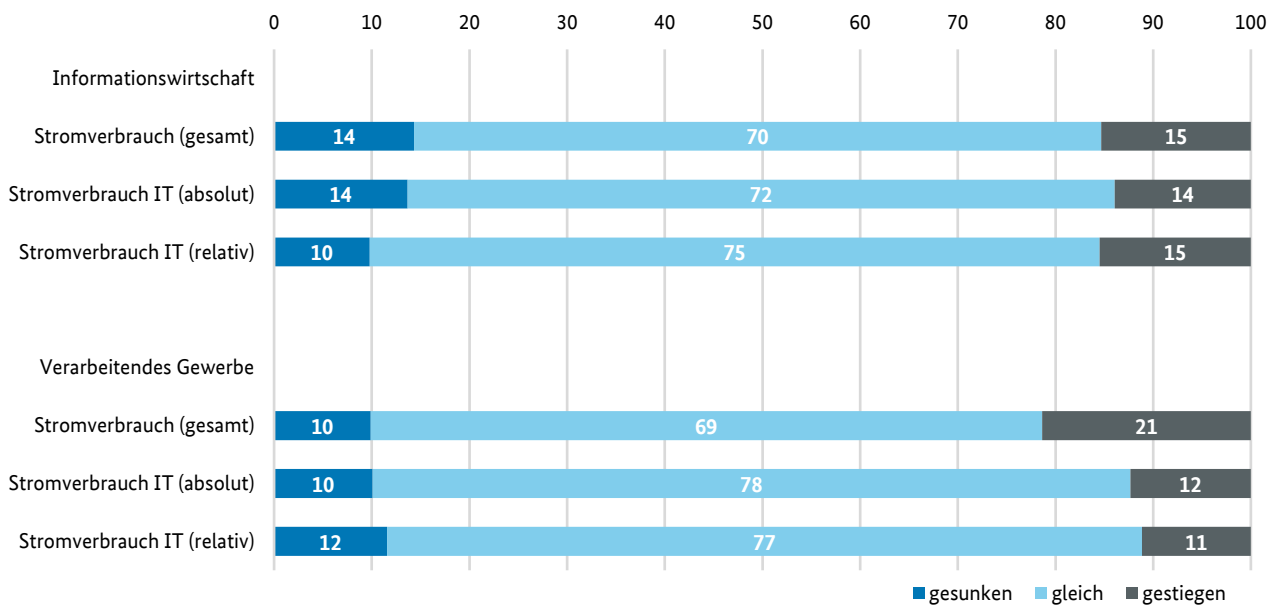
Abbildung 14: Entwicklung des Stromverbrauchs bei Durchführung gezielter Energieeffizienzmaßnahmen (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Anmerkung: Entwicklung über die vergangenen drei Jahre

Abbildung 15: Entwicklung des Stromverbrauchs ohne gezielte Energieeffizienzmaßnahmen (Anteil der Unternehmen in Prozent)



Quelle: ZEW-Konjunkturumfrage Informationswirtschaft, 2. Quartal 2020.

Anmerkung: Entwicklung über die vergangenen drei Jahre

3.3 Fazit zur Unternehmensbefragung

Im Rahmen der Unternehmensbefragung wurden die Verbreitung vielversprechender digitaler Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz sowie Maßnahmen für eine energieeffiziente Gestaltung der Digitalisierung untersucht.

Sowohl in der Informationswirtschaft als auch im Verarbeitenden Gewerbe sind Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz noch nicht stark verbreitet. So gaben 52 Prozent der Unternehmen im Verarbeitenden Gewerbe und nur 24 Prozent in der Informationswirtschaft an, in den letzten drei Jahren gezielt Maßnahmen zur Verbesserung der Energiebilanz durchgeführt zu haben. Zudem werden digitale Technologien zur Senkung des Energieverbrauchs bisher eher zögerlich eingesetzt und deren Potenziale somit bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. Zum einen waren Energieeinsparungen in beiden Wirtschaftszweigen der letztgenannte Grund für die Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen. Nur rund ein Fünftel der Unternehmen aus der Informationswirtschaft bzw. ein Drittel der Unternehmen aus dem Verarbeitenden Gewerbe, die im vergangenen Dreijahreszeitraum Digitalisierungsprojekte durchführten, benannten Energieeinsparungen als Beweggrund für diese Projekte. Zum anderen setzen nur rund ein Drittel der Unternehmen, die in den vergangenen drei Jahren Energieeffizienzmaßnahmen durchführten, digitale Technologien im Gebäude- und Produktionsbereich ein, um den Energieverbrauch zu senken. Im Bereich der IT-Energieeffizienz sind vor allem die Nutzung energieeffizienter Hardware (z. B. Server und Notebooks) und von Cloud-Technologien verbreitet, wohingegen der energieeffiziente Betrieb von verbrauchsintensiven Rechenzentren und Serverräumen bislang weniger stark forciert wurde. Insgesamt weist die Entwicklung des Energieverbrauchs

darauf hin, dass in allen Bereichen weiterhin große Potenziale zum Energiesparen bestehen, so dass in Zukunft verstärkte Anstrengungen erforderlich sind, um die Energieeffizienz zu steigern und so die Klima- und Umweltbelastung zu senken.

Im Rahmen der Unternehmensbefragung wird deutlich, dass vor allem kleine und mittlere Unternehmen in Sachen Energieeffizienz und Digitalisierung tendenziell hinterherhinken. Die Verbreitung von Maßnahmen zur Optimierung des Energieverbrauchs und der Einsatz digitaler Technologien zur Förderung der Energieeffizienz sind in diesen Unternehmen weitaus weniger verbreitet als in größeren Unternehmen. Aus diesem Grund sollte seitens der Politik ein besonderes Augenmerk auf die Barrieren und Herausforderungen kleiner und mittlerer Unternehmen gelegt werden. Zudem zeigt sich, dass die digitale Transformation in der Arbeitsorganisation rasant voranschreitet und diese Entwicklung deshalb kontinuierlich beobachtet und aus Energieeffizienzgesichtspunkten analysiert werden muss. Die langfristig zunehmende Bedeutung digitaler Arbeitsmodelle hat beispielsweise bisher nicht eindeutig absehbare Auswirkungen auf den Energieverbrauch, so dass flankierende Maßnahmen zu einer energieeffizienten Gestaltung dieser Entwicklung von Bedeutung sind. Erst dann kann die Digitalisierung ihren Beitrag zur Zielerreichung – einer nachhaltigen Entwicklung im Sinne der Energieeffizienz – leisten. Des Weiteren erschweren gegenläufige Effekte der Digitalisierung auf den Energieverbrauch die Formulierung konkreter Handlungsempfehlungen. Hier zeigt sich zum einen die große Bedeutung einer Verbesserung der Datenerfassung und -analyse, um die Konsequenzen bestimmter Maßnahmen besser prognostizieren zu können. Gleichwohl kommt auch der Sensibilisierung von Unternehmen und Beschäftigten bezüglich der Konsequenzen ihres digitalen Nutzungs- und Konsumverhaltens eine zentrale Rolle zu. Mögliche Auswirkungen sollten daher so transparent wie möglich kommuniziert werden, um Verhaltensänderungen zu fördern, die den Energieverbrauch senken können. Letztlich müssen die passenden regulatorischen Rahmenbedingungen geschaffen und innovationsfreundlich gestaltet werden, um die Verbreitung von Maßnahmen und Innovationen zu fördern und so die richtigen Weichen für eine nachhaltige Entwicklung zu stellen.

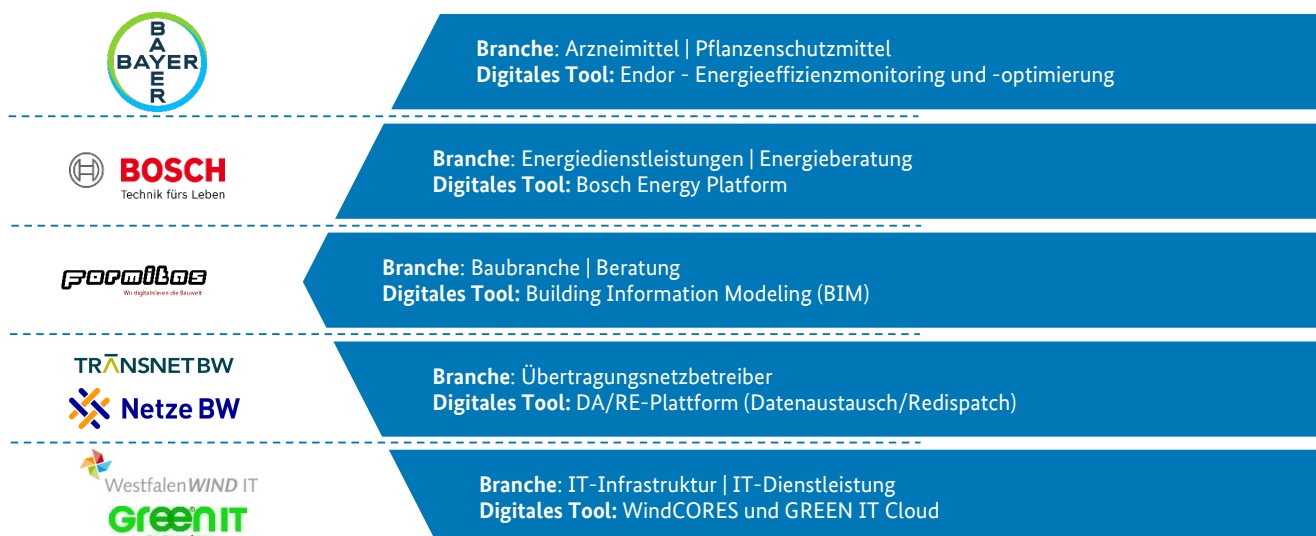
4. Fallstudien

4.1 Zielsetzung und Methodik

Obwohl es im Bereich der Verbesserung der Energieeffizienz durch bzw. der Digitalisierung bei Unternehmen noch Nachholbedarf gibt, existieren bereits heute Praxisbeispiele dafür, wie mit innovativen Lösungen die Energieeffizienz verbessert und langfristige Klimaziele erreicht werden können. Daher werden im Rahmen dieser Schwerpunktstudie Projekte vorgestellt, in denen digitale Technologien schon heute gezielt eingesetzt werden um die Energieeffizienz zu verbessern beziehungsweise die Digitalisierung energieeffizient gestaltet wird. Für ein tiefergehendes Verständnis dieser Projekte wurden fünf Fallstudien in Form von semistrukturierten Experteninterviews erstellt. Im Fokus der Betrachtung standen die Auswirkungen der Lösung auf die Energieeffizienz, innere wie äußere Treiber und Herausforderungen der Unternehmen, die zur Entwicklung der Lösungen geführt haben, die Lösungsarchitektur, sowie den Einfluss auf den Unternehmenserfolg und die Kundeninteraktion.

Es werden nachfolgend verschiedene Ansätze zur Erzielung der Energieeffizienz durch oder der Digitalisierung in Form von fünf eigenständigen Fallstudien dargestellt. Die Unternehmensauswahl spiegelt eine möglichst breite Auswahl von Unternehmen der deutschen Wirtschaft wider. Dies ermöglicht eine zielführende und ganzheitliche Aufarbeitung der für die Forschung und Industrie relevanten Ergebnisse. Zudem basiert die Auswahl auf der vorangegangenen Literaturrecherche, in der zentrale Anwendungsfelder digitaler Technologien, wie etwa der Gebäude- und Produktionsbereich, identifiziert wurden. Für jede Fallstudie werden die technologischen Highlights hervorgehoben und die Erkenntnisse in Form von Erfolgsprinzipien abstrahiert und aggregiert.

Abbildung 16: Übersicht der Fallstudienpartner und -inhalte



Quelle: Eigene Abbildung.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Energieeffizienzmonitoring und -optimierung im Produktionsbereich: Bayer AG

Interviewpartner

- Dr. Dieter Foertsch (Principle Expert Energieeffizienz und Verbrennungstechnologie, Bayer AG)
- Marc Kalliski (Technology Expert, Bayer AG)

Energy efficiency monitoring and optimization (Endor)

Die Bayer AG ist ein international tätiger Konzern in der Arznei- und Pflanzenschutzmittelbranche mit Hauptsitz in Leverkusen. Bei etwa 104.000 Mitarbeitern erreicht die Bayer AG einen Umsatz von 43,5 Mrd. Euro. Mit ihrer Nachhaltigkeitsstrategie verfolgt die Bayer AG ausgewählte Sustainable Development Goals der Vereinten Nationen, wie die Prozesse und die Produktion (energie-) effizienter zu gestalten und bis zum Jahr 2030 klimaneutral zu operieren.

Im Hinblick auf die steigenden regulatorischen Anforderungen an ein umfassendes Energieeffizienzmonitoring und dessen kontinuierlicher Optimierung hat die Bayer AG das Projekt *Energy efficiency monitoring and optimization (Endor)* in der Division Crop Science ins Leben gerufen. Durch die Umsetzung der Anforderungen der DIN EN ISO 50001-Normen gelingt es der Bayer AG die innerbetriebliche Energieeffizienz anhand umfassender Key Performance Indicators (KPIs) transparent zu erfassen. Einzelnen Produktionsanlagen werden durch Endor eindeutige Energieverbräuche zugeordnet, deren Energieeffizienz transparent dargestellt und dienen somit als Entscheidungsgrundlage für weitere Energieoptimierungsmaßnahmen.

Welche sind die wesentlichen internen und externen Herausforderungen sowie Treiber für das Projekt?

Als wesentlicher Treiber für die Durchführung des Projekts galt die DIN EN ISO 50001 Rezertifizierung, welche systematisch die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem (EMS) stellt. Durch eine Novelle darin müssen zukünftig zwei wesentliche Neuerungen umgesetzt werden: Zum einen müssen Nachweise für Energy Performance Indicators (EnPIs) erbracht werden. Zum anderen gilt es eine kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz anzustreben und Significant Energy Users (SEUs) zu erfassen. Daraus resultiert die Anforderung an ein explizites Monitoring der Komponenten bzw. Anlagenteile. Darüber hinaus hat sich die Bayer AG im Rahmen ihrer Nachhaltigkeitsstrategie zum Ziel gesetzt bis 2030 alle unternehmensseitig verursachten CO₂-Emissionen zu vermeiden.

Welche Herausforderungen traten bei der Entwicklung und Etablierung auf?

In der Umsetzungsphase des Projekts traten verschiedene Herausforderungen auf, insbesondere auf der Ebene der Datenerhebung und -verarbeitung. So scheitert die automatische integrale Analyse des mit der Zertifizierung verbundenen Audits an mangelnder Datenqualität und -verfügbarkeit. Der Detaillierungsgrad der Daten stellt demnach eine der Kernherausforderungen des Projekts Endor dar. Der unternehmensweiten

Erfassung von Verbrauchsdaten mit einem hohen Detaillierungsgrad stehen insbesondere hohe ökonomische Aufwände entgegen. Aus der Kombination der bereits erzielten Einsparungen und dem damit verbundenen hohen administrativen Aufwand sind interne Widerstände auf Produktionsebene im Hinblick auf neue Projekte zur Steigerung der Energieeffizienz zu erklären. Zur Abmilderung dieses Problems wurde das Projekt Endor vollständig in bestehende Systeme integriert.

Aus welchen Komponenten setzt sich die Lösungsarchitektur zusammen?

Die zentrale Datenquelle sind Produktionsdaten, die auf Servern vor Ort verwaltet und archiviert werden. Um die vorhandenen Produktionsdaten zur Bestimmung von Energieeffizienzpotenzialen zu nutzen, sind bereits auf den Servern bestimmte Funktionalitäten und Berechnungskomponenten integriert. Neben unternehmensinternen Daten werden zusätzlich externe Daten von beispielsweise Energie Providern bezogen, um unter anderem den Verlauf des Strompreises zu modellieren.

Inwiefern hat sich das Projekt auf die Energieeffizienz und das Unternehmen ausgewirkt?

Das Projekt Endor schafft Transparenz über die Energieeffizienz der Produktionsprozesse von der Managementebene bis zur operativen Ebene. Die integralen Indikatoren werden auf der Managementebene berichtet, wohingegen lokale Indikatoren über eine Leitwarte auf operativer Ebene zur Verfügung gestellt werden. Hier ist gleichzeitig auch die größte Wirkung durch die Sicherstellung des Bewusstseins über die Energieeffizienz im Betrieb zu verorten. Darüber hinaus wurden im Rahmen des DIN EN ISO 50001-Zertifizierungsprozesses regelmäßige Energierunden zwischen verschiedenen Funktionen im Unternehmen etabliert, um die Sichtbarkeit und Diskussion des Themas Energieeffizienz aufrecht zu erhalten. Insgesamt bewerten die Interviewpartner das Projekt als Puzzleteil zur Erfüllung der Nachhaltigkeitsstrategie der Bayer AG.

4.2.2 Digitale Energieplattform zur Effizienzoptimierung im Gebäude- und Produktionsbereich: Bosch Building Technologies

Interviewpartner

- Dr. Ulrich Brandenburg (Head of Sales and Application, Bosch Energy & Building Solutions GmbH)

Bosch Energy Platform

Die *Bosch*-Gruppe ist ein international führendes Technologie- und Dienstleistungsunternehmen. Die Aktivitäten gliedern sich in die vier Unternehmensbereiche Mobility Solutions, Industrial Technology, Consumer Goods sowie Energy and Building Technology. Als Teil des Unternehmensbereiches Energy and Building Technology ist der Geschäftsbereich Building Technologies ein international führender Anbieter von Produkten und Systemen für Sicherheit und Kommunikation. In ausgewählten Ländern bietet *Bosch* darüber hinaus Lösungen und Dienstleistungen für Gebäudesicherheit, Energieeffizienz und Gebäudeautomation an.

Politische Vorgaben und gesellschaftliche Forderungen für nachhaltiges Handeln rücken die Zielgröße der Energieeffizienz verstärkt in den Fokus von Entscheidungsträgern. Mit der *Energy Platform (EP)* bietet der Geschäftsbereich *Bosch Building Technologies* eine cloudbasierte Internet-of-Things(IoT)-Lösung an, um den

Verbrauch von Energie und Ressourcen ganzheitlich zu analysieren und den Erreichungsgrad von Effizienzzielen zu verfolgen. Hierfür erfasst die *EP* Energie- und Prozessdaten der Energieverbraucher im Unternehmen wie beispielsweise Messwerte von Zählern und Sensoren, Informationen zur Gebäudeleittechnik sowie Stückzahlen aus der Produktion. Das Ziel ist es, die Energie- und Ressourceneffizienz von Verbrauchern wie Maschinen, Gebäuden, Produktionslinien sowie ganzer Produktionswerke transparent zu vergleichen und auf Basis dieser Informationen zu optimieren. Beispielsweise ermöglicht die Plattform Abweichungen in den Verbrauchsmustern aufgrund von Maschinenverschleiß automatisiert zu erkennen und geeignete Maßnahmen wie Benachrichtigungen oder Instandhaltungsprozesse anzustoßen.

Welche sind die wesentlichen internen und externen Treiber für das Projekt?

Die *Bosch*-Gruppe verfolgt das Ziel bis Ende 2020 alle 400 Standorte CO₂-neutral zu stellen. Bis 2030 soll zudem der Energieverbrauch um eine Terrawattstunde pro Jahr gesenkt werden. Jeder Standort des *Bosch*-Konzerns hat damit die Vorgabe entsprechende Maßnahmen zu ergreifen, wie z.B. die Integration erneuerbarer Energien, um zu den Nachhaltigkeitszielen beizutragen.

Welche Herausforderungen traten bei der Entwicklung und Etablierung auf?

In mehr als 100 Werken und Standorten der *Bosch*-Gruppe wird der Verbrauch von Energie und Ressourcen mit der *EP* an über 100.000 Datenpunkten gemessen. Eine Herausforderung sind die gewachsenen Strukturen in der Produktion und die Anbindung von Maschinen in der Feldebene über verschiedene Bus-Systeme. Breites Fachwissen und ein eigenentwickeltes IoT-fähiges Edge Device samt Betriebssystem des *Bosch*-Konzerns ermöglichen die Anbindung von Komponenten vieler Hersteller. Ferner erforderte der Vertrieb der *EP* an Industriekunden den Wechsel auf eine cloudbasierte IT-Infrastruktur, um die *EP* für weltweit verteilte Projekte skalieren zu können.

Aus welchen Komponenten setzt sich die Lösungsarchitektur zusammen?

Die technologische Basis der *EP* bildet Microsoft Azure, das als Platform-as-a-Service genutzt wird. Energiedaten aus Zählern und der Status von Maschinen werden über ein eigenentwickeltes IoT-Gateway in die Cloud übertragen. Weitere Systeme, wie beispielsweise ERP- oder Produktionsleitsysteme können über spezielle Konnektoren oder eine standardisierte REST-API angebunden werden. Die *EP* bereitet die Daten auf und stellt diese über Dashboards den jeweiligen Anspruchsgruppen des Energiemanagements bereit. Auf Basis der Datenanalyse können Energiemanager Optimierungen planen und Verbesserung vornehmen. Zudem bietet die *EP* die Möglichkeit, Energieanlagen auf Basis der aktuellen Lastprognose zu steuern, um Spitzenlasten zu vermeiden.

Inwiefern hat sich das Projekt auf die Energieeffizienz und das Unternehmen ausgewirkt?

Abhängig von werksspezifischen Faktoren, wie Energietechnik, hergestellten Produkten oder Produktionsverfahren wirkt sich die *EP* unterschiedlich stark aus. So konnte im *Bosch*-Werk Blaichach eine Energiekostenreduktion im Bereich Druckluft von bis zu 40 Prozent erreicht werden, im Homburger Werk durch kontinuierliche Optimierungsmaßnahmen 27,8 Prozent. Nach zwei Jahren hatte sich dort die IoT-Plattform amortisiert. Auch neue Kundenbeziehungen wurden über die *EP* geknüpft und bestehende vertieft. Dies liegt einerseits in der Möglichkeit zur flexibleren Erweiterung der IoT-Plattform um weitere Datenpunkte

von Maschinen bis hin zu ganzen Gebäuden bzw. Werken begründet. Andererseits ergeben sich durch die steigende Transparenz der Energieverbräuche neue Einsparpotenziale durch weitere Energiedienstleistungen von *Bosch Building Technologies*. Die *EP* ist damit ein zentraler Baustein zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen.

4.2.3 Building Information Modeling als Planungstool im Gebäudebereich: *formitas AG*

Interviewpartner

- Kalin Bozhanov (BIM-Lead Link, *formitas AG*)

Building Information Modeling

Die *formitas AG* ist ein Beratungsunternehmen mit Schwerpunkt auf die Digitalisierung der Bauwelt. Mit etwa 60 Mitarbeitern erwirtschaftet *formitas* im Jahre 2019 3,97 Mio. Euro.

Building Information Modeling (BIM), die Arbeit anhand eines digitalen Zwillings eines Bauobjektes, ist eine neue kollaborative Arbeitsmethodik für die beteiligten Akteure eines Bauprojekts, die stark mit dem Thema der Energieeffizienz verknüpft ist. Übliche BIM-Anwendungsfälle sind in sechs Dimensionen gegliedert. Die ersten drei Dimensionen der Geometrie umfassen die einheitliche objektorientierte Modellierung, Kollisionsprüfungen und diverse Bauregelprüfungen. In der vierten Dimension wird der Bauablauf simuliert und plausibilisiert, indem die geplanten Bauteile des BIM-Modells mit dem Projektterminplan verknüpft werden. In der fünften Dimension werden die Kosten iterativ anhand des BIM-Modells letztlich schneller, transparenter und zuverlässiger berechnet. In der sechsten Dimension werden modellbasiert Nachhaltigkeitsanalysen und eine Ökobilanzierung durchgeführt. Der hiermit erzeugte digitale Zwilling ermöglicht den Gebäudebetrieb in 7D zu konzipieren und zu optimieren. Dies umfasst den Einsatz von intelligenten Facility Management Tools wie zur Planung und Optimierung von Wartungs- und Reparaturmaßnahmen und auch die vereinfachte Anbindung externer Serviceanbieter wie Reinigungsunternehmen. Im Sinne des Effizienzgedankens verringert das BIM den Arbeitsaufwand und folglich den Ressourceneinsatz in den Bau- und Betriebsphasen. Die beschriebenen digitalen Planungsmethoden führen zu einer valideren und transparenteren Planung und Umsetzung. Fehler wie redundante Arbeiten oder nachträgliche Änderungen, insbesondere in der Koordination, können somit deutlich verringert werden.

Welche sind die wesentlichen internen und externen Treiber für das Projekt?

Im Hinblick auf die allmählich fortschreitende aber noch nicht weit fortgeschrittene Digitalisierung der Baubranche, zeichnet sich die Integration digitaler Bau- und Planungsmethoden als unabdingbarer Faktor für eine gesicherte Wettbewerbsfähigkeit und Effizienz in der Baubranche ab. Eine besondere Herausforderung der Baubranche liegt insbesondere in der Planungsphase, in der für spätere Phasen kostentreibende Fehler entstehen. Durch teilautomatisierte Prüfungen und virtuelle Objektbegehungen können frühzeitig Mängel entdeckt werden, die im klassischen Bauprojekt oft erst sehr spät, im schlimmsten Fall bei der Errichtung des Gebäudes, identifiziert würden.

Welche Herausforderungen traten bei der Entwicklung und Etablierung des Projekts auf?

BIM ist eine kollaborative Arbeitsmethodik und führt zu einer veränderten Kommunikation. Dieser Paradigmenwechsel führt mitunter zu internen Spannungen. Im Idealfall verschiebt die Arbeit mit BIM einen großen Teil des Aufwands bei Objektplanern und Betreibern in frühere Phasen des Bauprojekts. Durch eine frühe Einbindung der zukünftigen Nutzer sollen die BIM-Modelle von Anfang an mit notwendigen und nutzbringenden Informationen angereichert werden, die für die späteren Anwendungsfälle relevant sind. Der intensivere Austausch geht einerseits mit erhöhten Aufwänden in frühen Leistungsphasen einher, ist aber andererseits mit geringeren Aufwänden in späteren Phasen verbunden.

Aus welchen Komponenten setzt sich die Lösungsarchitektur zusammen?

Die BIM-Methodik bietet vielfältige Unterstützungsmöglichkeiten für die unterschiedlichen Bauprojektphasen und Akteure. So können zu Beginn die Ziele und Bedürfnisse des Bauherrn für die weitere Planung und Umsetzung transparent herausgearbeitet werden. Die BIM-Methodik bietet darüber hinaus übergreifende Projektstandards und Arbeitsprozesse. Dabei lassen sich zwei klar voneinander abzugrenzende Rollen im Projekt benennen: Zum einen der BIM-Manager, der klassischerweise den Bauherren strategisch berät und die allgemeine Qualität der BIM-Liefergegenstände überwacht. Zum anderen der BIM-Gesamtkoordinator, der das Projekt oft auf der Planungsseite besetzt und sich operativ um die Koordination, umfassende Qualitätsprüfungen, Kollisionsprüfungen und die Bauregelprüfungen kümmert. Bei Bedarf unterstützen die Akademie-Architekten und Ingenieure der formitas AG ebenfalls durch Anwenderschulungen in der BIM-Methodik und BIM-Software.

Inwiefern hat sich das Projekt auf die Energieeffizienz und das Unternehmen ausgewirkt?

Die zentralen Auswirkungen durch den Einsatz von BIM sind eine verbesserte Kollaboration zwischen den Projektteilnehmern. Dies zeigt sich in einem optimierten Gebäudebetrieb und weniger Folgekosten aufgrund von Baufehlern. Einerseits können die Betriebskosten nachhaltig gesenkt werden und andererseits Nachhaltigkeitsanforderungen aufgrund längerer Nutzungszeiten, vermiedener Materialverschwendungen oder unnötiger Transportwegen besser umgesetzt werden.

4.2.4 DA/RE - Digitale Energieplattform zur Netzstabilisierung und Engpassbeseitigung: TransnetBW GmbH und Netze BW

Interviewpartner

- Nina Römer (Referentin Sonderaufgaben innovative Plattformlösungen, TransnetBW GmbH)

DA/RE-Plattform

TransnetBW betreibt das Stromübertragungsnetz in Baden-Württemberg und ist Teil des deutschen und europäischen Netzverbundes. Mit ihrem Transportnetz sichert die TransnetBW die Stromversorgung in dieser Region, in Deutschland und Europa. Mit 830 Mitarbeitern erwirtschaftet TransnetBW einen Umsatz von knapp 7 Mrd. Euro.

Die Netze BW GmbH ist der größte Verteilnetzbetreiber für Strom, Gas und Wasser in Baden-Württemberg. Das Leistungsportfolio erstreckt sich dabei über den Netzbetrieb hinaus in die Bereiche der Elektromobilität, Ladeinfrastruktur und Beleuchtungskonzepte. Mit 5.591 Mitarbeitern erwirtschaftet die Netze BW einen Umsatz von 3,88 Mrd. Euro.

DA/RE steht für „Datenaustausch/Redispatch“. Gemeint ist eine Plattform zur Koordination von Redispatch-Maßnahmen zur Netzstabilisierung und Engpassbeseitigung über alle Netzebenen hinweg. Das Projekt „DA/RE – Die Netzsicherheits-Initiative BW“ haben TransnetBW und Netze BW initiiert. Mit Hilfe der DA/RE-Plattform können Netzbetreiber einen wesentlichen Teil der neuen Anforderungen des Redispatch 2.0 gemäß dem Netzausbaubeschleunigungsgesetz – kurz NABEG – erfüllen. Hierfür setzen die Initiatoren erstmals auf eine digitale Plattform, über die der Einsatz von dezentralen Flexibilitäten gesteuert wird, um die Stromerzeugung noch effizienter zu machen.

Welche sind die wesentlichen internen und externen Treiber für das Projekt?

Im Zuge der Energiewende werden erneuerbare Energien immer weiter ausgebaut. Es entstehen bundesweit zunehmend dezentrale, kleinere Erzeugungsanlagen wie Biogasanlagen, Windparks und Solaranlagen. Sie stehen außerhalb der Lastzentren und da ihre Erzeugung durch die Wetterlage bestimmt wird, kommt es vor allem im Norden Deutschlands, wo große Windparks errichtet wurden, häufig zu Einspeise-Spitzen. Diese Spitzen können zu Netzengpässen führen. In diesem Falle müssen Netzbetreiber Redispatch-Maßnahmen ergreifen. Um die Versorgungssicherheit in dieser immer dezentraleren Erzeugungslandschaft zu gewährleisten, soll der Einsatz von Redispatch-Maßnahmen auf Übertragungs- und Verteilnetzebene neu strukturiert werden. Die Art und Weise definiert das NABEG mit den Anforderungen für Redispatch 2.0. Die DA/RE-Plattform vereinfacht die hochkomplexe Koordinierung von Redispatch-Maßnahmen. Sie bietet einer Vielzahl von betroffenen Netzbetreibern eine Lösung hinsichtlich IT-Infrastruktur und Prozessen, um die sich die einzelnen Netzbetreiber ansonsten selbstständig kümmern müssten. Die Nutzung der Cloud-Technologie stellt die Skalierbarkeit sicher.

Welche Herausforderungen traten bei der Entwicklung und Etablierung auf?

DA/RE-Plattform werden zukünftig Akteure nutzen, die sehr unterschiedliche Anforderungen beispielsweise in Bezug auf die Schnittstellen zur Anbindung an die Plattform stellen. DA/RE orientiert sich daran an Branchenstandards, um möglichst einheitliche Schnittstellen und Datenformate zu schaffen. Dennoch gibt es Detailfragen, die noch ausgestaltet werden müssen. Eine weitere Herausforderung ergibt sich aus den großen Datenmengen, die für jede angebundene Anlage zu übermitteln und zu verarbeiten sind. Dazu wird ein hochautomatisierter, skalierbarer Prozess benötigt, der sämtliche Schritte abbildet – angefangen bei der Datenübermittlung und -verarbeitung bis hin zur Koordination und Kommunikation der notwendigen Redispatch-Maßnahmen. Aufgrund der Systemrelevanz der Energieversorgung spielt die IT-Sicherheit eine große Rolle.

Aus welchen Komponenten setzt sich die Lösungsarchitektur zusammen?

Bei der DA/RE-Plattform handelt es sich um eine Multi-Cloud-IT-Lösung. Die Plattform ist modular aufgebaut. Neben dem Modul für den Datenaustausch gibt es ein Modul für die Netzbetreiberkoordination, in dem über einen Optimierungsalgorithmus die effizientesten Redispatch-Maßnahmen koordiniert werden.

Inwiefern hat sich das Projekt auf die Energieeffizienz und das Unternehmen ausgewirkt?

Die DA/RE-Plattform steigert die Effizienz aller Akteure durch die Ermittlung des Bedarfs und die Koordinierung der notwendigen Redispatch-Maßnahmen. Das steigert die Kosten- und Energieeffizienz, da jeweils die effizientesten Anlagen für den Redispatch-Einsatz ausgewählt werden. Durch den steigenden Austausch und größere Zusammenarbeit wird für alle Beteiligten eine höhere Effizienz erreicht.

4.2.5 Rechenzentren in Windkraftanlagen: WestfalenWIND IT GmbH & GREEN IT GmbH

Interviewpartner

- Dr. Fiete Dubberke (Geschäftsführer, WestfalenWIND IT GmbH)
- Christian Hoffmeister (IT-Leiter, GREEN IT Das Systemhaus GmbH)

WindCORES und GREEN IT Cloud

Die *WestfalenWIND IT GmbH* mit Sitz in Paderborn und acht Mitarbeitern ist ein Tochterunternehmen des Windparkbetreibers *WestfalenWIND GmbH* und spezialisiert auf IT-Infrastruktur- sowie IT-Dienstleistungsangebote. Die *GREEN IT - Das Systemhaus GmbH* ist ein Systemhaus und IT-Dienstleister mit Sitz in Dortmund. Mit 150 Mitarbeitern setzte sie 2019 40 Mio. Euro um.

Rechenzentren stellen für die zunehmende Nutzung digitaler Technologien wie Cloud-Technologien eine notwendige Infrastrukturkomponente dar. Aufgrund des zunehmenden Energiebedarfs unterliegen Rechenzentren allerdings auch den allgemeinen Forderungen von Politik und Gesellschaft nach mehr Nachhaltigkeit und Energieeffizienz. Mit *WINDCORES* hat die *WestfalenWIND IT* hierfür ein energieeffizientes Infrastructure-as-a-Service-Konzept entwickelt, das auf den Windenergieanlagentyp der Firma Enercon basiert. Ein Kunde ist die *GREEN IT*, die ihre eigene energieeffiziente Hardware benutzt, und virtuelle Server in Form der *GREEN IT Cloud* anbietet.

Welche sind die wesentlichen internen und externen Herausforderungen sowie Treiber für das Projekt?

Stromnetzüberlastungen in Deutschland führen immer wieder zu Abregelungen von Windkraftanlagen. Um das Potenzial der Windenergieanlagen dennoch voll auszuschöpfen, möchte die *WestfalenWIND* Energieverbraucher direkt am Erzeugungsort integrieren. Insbesondere in den letzten Jahren hat sich aus strategischen, marketingbezogenen und ökonomischen Gründen das Interesse an ökologischen IT-Lösungen kundenseitig stark erhöht. Darüber hinaus hat sich ebenfalls ein technologischer Wandel bei Rechenzentren bzw. Servern ergeben. Hatten früher viele Unternehmen eigene physische Server, werden diese heutzutage oftmals in Rechenzentren virtualisiert und aggregiert.

Welche Herausforderungen traten bei der Entwicklung und Etablierung auf?

Trotz großen Interesses vieler Kunden an grünen IT-Lösungen, herrscht dennoch eine große Grundskepsis beispielsweise bezüglich Ausfall- und Datensicherheit. Ebenfalls mussten Kunden häufig auf den aktuellen

Wissensstand von Infrastrukturen und Schutzmaßnahmen für moderne Rechenzentren gebracht werden. Eine andere praktische Herausforderung war die Installation einer adäquaten Internetanbindung in der Windenergieanlage.

Aus welchen Komponenten setzt sich die Lösungsarchitektur zusammen?

Die *WindCORES*-Server sind in den Windenergieanlagen von *WestfalenWIND* installiert. In dem dort verfügbaren Platz werden sogenannte Racks, physische Serverschränke, je nach Angebot mit oder ohne Hardware aufgestellt. Bei den Hardwarekomponenten seitens der *WestfalenWIND IT* handelt es sich um Second-Life-Hardware, im Falle der *GREEN IT Cloud* um energieeffiziente Fujitsu-Hardware. Die unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) des Rechenzentrums wird primär durch den direkten Anschluss an den Wechselrichterschrank der Windenergieanlage realisiert sowie alternativ durch zwei voneinander unabhängige Netze gesichert. Eine Glasfaseranbindung garantiert eine schnelle und sichere Internetanbindung für das Rechenzentrum. Ab Ende 2020 ermöglicht der sogenannte DE-CIX-Anschluss zudem die Nutzung des Internet-Knotens DE-CIX in Frankfurt mit dem größten Datendurchsatz der Welt. Die eigentlich energieintensive Kühlung des Rechenzentrums wird über ein Freiluftkühlsystem realisiert, das an besonders heißen Tagen durch ein Kühlaggregat ergänzt wird.

Inwiefern hat sich das Projekt auf die Energieeffizienz und das Unternehmen ausgewirkt?

Durch *WindCORES* müssen keine zusätzlichen Flächen für neue Rechenzentren erschlossen werden. Aufgrund der vorhandenen Windparkinfrastruktur kann als redundante Stromversorgung auf Dieselaggregate verzichtet werden. Windenergie, die zum Teil aberegelt würde, wird kostengünstig zum Betrieb des Rechenzentrums genutzt. Durch die moderne Auslegung der *WindCORES*-Architektur kann eine Power Usage Effectiveness (PUE) von kleiner 1,3 erreicht werden. Konventionelle und größere Rechenzentren (Hyperscaler) haben für gewöhnlich, wegen längerer Ramp-up-Phasen in der Auslastung, einen PUE von 2,0 oder größer. Aufgrund der erfolgreichen Umsetzung von *WindCORES* bzw. der *GREEN IT Cloud* sind die bestehenden Racks fast vollständig ausgelastet, sodass ein Ausbau der Kapazität geplant ist.

4.3 Fazit zu den Fallstudien

Auf Basis der Fallstudien lassen sich übergeordnete Erfolgsprinzipien bei der Nutzung digitaler Technologien unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz ableiten. Im Folgenden werden die wichtigsten, übergreifenden Erfolgsprinzipien zur Steigerung der Energieeffizienz durch digitale Technologien dargelegt.

Ökologische Forderungen ökonomisch übersetzen

Die steigenden ökologischen Anforderungen von Gesellschaft und Politik üben einen zunehmenden Veränderungsdruck für nachhaltigeres Handeln von Unternehmen aus. Die für den Wettbewerbserfolg ausschlaggebenden ökonomischen Aspekte wirtschaftlichen Handelns dominieren allerdings für Unternehmen marktseitig weiterhin. Unternehmen befinden sich damit in einem Spannungsfeld, die ökologischen Anforderungen auch ökonomisch zu übersetzen und Synergien zwischen diesen aktiv zu nutzen. Die aktuell beginnende ökologische Transformation der Unternehmen ist nur eine Frage der Zeit, da neue Rahmenbedingungen diese von Unternehmen einfordern. Die Steigerung der Energieeffizienz ist dabei eine

gesetzliche Anforderung, die auch mit Kosteneinsparungen für das Unternehmen einhergeht. Die Entwicklungen und Umsetzungen geeigneter Maßnahmen dafür sind aufgrund der Kosteneinsparungen und finanziellen Anreize nicht nur im Interesse eines einzelnen Unternehmens, sondern im Interesse der gesamten Branche und der Kunden. So liegt für Unternehmen das Potenzial darin, mit geeigneten Leistungen wie Produkten, digitalen Dienstleistungen und IT-Systemen das Leistungsportfolio zu erweitern und die Wettbewerbsposition zu stärken. Neue Geschäftsmodelle für diese Leistungen stellen für Unternehmen weiterhin die Möglichkeit dar, das ökologische Potenzial der neu erschlossenen Kundengruppen ökonomisch nutzbar zu machen.

IT-Systeme integrieren

Als Treiber für die Steigerung der Energieeffizienz mit IT gelten integrierte IT-Systeme, die eine gemeinsame Datengrundlage zur Planung und Steuerung von Wertschöpfungsprozessen ermöglichen. Dies bedingt, dass nicht nur die internen Wertschöpfungsprozesse im Unternehmen digital durchgängig integriert sind, sondern entlang der Wertschöpfungskette ebenfalls die von Kunden, Lieferanten und Partnern. Da die IT-Landschaft von Unternehmen heutzutage allerdings meist von einer hohen IT-Komplexität aus einem nach innen gerichteten Fokus sowie historisch gewachsenen Prozessen und IT-Systemen geprägt ist, bedarf es darauf aufbauender Lösungen. Plattformlösungen haben sich hierbei in der Praxis durchgesetzt, die sowohl mit standardisierten Schnittstellen vielfältige Datenquellen von Maschinen und IT-Systemen integrieren als auch die notwendigen Analysefunktionalitäten bereitstellen. Ausgewählte Informationen und Daten über Auftragsstatus, Maschinen, Kunden u. v. m. werden miteinander verknüpft und den Beteiligten digital bereitgestellt. Hieraus ergibt sich eine höhere Agilität, um auf Veränderungen schneller mit den geeigneten Maßnahmen auch automatisch zu reagieren, die Verschwendungen wie Mehrarbeit, Wartezeiten und falsche oder unnötige Prozesse und damit den Energieeinsatz minimieren.

Virtualisierung von Assets

Der zunehmende Einsatz digitaler Technologien und Trends zur Vernetzung von Maschinen, Produkten und Prozessen bietet für Unternehmen das Potenzial, bisher analoge Tätigkeiten in kontinuierliche Datenströme in Form digitaler Abbilder zu übersetzen. Abläufe und Zustände lassen sich durch KPIs (*Key Performance Indicator*) echtzeitnah verfolgen und schaffen eine neue, datenbasierte Transparenz auf unterschiedlichen Unternehmensebenen. Die darauf basierenden Prognosen, wie zur Energieeffizienz, ermöglichen es weiterhin Optimierungen in der Planung und Steuerung anhand der digitalen Abbilder zu identifizieren und in der realen Umgebung umzusetzen. Die Basis dessen bilden oftmals digitale Technologien zur Vernetzung und Datenverarbeitung wie beispielsweise maschinelles Lernen, durch das bisher unbekannte Wirkungszusammenhänge in Datenmustern transparent werden. Bei der Virtualisierung und Vernetzung von Assets sind allerdings auch die Auswirkungen von Rebound-Effekten zu beachten. So besteht die Möglichkeit, dass sich die Energieeffizienzgewinne durch den vermehrten Einsatz (energie-) effizienterer Systeme kannibalisieren. Für eine effektive Steigerung der Energieeffizienz sind daher die Betrachtungsgrenzen für Unternehmen weit genug zu wählen, um auch angrenzende Handlungsfelder wie die Energieeffizienz der IT-Infrastruktur mitzugestalten.

5. Zusammenfassung

Im Rahmen der Schwerpunktstudie wurde untersucht, inwieweit die Potenziale von digitalen Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz in der deutschen Wirtschaft bereits ausgeschöpft und die möglichen negativen Effekte schon heute durch gezielte Maßnahmen eingedämmt werden. Die Teilstudien der vorliegenden Schwerpunktstudie geben aufschlussreiche Einsichten zum aktuellen Stand der Forschung und zum Einsatz digitaler Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz der Unternehmen in der Informationswirtschaft und im Verarbeitenden Gewerbe. Darüber hinaus zeigt die Analyse von innovativen Projekten im Bereich der Nutzung digitaler Technologien zur Optimierung der Energiebilanz Ansatzpunkte zur erfolgreichen Umsetzung in der Praxis. Im Folgenden werden auf Basis der relevanten Ergebnisse potenzielle Handlungsfelder für die Politik und die Wirtschaft identifiziert.

Verbesserung der Erfassung, Integration, Verarbeitung und dem Schutz von Energiedaten

Sowohl in der Forschung als auch in der Praxis zeigt sich, dass die Datenverfügbarkeit und -verarbeitung eine zentrale Hürde darstellt, um die Potenziale digitaler Technologien im Energiebereich realisieren zu können. Somit ist die Verbesserung der Erfassung, Integration, Verarbeitung und des Schutzes von Energiedaten ein zentrales Handlungsfeld und elementare Voraussetzung für die erfolgreiche Planung potenzieller Maßnahmen und deren Evaluierung im Laufe der Umsetzung, sowohl für die Politik als auch Unternehmen. Denn nur eine fundierte Datenbasis erlaubt die zielgenaue Quantifizierung der Einzel- und Gesamteffekte digitaler Technologien auf die Energiebilanz. Darüber hinaus ermöglicht eine umfassende Erfassung der relevanten Daten eine genauere Prognose sowie ein besseres Verständnis der Wirkungskanäle, über welche sich digitale Technologien auf die Energiebilanz auswirken. Zentrale Stellhebel für Politik und Wirtschaft sind die Schaffung einheitlicher Standards und Schnittstellen zur Datenerfassung und -verarbeitung entlang der Wertschöpfungskette sowie die Bearbeitung datenschutzrechtlicher Fragestellungen. Obwohl es in diesen Bereichen bereits Weichenstellungen gegeben hat, bleiben die Aspekte Datenverfügbarkeit und -sicherheit zentrale Herausforderungen und benötigen weitere Anstrengungen. Auch eine konsequente Förderung von Innovationen und Start-ups, die innovative Ansätze zur Aggregation und Verarbeitung von Energiedaten entwickeln, ist von hoher Bedeutung.

Abbau von Informationsdefiziten und Förderung der Akzeptanz

Aufgrund der geringen Verbreitung von gezielten Maßnahmen im Bereich der Energieeffizienz und des Einsatzes digitaler Technologien zur Verbesserung der Energiebilanz ist es wichtig, die Informationslage zu den Möglichkeiten, die digitale Technologien hier bieten, aber auch deren Auswirkungen auf den Energieverbrauch, zu verbessern. Denn für eine breitere Durchdringung von innovativen Ansätzen zur Steigerung der Energieeffizienz müssen Unternehmen sich zunächst mit diesen Möglichkeiten auseinandersetzen und auch ein Bewusstsein für das ökonomische Potenzial der Maßnahmen entwickeln. Dafür ist ein Verständnis der komplexen Zusammenhänge und gegenläufigen Effekte der Digitalisierung auf die Energieeffizienz wichtig. Die Unternehmensbefragung zeigt weiterhin, dass insbesondere kleine und mittelgroße Unternehmen bei der Durchsetzung von Maßnahmen zur Digitalisierung und Steigerung der Energieeffizienz hinterherhinken. Aus diesem Grund sollte seitens der Politik ein besonderes Augenmerk auf die Barrieren und Herausforderungen kleiner und mittlerer Unternehmen gelegt werden. Dies beinhaltet auch

die Verbesserung der Informationslage auf der Ebene der Beschäftigten und ganz konkret der Förderung von Weiterbildungsmaßnahmen im Bereich der digitalen Kompetenzen. Zum einen sind digitale Kompetenzen der Beschäftigten eine zentrale Voraussetzung für den Einsatz und die Weiterentwicklung digitaler Technologien im Bereich der Energieeffizienz. Zum anderen sind Maßnahmen im Bereich der Weiterbildung auch im Kontext möglicher Auswirkungen der digitalen Transformation auf den Energiesektor relevant, z. B. wenn Berufsfelder sich durch digitale Technologien stark verändern oder obsolet werden. Zudem sollten Formate geschaffen werden, die einen aktiven Austausch von Praxis, Forschung und Politik zu Erkenntnissen im Bereich der Energieeffizienz durch Digitalisierung und der energieeffizienten Nutzung digitaler Technologien fördern. Neben der Verbesserung der Informationslage sind auch die Stärkung des Vertrauens in und die Akzeptanz von digitalen Technologien seitens der Unternehmen und der Endnutzer essentiell. Nur wenn dieses Vertrauen besteht, insbesondere in Bezug auf Datensicherheit, werden diese Technologien auch adaptiert und konsequent genutzt, so dass sich Effizienzgewinne realisieren lassen.

Anreize durch gesetzliche Zielvorgaben

Im Rahmen der Schwerpunktstudie zeigt sich zudem, dass gesetzliche Zielvorgaben Anreize für Unternehmen setzen, neue Lösungsansätze zu finden und künftig vermehrt in energieeffizienzsteigernde Maßnahmen zu investieren. Ein verringerter Energieverbrauch erlaubt es dann frei werdende Mittel für andere Zwecke, wie etwa Investitionen in Bildung oder Forschung, zu nutzen. Auch durch die Vorgabe von geeigneten Zielen, etwa Richtwerte zu kWh/Gigabyte oder GigaFlops/Watt, kann die Politik eine frühzeitige, technologieoffene Forschung an möglichen Zukunftstechnologien fördern, um künftig Effizienzgewinne zu erzielen. Unternehmen sollten sich wiederum die ökonomischen Potenziale dieser ökologischen Zielvorgaben verdeutlichen. So können Forderungen zur Steigerung der Energieeffizienz langfristig mit Kosteneinsparungen für Unternehmen einhergehen. Zudem können Unternehmen mit neuartigen Produkten und Geschäftsmodellen weitere Kundengruppen erschließen und ökonomisch nutzbar machen.

6. Anhang

Informationen zur Unternehmensbefragung

Die vierteljährliche ZEW-Konjunkturumfrage in der Informationswirtschaft wird vom ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung seit Mitte 2011 durchgeführt. Dazu werden jeweils im letzten Quartalsmonat Unternehmen mit mindestens fünf Beschäftigten aus der Informationswirtschaft in Deutschland schriftlich kontaktiert. Regelmäßig nehmen etwa 1.000 Unternehmen an der Befragung teil. Jede Umfragewelle behandelt zusätzlich ein aktuelles IKT-Schwerpunktthema; im zweiten Quartal 2020 etwa die Fragen zum Thema Energieeffizienz und Digitalisierung.

Die Informationswirtschaft gliedert sich in die folgenden neun Branchen: (1) IKT-Hardware, (2) IKT-Dienstleister, (3) Medien, (4) Rechts- und Steuerberatung, Wirtschaftsprüfung, (5) Public-Relations- und Unternehmensberatung, (6) Architektur- und Ingenieurbüros, technische, physikalische und chemische Untersuchung, (7) Forschung und Entwicklung, (8) Werbung und Marktforschung, (9) sonstige freiberufliche, wissenschaftliche und technische Tätigkeiten. Der Bereich IKT-Hardware und IKT-Dienstleister bilden zusammen die IKT-Branche. Die Branchen (4) bis (9) umfassen die wissensintensiven Dienstleister.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die ZEW Konjunkturumfrage Informationswirtschaft um die Branchen des Verarbeitenden Gewerbes ergänzt (Abschnitt C nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008). Die Studie untergliedert die Branchen des Verarbeitenden Gewerbes nach den Subbranchen Chemie und Pharma, Maschinenbau, Fahrzeugbau sowie Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der für die Hochrechnungen verwendeten Branchen und Subbranchen nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008.

Die Umfrage wurde im Juni 2020 durch eine kombinierte schriftliche und internetgestützte Befragung durchgeführt. Die in dieser Studie hochgerechneten Ergebnisse basieren auf insgesamt 1.726 verwertbaren Antworten.

Tabelle 1: Branchenabgrenzung Informationswirtschaft und Verarbeitendes Gewerbe nach der Klassifikation der Wirtschaftszweige (Ausgabe 2008)

Branchen und Subbranchen		WZ 2008	
Informationswirtschaft	IKT-Branche	IKT-Hardware	26.1-26.4, 26.8
		IKT-Dienstleister	58.2, 61, 62, 63.1
	Mediendienstleister		58.1, 59, 60, 63.9
	Wissensintensive Dienstleister	Rechts- und Steuerberatung, Wirtschaftsprüfung	69
		Public-Relations- und Unternehmensberatung	70.2
		Architektur- und Ingenieurbüros, technische, physikalische und chemische Untersuchung	71
		Forschung und Entwicklung	72
		Werbung und Marktforschung	73
		Sonstige freiberufliche, wissenschaftliche und technische Tätigkeiten	74
	Verarbeitendes Gewerbe	Chemie und Pharma	20, 21
Maschinenbau		28	
Fahrzeugbau		29, 30	
Sonstiges Verarbeitendes Gewerbe		10-19, 22-25, 26.5-26.7, 27, 31-33	

Quelle: Statistisches Bundesamt 2008.

Um die Repräsentativität der Analysen zu gewährleisten, rechnet das ZEW die Antworten der Umfrageteilnehmer auf die Anzahl aller Unternehmen der betrachteten Branchen hoch. Die Hochrechnungen für den Wirtschaftszweig Informationswirtschaft insgesamt und die Teilbereiche IKT-Branche und wissensintensive Dienstleister werden nach Branchen und drei Größenklassen (5-19, 20-99, 100 und mehr Beschäftigte) durchgeführt. Die Mediendienstleister werden nur nach Größenklassen hochgerechnet. Die Hochrechnung für das Verarbeitende Gewerbe erfolgt nach den vier Subbranchen und den oben beschriebenen drei Größenklassen. Die Angaben zu Unternehmens-, Beschäftigungs- und Umsatzzahlen der Grundgesamtheit sind einer Sonderauswertung des Unternehmensregisters des Statistischen Bundesamtes entnommen, die sich momentan auf das Referenzjahr 2016 bezieht.

Glossar

Automatisierung: Die Einrichtung und Durchführung von Arbeits- und Produktionsprozessen in einer Weise, dass der Mensch für ihren Ablauf nicht unmittelbar tätig zu werden braucht, sondern alle Prozesse (einschließlich ihrer Steuerung, Regelung und teilweise auch Kontrolle) selbsttätig erfolgen. (Bundeszentrale für politische Bildung 2016).

Big Data Analytics: Big Data Analytics bezeichnet die Nutzung und großer Datenmengen zur gezielten, effizienten Analyse unternehmerischer Fragestellungen (BMW i 2020e).

Blockchain: Die Blockchain-Technologie ermöglicht es, Werte, Rechte und Schuldverhältnisse an materiellen und immateriellen Gütern durch Token zu repräsentieren und deren Handel- und Austauschbarkeit zu vereinfachen (Bundesministerium der Finanzen 2020).

Building Information Modeling (BIM): Building Information Modeling beschreibt die Methode der ganzheitlichen, digitalen und vernetzten Planung von Bauprojekten mithilfe von Software. Alle relevanten Bauwerksdaten werden dabei digital erfasst (BMW i 2018a).

Cloud Computing: Cloud Computing bezeichnet einen Ansatz für IT-Lösungen, in dem die Computeranwender die Software und die dazu notwendige Hardware nicht mehr selbst betreiben, sondern hierzu auf einen Dienstleister zurückgreifen. Anwendungen und Daten befinden sich dabei nicht mehr auf dem lokalen Rechner. Sie werden über ein leistungsfähiges Netzwerk von einer Anzahl von entfernten Systemen bereitgestellt (Stobbe et al. 2015).

Cloud-Rechenzentren: Cloud-Rechenzentren sind der Verbund mehrerer, kollaborierender Rechenzentren (BMW i 2014a).

Crypto-Mining: Crypto-Mining bezeichnet den Prozess, bei dem eine über Kryptowährungen abgewickelte Transaktion mithilfe der Blockchain-Technologie in Blöcken zusammengefasst wird (Bundesministerium der Finanzen 2020).

Cybersicherheit: Die Cybersicherheit befasst sich mit der Gewährleistung der sicheren Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien durch die Bereitstellung einer wirksamen und nachhaltigen Cyber-Sicherheitsarchitektur (BMW i 2020c).

Dematerialisierung: Dematerialisierung bezeichnet die Neugestaltung von Produkten und Dienstleistungen unter der Betrachtung des Material- und Energieaufwands. Ziel ist es, die Stoffströme möglichst stark zu reduzieren (BMW i 2014b).

Digitalisierung: Digitalisierung bezeichnet den Wandel von der Nutzung analoger hin zu digitalen Technologien, der die Art der Informationsbeschaffung, der Kommunikation und des Konsums verändert. Dieser Prozess wird ökonomisch von der Entstehung neuer Geschäftsmodelle sowie dem technologischen Wandel bestehender Strukturen in der Industrie begleitet (BMW i 2020a).

Energieeffizienz: Energieeffizienz ist das Maß für den Energieaufwand zur Erreichung eines festgelegten Nutzens. Die Energieeffizienz ist umso höher, je geringer die Energieverluste für das Erreichen des jeweiligen Nutzens sind (BMU 2020b).

Energieintensität: Als Energieintensität wird Energieverbrauch pro Recheninstanz bezeichnet.

Green IT: Unter Green IT sind umweltverträgliche Produkte und Dienstleistungen der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sowie der Nutzung von IKT zur Umweltschonung zu verstehen. Dies umfasst die Berücksichtigung des gesamten Lebenswegs von IKT-Produkten sowie deren Auswirkungen auf das Klima und andere Umweltwirkungen, wie zum Beispiel die Inanspruchnahme kritischer Rohstoffe (BMU 2020a).

Hyperscale-Rechenzentren: Hyperscale-Rechenzentren sind Systeme, die durch Cloud-Computing entstehen, indem sie durch eine Vielzahl von Servern in einem Netzwerk verbunden sind. Die Rechenzentren bilden die Basis für Big Data (Datacenter-Insider 2020).

Industrie 4.0: In der Industrie 4.0 werden industrielle Produktionsprozesse mittels moderner Informations- und Kommunikationstechnik verzahnt. Intelligente, digital vernetzte Systeme und Produktionsprozesse stellen dabei die technischen Grundlagen bereit (Fleischle und Kaniut 2019).

Informations- und Kommunikationstechnologie: Die Informations- und Kommunikationstechnologie umfasst alle technischen Anwendungen, die der Handhabung von Informationen und Unterstützung von Kommunikation sowie damit verbundenen Dienstleistungen dienen. Dazu zählen beispielsweise Fernsehen, Smartphones, Hardware, Software für Computer und Netzwerke (Eurostat 2020).

Internet of Things: Mit dem Internet of Things (Internet der Dinge) werden Gegenstände durch entsprechende Programmierung, die Verwendung von Sensoren sowie weitere Informations- und Kommunikationstechnologien digital vernetzt. Beispielsweise werden Alltagsgegenstände im Haushalt durch Software gesteuert und über das Internet untereinander in Verbindung gesetzt (BMWi 2020b).

Kryptowährungen: Kryptowährungen wie zum Beispiel Bitcoin sind dezentrale, digitale Werteinheiten, die zur Abwicklung von Online-Bezahlungen entwickelt wurden, ohne dass dabei ein vertrauenswürdiger Dritter benötigt wird (Bundesministerium der Finanzen 2020).

Künstliche Intelligenz: Künstliche Intelligenz bezeichnet den Ansatz, Prozesse, die menschliches Lernen und Denken involvieren, auf Computer zu übertragen. Das Ziel ist es, dass der Computer anschließend eigenständig unter der Nutzung der künstlichen Intelligenz Probleme bearbeiten kann (BMWi 2020d).

Mobile Computing: Beim Mobile Computing ist das vom Menschen verwendete Endgerät zum Computing mobil. Darüber hinaus bezeichnet der Begriff des Mobile Computing auch Softwarelösungen, die mobiler Natur sind (IT-Business 2017).

Redispatch: Ein Redispatch bezeichnet eine Maßnahme zur Vermeidung und Behebung von Netzengpässen. Kraftwerke, die sich vor dem Netzengpass befinden, werden dabei heruntergefahren. Kraftwerke, die sich hinter dem Netzengpass befinden, werden parallel dazu hochgefahren, um den erhöhten Strombedarf zu decken (BMWi 2018b).

Robotik: Robotik als Teilbereich der Ingenieur- und Naturwissenschaften befasst sich mit dem Entwurf, der Konstruktion, dem Betrieb und der Nutzung von Robotern sowie Computersystemen zu deren Steuerung, sensorischer Rückkopplung und Informationsverarbeitung (Infineon 2018).

Smart Building: Smart Building Technologien bezeichnen Automatisierungstechniken zur Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor. Diese Technologien ermöglichen ein digitales Energiemanagement für Gebäudekomplexe, das zu einer Reduktion des Energieverbrauchs maßgeblich beiträgt (Fleischle und Kaniut 2019).

Social Networks: Social Networks (Soziale Netzwerke) sind Onlinedienste, die die Möglichkeit zum Informationsaustausch sowie der Kommunikation von Meinungen und Erfahrungen auf digitalen Plattformen bieten (Gruenderszene 2020).

Sustainable Development Goals (SDGs): Die Sustainable Development Goals wurden 2015 von den Vereinten Nationen entwickelt und richten sich an die Regierungen weltweit, aber auch die Zivilgesellschaft, die Privatwirtschaft und die Wissenschaft. Ziel ist es, weltweit ein menschenwürdiges Leben zu ermöglichen und gleichsam die natürlichen Lebensgrundlagen dauerhaft bewahren. Dies umfasst ökonomische, ökologische und soziale Aspekte (Die Bundesregierung 2016).

7. Literatur

AG Energiebilanzen (2019), Anwendungsbilanzen zur Energiebilanz Deutschland: Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungszwecken.

Arms, H. und V. Lang (2018), Digital@EVU: Wo steht die deutsche Energiewirtschaft. Online verfügbar unter: https://www.bdew.de/media/documents/201802_Paper-Digital-EVU.pdf [28.10.2020].

Barckhausen, A., J. Becker, P. Malodobry, N. Harfst und U. Nissen (2020), Energiemanagementsysteme in der Praxis: Vom Energieaudit zum Managementsystem nach ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen. Online verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/energiemanagementsysteme-in-praxis> [28.10.2020].

BMU (2020a), Green IT. Online verfügbar unter: <https://www.bmu.de/themen/wirtschaft-produkte-ressourcen-tourismus/produkte-und-konsum/produktbereiche/green-it/> [28.10.2020].

BMU (2020b), Was bedeutet "Energieeffizienz"? Online verfügbar unter: <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/energieeffizienz/was-bedeutet-energieeffizienz/> [28.10.2020].

BMWi (2014a), Energieeffiziente IKT in der Praxis. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/it2green-energieeffiziente-ikt-in-der-praxis.pdf?__blob=publicationFile&v=9 [28.10.2020].

BMWi (2014b), Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Digitale-Welt/zukunft-der-arbeit-in-industrie-4-0.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [28.10.2020].

BMWi (2015), Energieeffizienzstrategie Gebäude. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/energieeffizienzstrategie-gebäude-kurzfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=15,%20S.%2038 [28.10.2020].

BMWi (2016), Grünbuch Energieeffizienz: Diskussionspapier des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/gruenbuch-energieeffizienz-august-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=15 [16.04.2020].

BMWi (2018a), Rolle der Digitalisierung im Gebäudebereich. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/P-R/rolle-der-digitalisierung-im-gebäudebereich-anhang-i.pdf?__blob=publicationFile&v=6 [28.10.2020].

BMWi (2018b), Was ist eigentlich ein "Netzengpass"? Online verfügbar unter: <http://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2018/03/Meldung/direkt-erklärt.html> [29.10.2020].

BMWi (2019), Energieeffizienzstrategie 2050. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienzstrategie-2050.pdf?__blob=publicationFile&v=12 [29.10.2020].

BMWi (2020a), Den digitalen Wandel gestalten. Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/digitalisierung.html> [28.10.2020].

BMWi (2020b), Internet der Dinge. Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/internet-der-dinge.html> [28.10.2020].

BMWi (2020c), IT-Sicherheit. Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/it-sicherheit.html> [28.10.2020].

BMWi (2020d), Künstliche Intelligenz. Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Technologie/kuenstliche-intelligenz.html> [28.10.2020].

BMWi (2020e), Smart Data - Innovationen aus Daten. Online verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/smart-data.html> [28.10.2020].

Bründlinger, T., J. König, O. Frank, D. Gründig, C. Jugel, P. Kraft, O. Krieger, S. Mischinger, P. Prein, H. Seidl, S. Siegemund, C. Stolte, M. Teichmann, J. Willke und M. Wolke (2018), Integrierte Energiewende: Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9261_dena-Leitstudie_Integrierte_Energiewende_lang.pdf [20.04.2020].

Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2020), Das Smart-Meter-Gateway: Cyber-Sicherheit für die Digitalisierung der Energiewirtschaft. Online verfügbar unter: <https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/Broschueren/Smart-Meter-Gateway.pdf> [28.10.2020].

Bundesministerium der Finanzen (2020), Online-Konsultation zur Erarbeitung der Blockchain-Strategie der Bundesregierung. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/B/blockchain-strategie.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [28.10.2020].

Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (2020), Verbreitung und Auswirkungen von mobiler Arbeit und Homeoffice. Online verfügbar unter: <https://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/PDF-Publikationen/Forschungsberichte/fb-549-pdf-verbreitung-auswirkung-mobiles-arbeiten.pdf> [28.10.2020].

Bundeszentrale für politische Bildung (2016), Automatisierung. Online verfügbar unter: <https://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/lexikon-der-wirtschaft/18743/automatisierung> [28.10.2020].

Court, V. und S. Sorrell (2020), Digitalisation of goods: A systematic review of the determinants and magnitude of the impacts on energy consumption, *Environmental Research Letters* 15(4), S. 43001.

Datacenter-Insider (2020), Was ist ein Hyperscaler? Online verfügbar unter: <https://www.datacenter-insider.de/was-ist-ein-hyperscaler-a-693469/> [28.10.2020].

Deichmann, U. und F. Zhang (2013), Growing green: The economic benefits of climate action, *The World Bank* 76821.

Deutsche Energie-Agentur (2012), Steigerung der Energieeffizienz mit Hilfe von Energieeffizienz-Verpflichtungssystemen. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9099_Studie_Energieeffizienz-Verpflichtungssysteme_EnEffVsys.pdf [28.10.2020].

Deutscher Bundestag (2018), Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie: Aktualisierung 2018, *Drucksache* 19/5700. Online verfügbar unter: <http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/057/1905700.pdf> [28.10.2020].

Deutscher Bundestag (2019), Energieeffizienzstrategie 2050 der Bundesregierung: Unterrichtung durch die Bundesregierung, *Drucksache* 19/16065.

Die Bundesregierung (2016), Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Online verfügbar unter: <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975292/730844/3d30c6c2875a9a08d364620ab7916af6/deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-neuaufgabe-2016-download-bpa-data.pdf> [28.10.2020].

- Europäische Kommission (2019), Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Europäischen Rat, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen: Der europäische Grüne Deal. Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/sites/info/files/european-green-deal-communication_de.pdf [11.05.2020].
- European Commission (2020), Stepping up Europe's 2030 climate ambition. Online verfügbar unter: https://ec.europa.eu/knowledge4policy/publication/communication-com2020562-stepping-europe%E2%80%99s-2030-climate-ambition-investing-climate_en [02.11.2020].
- Eurostat (2020), Glossar: Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Online verfügbar unter: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Information_and_communication_technology_\(ICT\)/de](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Information_and_communication_technology_(ICT)/de) [28.10.2020].
- Fleischle, F. und M. Kaniut (2019), Digitalisierung der Energiewende. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/digitalisierung-der-energiewende-thema-1.pdf?__blob=publicationFile&v=6 [28.10.2020].
- Galvin, R. (2015), The ICT/electronics question: Structural change and the rebound effect, *Ecological Economics* 120, S. 23–31.
- Giehl, J., H. Göcke, B. Grosse, J. Kochems und J. Müller-Kirchenbauer (2019), Survey and classification of business models for the energy transformation, *Enerday 2019 Dresden*. Online verfügbar unter: <https://tu-dresden.de/bu/wirtschaft/bwl/ee2/ressourcen/dateien/enerday-2019/Paper-Giehl.pdf?lang=de> [14.04.2020].
- Gruenderszene (2020), Social Network. Online verfügbar unter: <https://www.gruenderszene.de/lexikon/begriffe/social-network> [28.10.2020].
- Hilty, L. und B. Aebischer (2015), ICT for sustainability: An emerging research field, *ICT innovations for Sustainability*(Springer), S. 3–36.
- Hintemann, R. und S. Hinterholzer (2019), Energy consumption of data centers worldwide: How will the Internet become green? Online verfügbar unter: http://ceur-ws.org/Vol-2382/ICT4S2019_paper_16.pdf [20.04.2020].
- Infineon (2018), Grundlagen der Robotik. Online verfügbar unter: <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/grundlagen-robotics/> [28.10.2020].
- International Energy Agency (2017), Digitalisation & Energy. Online verfügbar unter: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf> [28.10.2020].
- International Energy Agency (2019), Energy efficiency and digitalisation: Energy efficiency is changing, with new digital technologies enabling greater control, optimisation and analytics. Online verfügbar unter: <https://www.iea.org/articles/energy-efficiency-and-digitalisation> [28.10.2020].
- IT-Business (2017), Was ist Mobile Computing? Online verfügbar unter: <https://www.it-business.de/was-ist-mobile-computing-a-634341/> [04.11.2020].
- IZT-Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung (2020), Arbeiten nach Corona: Warum Homeoffice gut fürs Klima ist. Online verfügbar unter: https://www.greenpeace.de/sites/www.greenpeace.de/files/publications/s03091_gp_home_office_studie_08_2020_dt_fly_fin_04.pdf [28.10.2020].
- Kander, A., P. Malanima und P. Warde (2013), *Power to the people: Energy in Europe over the last five centuries*, Princeton University Press.

- Lange, S., J. Pohl und T. Santarius (2020), Digitalization and energy consumption. Does ICT reduce energy demand?, *Ecological Economics* 176, S. 106760.
- Masanet, E., A. Shehabi, N. Lei, S. Smith und J. Koomey (2020), Recalibrating global data center energy-use estimates, *Science* 367(6481), S. 984–86.
- Perez, C. (2013), Unleashing a golden age after the financial collapse: Drawing lessons from history, *Environmental Innovation and Societal Transitions* 6, S. 9–23.
- Reetz, F. (2019), Blockchain und das Klima. Online verfügbar unter: https://www.stiftung-nv.de/sites/default/files/blockchain_und_das_klima.pdf [27.04.2020].
- Richard, P., E.-L. Limbacher und T. Engelhard (2017), Analyse der mit erhöhtem IT Einsatz verbundenen Energieverbräuche infolge der zunehmenden Digitalisierung: Status Quo und Prognosen. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9232_dena-Metastudie_Analyse_IT-Einsatz_Energieverbraeuche_Digitalisierung.pdf [28.04.2020].
- Richard, P. und L. Vogel (2017), Digitalisierung als Enabler für die Steigerung der Energieeffizienz: Eine Analyse digitaler Energiedienstleistungen sowie Handlungsempfehlungen zur verstärkten Nutzung ihrer Potenziale. Online verfügbar unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9228_dena-Analyse_Digitalisierung_Enabler_Steigerung_Energieeffizienz.pdf [16.04.2020].
- Röglinger, M. & Urbach, N. (Hrsg.). (2016). *Digitale Geschäftsmodelle im Internet der Dinge*. 9. Forum für Verbraucherrechtswissenschaft, Bayreuth.
- Statistisches Bundesamt (2008), Klassifikation der Wirtschaftszweige. Online verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/Gueter-Wirtschaftsklassifikationen/klassifikation-wz-2008.html> [02.11.2020].
- Stobbe, L., R. Hintemann, M. Proske, H. Zedel, J. Clausen und S. Beucker (2015), Entwicklung des IKT-bedingten Strombedarfs in Deutschland. Online verfügbar unter: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwicklung-des-ikt-bedingten-strombedarfs-in-deutschland-abschlussbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=3 [28.10.2020].
- Tahara, K., H. Shimizu, K. Nakazawa, H. Nakamura und K. Yamagishi (2018), Life-cycle greenhouse gas emissions of e-books vs. paper books: A Japanese case study, *Journal of Cleaner Production* 189, S. 59–66.
- Umweltbundesamt (2019a), Digitalisierung nachhaltig gestalten: Ein Impulspapier des Umweltbundesamtes. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/uba_fachbroschuere_digitalisierung_nachhaltig_gestalten_0.pdf [28.10.2020].
- Umweltbundesamt (2019b), Umweltmanagement und Digitalisierung – Praktische Ansätze zur Verbesserung der Umweltleistung. Online verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/uba-broschuere_umweltmanagement_und_digitalisierung_final_bf.pdf [28.10.2020].
- Weber, C., J. Koomey und H. Matthews (2010), The energy and climate change implications of different music delivery methods, *Journal of Industrial Ecology* 14(5), S. 754–69.
- Williams, E. (2011), Environmental effects of information and communications technologies, *Nature* 479(7373), S. 354–58.

