



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit



GreenTech made in Germany 2018

Umwelttechnik-Atlas für Deutschland

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU)
Referat G I 5 · 11055 Berlin
E-Mail: GI5@bmu.bund.de · Internet: www.bmu.de

Redaktion

BMU, Referat G I 5: Nilgün Parker, Sabine Veth

Text

Roland Berger GmbH
Dr. Torsten Henzelmann, Ralph Büchele, Dr. Patrick Andrae, Andrea Wiedemann

Gestaltung

dot.blue – communication & design

Bildnachweise

Siehe Seite 207.

Stand

März 2018

Redaktionsschluss

Dezember 2017

Download dieser Publikation

www.bmu.de/publikationen
www.greentech-made-in-germany.de

Hinweis

Diese Publikation ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.



Inhalt

Vorwort	4
1 Zusammenfassung	6
2 Klima- und Umweltschutz als weltweite Herausforderungen	14
3 Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz: Aktueller Überblick	24
4 Der globale und nationale Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz	44
5 GreenTech-Anbieter direkt: Einblicke in eine Wachstumsbranche	96
6 Neue Potenziale: Die Digitalisierung in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz	120
7 Transformation der GreenTech-Branche und klassischer Wirtschaftszweige	164
Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen	189
Literaturverzeichnis	194
Abkürzungsverzeichnis	205
Bildnachweise	207

Vorwort



Liebe Leserinnen und Leser,

Umwelttechnik und Ressourceneffizienz treiben die nachhaltige Entwicklung weltweit an. Für den Technologie- und Industriestandort Deutschland kann die Bedeutung von Umwelttechnologien gar nicht hoch genug eingeschätzt werden. Ihr Anteil am Bruttoinlandsprodukt lag 2016 bei 15 Prozent und wird – so die Prognose – bis 2025 auf 19 Prozent steigen. 1,5 Millionen Menschen sind hier bereits beschäftigt – Tendenz steigend. Weltweit prognostiziert die Unternehmensberatung Roland Berger bis 2025 ein durchschnittliches Wachstum der Umwelttechnologien von 6,9 Prozent pro Jahr.

Umwelttechnologien modernisieren unsere Wirtschaft. Sie sorgen für nachhaltigere Produkte. Der deutsche GreenTech-Markt wächst um 8,8 Prozent pro Jahr – und damit deutlich stärker als der internationale Markt. Das zeigt, wie sehr sich Wirtschaft und Gesellschaft in Deutschland bereits auf den richtigen Weg gemacht haben.

Die Umwelttechnologien liefern dabei auch Antworten auf die Frage, wie wir den Grundbedürfnissen einer wachsenden Zahl von Menschen gerecht werden können, ohne die ökologischen Grundlagen weiter zu zerstören.

Hinzu kommt, dass die Digitalisierung den GreenTech-Bereich stark verändern wird. Für viele Umweltschutzmaßnahmen schafft die Digitalisierung überhaupt erst die technischen Voraussetzungen, wie beispielsweise für die optimale Nutzung von erneuerbaren Energien.

Intelligente Vernetzungen erzielen wesentlich höhere Einspareffekte beim Ressourceneinsatz als nicht-automatisierte Prozesse. Flexible Fertigungssysteme schaffen individualisierte Produkte zu Kosten einer Serienfertigung.

Vor diesem Hintergrund lohnt es sich erst recht, industrielle Produktionen wieder zurück nach Deutschland zu holen. Einige Unternehmen machen dies schon vor. Gleichzeitig wissen wir: Digitalisierung bedeutet nicht automatisch Nachhaltigkeit. Sie bedeutet nämlich auch zusätzlichen Ressourcenverbrauch und mehr Warentransporte. Hier müssen wir Umweltbelastungen frühzeitig erkennen und vermeiden.

Damit GreenTech-Unternehmen von der digitalen Transformation profitieren, müssen sie sich neuen Spielregeln anpassen. Deshalb nimmt der neue GreenTech-Atlas zum ersten Mal die Rolle der Digitalisierung für die stark mittelständisch geprägte Branche in den Blick. Er untersucht, wie gut die GreenTech-Unternehmen in Deutschland für die digitale Transformation aufgestellt sind: Im Ergebnis lässt sich sagen, dass hier Handlungsbedarf besteht – in der Politik und der Wirtschaft.

Gleichzeitig wird der globale Wettbewerb zunehmen. Die Attraktivität des Marktes ist erkannt. Insbesondere in Schwellen- und Entwicklungsländern beobachten wir, dass sich große globale Player sehr strategisch aufstellen.

Die deutschen Anbieter sind gerüstet, grundsätzlich zumindest. Sie besitzen hohe Industrie-Kompetenz. Allerdings ist Ausruhen keine Option.

Unternehmen und Politik müssen die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen GreenTech-Branche weiter steigern. Dazu muss Deutschland seine Spezialisierung weiter ausbauen. Letztlich werden deutsche Unternehmen ihre Konkurrenzfähigkeit besonders dann verbessern, wenn soziale und ökologische Nachhaltigkeitsaspekte noch stärker zur Geltung kommen.

Eine moderne Industriegesellschaft ist das Rückgrat unserer Volkswirtschaft. Der GreenTech-Atlas zeigt, dass die „grünen Märkte“ ein erhebliches Wachstumspotenzial haben. Hier entstehen die Arbeitsplätze von morgen.

Nachhaltigkeit ist somit eine Chance, neue Wege der Wertschöpfung zu erschließen. Lassen Sie uns daran gemeinsam weiterarbeiten. Der GreenTech-Atlas 2018 ist dafür eine motivierende Lektüre.

A handwritten signature in black ink, reading 'Svenja Schulze'. The signature is fluid and cursive, with the first name 'Svenja' and the last name 'Schulze' clearly distinguishable.

Ihre Svenja Schulze,
Bundesministerin für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

1

Zusammenfassung

Neue Impulse für die GreenTech-Märkte

Weltweit wächst die Einsicht in die Notwendigkeit, engagierte Maßnahmen zum Schutz des Klimas und der Umwelt zu ergreifen. Ambitionierte ökologische Ziele lassen sich nur mithilfe der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz verwirklichen. Demnach bleibt die Nachfrage nach „grünen“ Produkten, Verfahren und Dienstleistungen auf einem hohen Niveau. Die GreenTech-Märkte setzen ihren Wachstumskurs fort – wovon deutsche Anbieter aufgrund ihrer Innovationsstärke, ihrer Systemkompetenz und ihrer Exportorientierung profitieren werden.

Nachhaltiges Wirtschaftswachstum – Zeit zu handeln

Weltweit werden Klima- und Umweltschutz als gemeinsame Herausforderungen angenommen. Im Dezember 2015 haben sich die Vertreterinnen und Vertreter von 195 Staaten und der Europäischen Union auf das **Pariser Klimaabkommen** geeinigt. Seine wesentlichen Vereinbarungen sind:

- Die Erderwärmung ist deutlich auf unter zwei Grad Celsius zu begrenzen; dabei sind Anstrengungen zu unternehmen, den Temperaturanstieg bei 1,5 Grad Celsius zu stoppen.
- Ab Mitte des 21. Jahrhunderts sollen die Netto-Treibhausgasemissionen auf null reduziert werden.
- Entwicklungsländer werden bei Maßnahmen des Klimaschutzes und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels finanziell unterstützt.
- Nationale Klimaschutzpläne sind zu beschließen und umzusetzen.

Die Allianz gegen den Klimawandel – mit Wirtschaftsverbänden, zivilgesellschaftlichen Akteuren, Städten, Regionen sowie nationalen Regierungen – und die Entschlossenheit, den Kampf gegen den Klimawandel gemeinsam anzugehen, wachsen beständig. Dies hat die 23. Vertragsstaatenkonferenz im November 2017 in

Bonn eindrucksvoll dokumentiert. Dabei besteht ein enger Zusammenhang zwischen Klimaschutz, Nachhaltigkeit und einer lebenswerten Umwelt. Umwelt- und Klimaschutz sowie der Erhalt der natürlichen Ressourcen sind daher ein integraler Bestandteil der UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, die im September 2015 in New York beim Nachhaltigkeitsgipfel der Vereinten Nationen (UN) von den teilnehmenden Staats- und Regierungschefs verabschiedet wurde. Weil sie die Lebenswirklichkeit der Menschen umfassend adressiert, wird der Agenda 2030 eine neue Qualität der internationalen Nachhaltigkeitspolitik bescheinigt.

Das **Herzstück der Agenda 2030** bilden die **17 Sustainable Development Goals (SDG)**. Die Ziele erfassen alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Soziales, Umwelt und Wirtschaft – und sollen bis 2030 erreicht werden. Nachhaltigkeit wird hier global als Chance beschrieben, neue Wege der Wertschöpfung zu erschließen. Für die deutsche Wirtschaft bedeutet dies die Aufgabe, „GreenTech“ in den nächsten Jahren zum Fundament der nationalen Wertschöpfung auszubauen.

Neue Wege der Wertschöpfung – Internationale GreenTech-Märkte auf Expansionskurs

Umweltinnovationen sind ein wesentliches Element, um die ökologischen Herausforderungen zu meistern. Unbestritten ist: Um die im Pariser Klimaschutzabkommen und in der Agenda 2030 festgelegten Ziele zu erreichen, bedarf es der Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Außerdem ist es offensichtlich, dass eine enge Wechselwirkung zwischen ordnungspolitischen und umweltpolitischen Rahmenbedingungen einerseits und Innovationen sowie der Entstehung neuer Märkte andererseits besteht.

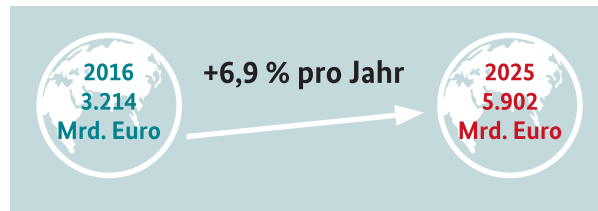
Dieser Mechanismus hält die Nachfrage nach „grünen“ Produkten, Verfahren und Dienstleistungen auf einem hohen Niveau. Die Zahlen dokumentieren dies eindrucksvoll: Das **globale Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz** hat 2016 die Marke von drei Billionen Euro überschritten und beläuft sich auf 3.214 Milliarden Euro.

Diese Summe setzt sich aus den Marktvolumina der sechs GreenTech-Leitmärkte zusammen:

- Energieeffizienz: 837 Milliarden Euro
- Nachhaltige Wasserwirtschaft: 667 Milliarden Euro
- Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie: 667 Milliarden Euro
- Rohstoff- und Materialeffizienz: 521 Milliarden Euro
- Nachhaltige Mobilität: 421 Milliarden Euro
- Kreislaufwirtschaft: 110 Milliarden Euro

Die GreenTech-Branche bleibt weltweit auf Expansionskurs: Das **globale Volumen der sechs „grünen“ Leitmärkte** wird sich **2025 voraussichtlich auf 5.902 Milliarden Euro** beziffern. Dieser Wert basiert auf der Prognose, dass sich die Querschnittsbranche zwischen 2016 und 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate (Compound Annual Growth Rate - CAGR) von 6,9 Prozent entwickelt.

Dabei präsentieren sich die einzelnen Leitmärkten unterschiedlich dynamisch: Mit einer zweistelligen jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 10,2 Prozent



kann der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität aufwarten. Ein hohes Expansionstempo zeigen auch die Rohstoff- und Materialeffizienz (8,1 Prozent) und die Kreislaufwirtschaft (7,4 Prozent).

„Top 10“-Technologielinien aus globaler Perspektive

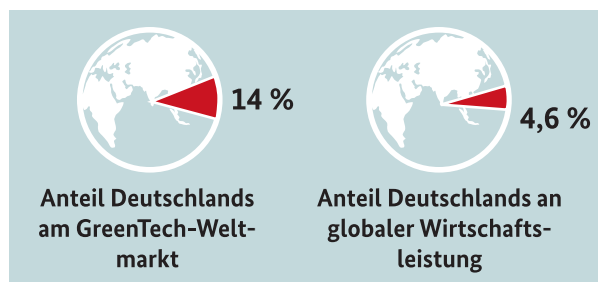
Die „Top 10“-Technologielinien wurden anhand von zwei Kriterien bestimmt: Maßgeblich war ein hoher Anteil am globalen Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz sowie eine relativ hohe jahresdurchschnittliche Wachstumsrate. Zusammen erreichten die **„Top 10“-Technologielinien ein Marktvolumen von 1.284 Milliarden Euro**; das entspricht einem Anteil von knapp 40 Prozent des weltweiten GreenTech-Marktvolumens.

Auffällig ist, dass fünf der „Top 10“-Technologielinien zum Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft gehören: Wasserverteilung, Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung, Wassergewinnung sowie Abwassersammlung und -transport. Daran zeigt sich die zunehmende Bedeutung der Wasserversorgung vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung sowie einer Verschärfung der Wasserkrise.

Nachfrage weiterhin auf hohem Niveau – „GreenTech made in Germany“ international erfolgreich

Der zunehmende weltweite Bedarf nach „grünen“ Produkten, Verfahren und Dienstleistungen ist deutschen Anbietern bereits in den letzten Jahren zugute gekommen. Besonders in nachfragestarken EU-Staaten, aber auch in den BRICS¹-Ländern hat Deutschland bei Klimaschutztechnologien bereits heute eine überdurchschnittlich starke Marktstellung. **Deutsche Unternehmen** hielten 2016 am **Weltmarkt der Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz** einen **Anteil von 14 Prozent**. Der Anteil Deutschlands an der globalen Wirtschaftsleistung bezifferte sich auf 4,6 Prozent. Setzt man diese beiden Werte

zueinander in Relation, zeigt sich die überproportional hohe Bedeutung der deutschen Umwelttechnik und Ressourceneffizienz auf den internationalen Märkten.



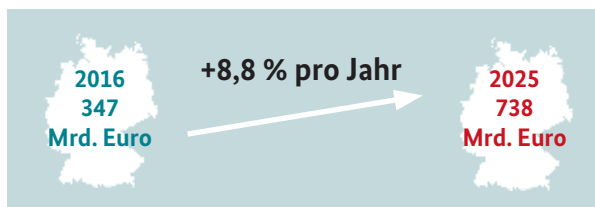
¹ Das Kürzel „BRICS“ steht für die Länder Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika.

Starke Nachfrage nach GreenTech in Deutschland zeigt die Verankerung von Ressourceneffizienz und Umwelttechnik im Heimatmarkt

Das Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland lag 2016 bei 347 Milliarden Euro und verteilt sich wie folgt auf die sechs GreenTech-Leitmärkte:

- Energieeffizienz: 83 Milliarden Euro
- Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie: 79 Milliarden Euro
- Nachhaltige Mobilität: 74 Milliarden Euro
- Rohstoff- und Materialeffizienz: 63 Milliarden Euro
- Nachhaltige Wasserwirtschaft: 28 Milliarden Euro
- Kreislaufwirtschaft: 20 Milliarden Euro

Nicht nur auf den internationalen GreenTech-Märkten ist mit einer dynamischen Entwicklung zu rechnen. Auch am Standort Deutschland wird die Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz expandieren: Zwischen 2016 und 2025 wird sich das Gesamtvolumen der heimischen „grünen“ Leitmärkte von 347 Milliarden Euro auf voraussichtlich 738 Milliarden Euro erhöhen. In diesem Zeitraum wird sich die deutsche GreenTech-Branche voraussichtlich mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 8,8 Prozent entwickeln.



In Deutschland steigt die Nachfrage nach grünen Technologien also stärker als im globalen Maßstab – hohe Umweltstandards, die Energiewende und das Bewusstsein der Unternehmen für Energie- und Rohstoffeffizienz lassen in den nächsten Jahren den Bedarf nach grünen Produkten, Verfahren und Dienstleistungen weiterhin wachsen. Die Nachfrage auf dem Heimatmarkt bietet zugleich **Chancen für die in Deutschland ansässigen GreenTech-Unternehmen**. Sie sind wesentlich näher an ihren Kunden und können neue Technologien gemeinsam mit den Anwendern auf individuelle Bedürfnisse zugeschnitten entwickeln. Die Kooperation im Heimatmarkt fördert außerdem systemische Ansätze in der GreenTech-Branche. Gerade Umwelttechnik-Anbieter aus Deutschland können durch ihre **systemische Lösungskompetenz** und das technologische Know-how sowohl große Teile des deutschen Marktvolumens für sich aktivieren als auch international erfolgreich sein.

Der Fokus auf die einzelnen Technologielinien in den Leitmärkten zeigt in der Nachhaltigen Mobilität ein hohes Expansionstempo: Beim **Ranking der „Top 10“-Technologielinien** anhand des Kriteriums „durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025“ fällt auf, dass fünf von zehn der in puncto Expansionstempo führenden Technologielinien zum **Leitmarkt Nachhaltige Mobilität** gehören. Hier zeigt sich der **Wandel des Verkehrssektors** in Richtung Umweltverträglichkeit und Klimafreundlichkeit als **Wachstumstreiber**.



Ansichten einer Wachstumsbranche: GreenTech-Unternehmen in Deutschland – starker Mittelstand

Nicht allein das expandierende Marktvolumen ist ein Indikator für die zunehmende Bedeutung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland, sondern auch der Beitrag dieser Querschnittsbranche zur Wirtschaftsleistung: Der Anteil der GreenTech-Branche am Bruttoinlandsprodukt (BIP) hat seit 2007 kontinuierlich zugenommen und bezifferte sich im Jahr 2016 auf 15 Prozent. Bis 2025, so die Erwartung, wird der Anteil der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz am deutschen BIP bei 19 Prozent liegen.

Neben diesem makroökonomischen Blick haben die Publikationen der GreenTech-Reihe den Anspruch, ein detailliertes Bild der Anbieterseite der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz am Standort Deutschland zu zeichnen. Dazu gehören sowohl Strukturdaten als auch das Einfangen von Stimmungen und Trends. Dieses Branchenportrait basiert im Wesentlichen auf der Auswertung einer web-basierten Unternehmensbefragung, die im Auftrag des damaligen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im Zeitraum Juli bis November 2016 durchgeführt wurde.

Die Auswertung bestätigt die bisherigen Strukturmerkmale: Die **Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist stark mittelständisch geprägt**: Rund 90 Prozent der in Deutschland ansässigen GreenTech-Unternehmen erwirtschaften einen Jahresumsatz von weniger als 50 Millionen Euro. Der Blick ins Detail der Umsatzverteilung offenbart, dass unter den deutschen Anbietern „grüner“ Produkte, Verfahren und Dienstleistungen Unternehmen mit einem Jahresumsatz unterhalb der 1-Millionen-Euro-Marke stark vertreten sind; diese kleinen Betriebe stellen einen Anteil von 43 Prozent der Branchen-Akteure. Im Durchschnitt liegt der Jahresumsatz eines deutschen GreenTech-Unternehmens bei 25 Millionen Euro. Rund drei Viertel der deutschen Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz beschäftigten weniger als 50 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter.

Die Exportquote, also der Anteil der im Ausland erwirtschafteten Umsätze, erreichte in der deutschen Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in den einzelnen Leitmärkten Werte zwischen 29 Prozent und 48 Prozent. In den Leitmärkten Nachhaltige Mobilität und Rohstoff- und Materialeffizienz fallen die Anteile der Auslandsumsätze mit 48 Prozent beziehungsweise 45 Prozent besonders hoch aus.

Das Stimmungsbild der deutschen GreenTech-Anbieter fällt überwiegend positiv aus: 47 Prozent der Teilnehmer der Unternehmensbefragung bewerten die aktuelle Geschäftslage als „gut“, 45 Prozent als „befriedigend“. Mit Blick in die Zukunft geben sich die deutschen GreenTech-Akteure verhalten optimistisch. Ein Drittel glaubt, die Geschäftslage werde sich bis 2021 verbessern; 60 Prozent gehen von einer gleichbleibenden Geschäftslage aus. Lediglich sechs Prozent rechnen mit einer Verschlechterung.

Aufschluss über die Stimmungslage in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz geben auch die Erwartungen der GreenTech-Akteure für die Entwicklung des Umsatzes und der Belegschaftsstärke: Im Durchschnitt gehen die Befragungsteilnehmer davon aus, dass ihre Umsätze bis 2021 mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 9,8 Prozent zulegen. Dabei erwarten Unternehmen im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität mit einem jährlichen Umsatzwachstum von 14,5 Prozent die höchste Wachstumsdynamik.

Im selben Zeithorizont soll die **Mitarbeiterzahl** in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz um jährlich **6,7 Prozent wachsen**, so die Einschätzung der Befragten. Wie schon bei der Umsatzentwicklung haben die Unternehmen mit Leitmarktfokus Nachhaltige Mobilität auch bei der Beschäftigungsentwicklung die größten Erwartungen innerhalb der GreenTech-Branche: Sie gehen von davon aus, dass die Mitarbeiterzahl jahresdurchschnittlich um 20 Prozent wächst. **2016 waren in den Unternehmen der sechs GreenTech-Leitmärkte rund 1,5 Millionen Erwerbstätige beschäftigt.**

Neue Potenziale – Digitalisierung in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

Die **dynamische Entwicklung der digitalen Transformation** verändert Wirtschaft und Marktverhältnisse, Gesellschaft und unsere Lebenswirklichkeit grundlegend. Auch in der **Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz** wird die Digitalisierung zu erheblichen Veränderungen führen, die sowohl **Chancen** bringen als auch **Risiken** bergen.

Die digitale Transformation beeinflusst das Marktgefüge in der GreenTech-Branche über vier Hebel: digitale Daten, Automatisierung, Vernetzung und digitale Kundenschnittstellen. Die wesentlichen Veränderungen für die Anbieter von „grünen“ Produkten, Verfahren und Dienstleistungen lassen sich zu fünf Thesen verdichten:

- Neue disruptive Geschäftsmodelle verdrängen alte Geschäftsmodelle
- Traditionelle Unternehmensstrukturen werden flexibler
- Virtuelle Plattformen diktieren ein verändertes Marktdesign
- Neue Wettbewerber treten in die Stufen der Wertschöpfungskette ein
- Der Netzwerkeffekt etabliert sich als neuer Wettbewerbsvorteil

Die Digitalisierung kann positive Impulse für die Weiterentwicklung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz setzen, indem sie den systemischen Ansatz unterstützt und vorantreibt. Dabei werden Einzelkomponenten zu Systemen verknüpft, wodurch ganzheitliche Lösungen entstehen. Dieser systemische Ansatz spielt eine zunehmend wichtigere Rolle im Kontext Wettbewerbsfähigkeit und Innovation, denn aufgrund der bereits weit fortgeschrittenen Entwicklungsstufe der GreenTech-Leitmärkte wird es immer schwieriger, einzelne „grüne“ Produkte, Verfahren und Dienstleistungen zu verbessern.

Die Digitalisierung **entwickelt sich zunehmend zu einem Enabler („Ermöglicher“)** der Systembildung. Dabei schaffen die vier Hebel der Digitalisierung (digitale Daten, Automatisierung, Digitale Kundenschnittstelle, Vernetzung) die Grundlage für innovative digitale Systeme. Gleichzeitig entwickeln sich neue Produkte und Dienstleistungen sowie innovative Nutzungsmöglichkeiten für bestehende Komponenten. Beispiele für digitale Systeme sind Connected Energy, Connected Information Network, Industrie 4.0, Urban Connected Mobility und Smart Grid.

Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz stellt schon heute einen stark wachsenden Markt dar. Die Digitalisierung kann den Expansionskurs dieser Branche weiter beschleunigen: Bedingt durch Synergie- und Systemeffekte, die durch den Ausbau der digitalen Systeme entstehen, wird die Nachfrage nach Produkten, Verfahren und Dienstleistungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz voraussichtlich steigen.

Die Berechnungen auf Basis des Roland-Berger-Marktmodells **prognostizieren** für die GreenTech-Branche in Deutschland **im Jahr 2025** durch die **Digitalisierung ein zusätzliches Marktvolumen von mehr als 20 Milliarden Euro**. Der Beitrag der einzelnen Leitmärkte zu diesem Potenzial fällt allerdings unterschiedlich aus: Mit einem zusätzlich generierten Marktvolumen von 7,2 Milliarden Euro ist im Leitmarkt Energieeffizienz mit den größten Effekten zu rechnen. Am geringsten ist das durch die Digitalisierung induzierte zusätzliche Wachstum in den Leitmärkten Nachhaltige Wasserwirtschaft (plus eine Milliarde Euro) sowie in den Leitmärkten Rohstoff- und Materialeffizienz und Kreislaufwirtschaft (jeweils plus zwei Milliarden Euro).

Charakteristisch für die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist ein hohes Potenzial zur Entlastung der Umwelt und zum Schutz von Umweltgütern. Dabei wird das Umweltentlastungspotenzial als die Umweltentlastungswirkung aufgefasst, die durch die Nutzung eines Produkts, Verfahrens oder einer Dienstleistung erzielt wird. Mit dem Marktwachstum der Branche gehen also positive ökologische Effekte einher; sie werden durch die Digitalisierung verstärkt.

In den sechs Leitmärkten wird durch die Digitalisierung für das Jahr 2025 ein zusätzliches Umweltentlastungspotenzial in Höhe von 50 Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalenten (CO₂e) erwartet.² Dies



entspricht einer Reduktion der gesamten deutschen CO₂e-Emissionen um fünf Prozent im Vergleich zum Jahr 2014³ allein durch die Effekte der Digitalisierung.

„Digitale Readiness“ – Herausforderungen für deutsche GreenTech-Anbieter

Die Digitalisierung eröffnet den deutschen Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz die Chance, ihre **Positionierung im Wettbewerb** durch Innovationen ihrer Produkte und ihrer internen Prozesse zu verbessern. Andererseits riskieren Unternehmen, die den Megatrend Digitalisierung ignorieren, den Verlust von Marktanteilen. Bei der Weichenstellung in Richtung Gewinner- oder Verliererseite spielt die **„digitale Readiness“** eine Schlüsselrolle: In welchem Maß sind die Unternehmen für die digitale Transformation bereit?

Die Ausgangslage der Unternehmen in den GreenTech-Leitmärkten wurde anhand der vier Kriterien Gründungsaktivitäten, Anwendung digitaler Technologien, Vorhandensein digitaler Systeme und Innovationsdynamik ermittelt. Auf Basis einer qualitativen Einschätzung dieser vier Kriterien wurde für jeden Leitmarkt der Grad der digitalen Readiness auf einer Skala von 0 bis 100 Prozent errechnet.

Mit einem Wert von 80 Prozent erreicht die Energieeffizienz bei der digitalen Readiness die höchste Bewertung aller GreenTech-Leitmärkte. Eine Vielzahl von Neugründungen mit einem breiten Angebot innovativer digitaler Effizienzdienstleistungen ist der Hauptgrund für die starke digitale Ausgangsposition. Die Unternehmen des Leitmarktes Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie schneiden mit einem Wert von 70 Prozent in der Gesamtbewertung der digitalen Readiness ebenfalls gut

ab. Digitale Lösungen zahlreicher Startup-Unternehmen im Bereich der Steuerung und Integration von erneuerbaren Energien und Speichertechnologien zeigen, dass in einigen Marktsegmenten bereits heute digitale Technologien zum Einsatz kommen und erfolgreich am Markt platziert sind.

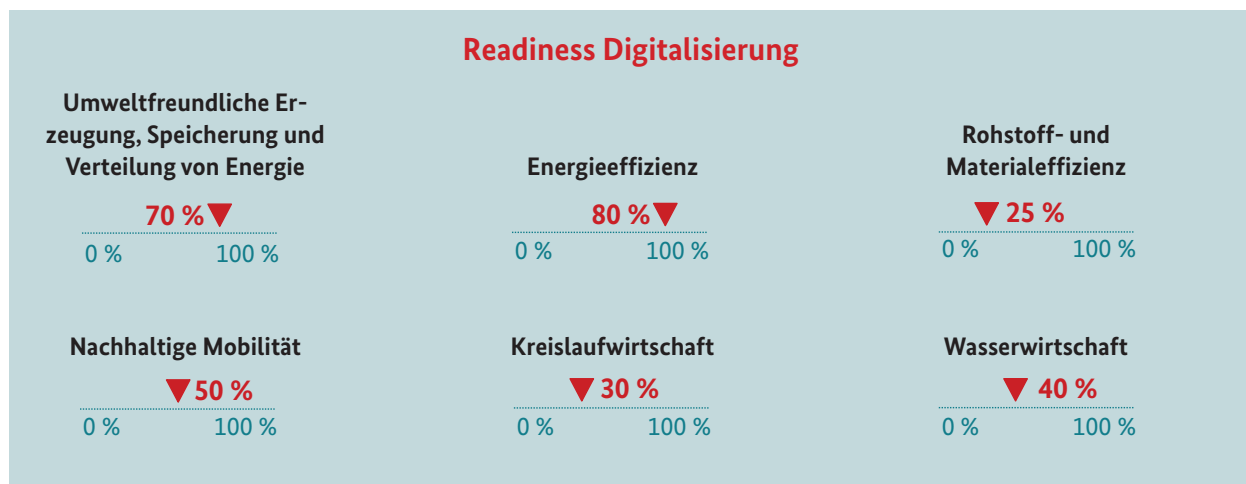
Dagegen ist die digitale Ausgangslage im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft mit einer Readiness von 30 Prozent weniger stark ausgeprägt. Nur wenige Unternehmen der Abfallwirtschaft nutzen digitale Technologie oder führen aktuell Pilotprojekte durch, beispielsweise im Bereich der dynamischen Abfallsammlung oder der digitalen Kennzeichnung von Verbrauchsgütern. Der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz steht erst am Anfang des digitalen Wandels. Der Wert von 25 Prozent in der Gesamtbewertung der digitalen Readiness macht dies deutlich. Die Gründungsaktivitäten sind aufgrund der komplexen Themen und langfristigen Entwicklungsprozesse in einem überwiegend durch industrielle Produktion gekennzeichneten Bereich noch sehr gering. Hinzu kommt eine geringe Innovationsdynamik im Bereich digitaler Dienstleistungen. Erst langsam wird das Thema Rohstoff- und Materialeffizienz auch im Kontext Industrie 4.0 als relevanter Baustein betrachtet. **Die deutsche Wirtschaft muss die Potenziale der Digitalisierung für Ressourcenschonung und Umwelttechnologien konzentriert nutzen**, wenn sie auf den Märkten der Zukunft ihre Rolle als Player behalten möchten.

² CO₂e, Abkürzung für CO₂ equivalents, auf Deutsch CO₂-Äquivalent.

³ Nach Daten des Umweltbundesamtes. Siehe Umweltbundesamt (2017a).

Weil Eigenwahrnehmung und Außensicht durchaus voneinander abweichen können, war ein Thema der Unternehmensbefragung das digitale Selbstbild der GreenTech-Akteure. Eine Fragestellung bezog sich dabei auf den Einfluss der Digitalisierung auf die ver-

schiedenen Wertschöpfungsstufen. Grundsätzlich erwarten Unternehmen eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit, verbesserte Kenntnisse über Märkte und Kunden sowie neue Service- und Kooperationsmöglichkeiten.



Grüne Transformation – Impulse für die ökologische Modernisierung der Volkswirtschaft

Der Begriff Green Economy steht für eine Volkswirtschaft, die ökologische Risiken begrenzt und ökonomische Chancen nutzt. Sie zeichnet sich durch innovationsorientiertes, ökologisches und partizipatives Wachstums aus. Die Entwicklung vom Status quo hin zu einer Green Economy wird als Grüne Transformation oder als Greening bezeichnet und lässt sich auch auf die Ebene der Unternehmen übertragen.

Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz spielt für das **Fortschreiten der Grünen Transformation** eine **Schlüsselrolle**. Die GreenTech-Akteure tragen mit ihren Produkten, Verfahren und Dienstleistungen maßgeblich zur Bewältigung ökologischer Herausforderungen bei. Als Querschnittsbranche fördert die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz die **Grüne Transformation in allen Wirtschaftszweigen** und setzt dabei wesentliche **Impulse für die ökologische Modernisierung** der Volkswirtschaft. Besonders vielversprechend **sind dabei integrierte Ansätze und Systemlösungen**.

Die Digitalisierung hat dabei das Potenzial, die Grüne Transformation zu unterstützen und zu beschleunigen. Zum einen schafft die Digitalisierung für viele Maßnahmen des Umwelt- und Klimaschutzes die technischen Voraussetzungen. So können intelligente Systemlösungen durch die Vernetzung von Daten wesentlich stärkere Energiespareffekte erzielen als nicht-automatisierte Prozesse. Zum anderen begünstigt die Digitalisierung Skaleneffekte; sie ermöglicht die Wirtschaftlichkeit und Diffusion von nachhaltigen Produkten und Services. Des Weiteren können durch Digitalisierung Informationen gebündelt und anschaulich dargestellt werden. Diese Erkenntnisse lassen sich für die Entwicklung von umwelt- und klimafreundlichen Technologien und Dienstleistungen nutzen.

2

Klima- und Umweltschutz als weltweite Herausforderungen

Ökologische Verantwortung auf der Agenda der internationalen und nationalen Politik

Die internationale Staatengemeinschaft hat 2015 zwei Abkommen verabschiedet: das Pariser Klimaschutzabkommen und die UN-Agenda 2030. Die darin festgelegten ambitionierten klima- und umweltpolitischen Ziele werden die weitere Expansion der GreenTech-Märkte fördern.



Auf einen Blick

Klima- und Umweltschutz werden weltweit immer wichtiger. Dies machen zwei internationale Abkommen aus dem Jahr 2015 deutlich.

Mit dem Pariser Klimaschutzabkommen bekennt sich die internationale Staatengemeinschaft erstmals in einem völkerrechtlichen Abkommen verbindlich dazu, die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius zu begrenzen. Das „Paris Agreement“ gilt auch für Schwellen- und Entwicklungsländer – anders als das Kyoto-Protokoll, das nur Industrieländer zu Klimaschutzmaßnahmen verpflichtet hatte. Die Industrieländer wollen ab 2020 jährlich 100 Milliarden US-Dollar an Klimafinanzierung bereitstellen, um die Entwicklungsländer beim Klimaschutz und bei der Anpassung an den Klimawandel zu unterstützen.

Die UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung fasst alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit – Soziales, Umwelt und Wirtschaft – in 17 Zielen zusammen. Um diese Ziele – beispielsweise sauberes Wasser und Sanitärversorgung für alle, bezahlbare und saubere Energie, nachhaltige Produktion – zu erreichen und das Pariser Klimaschutzabkommen umzusetzen, bedarf es der Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Infolgedessen werden Innovationen und neue Märkte entstehen, die internationalen GreenTech-Leitmärkte werden sich expansiv entwickeln. Hiervon können deutsche Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz aufgrund ihrer Erfahrung und guten Positionierung auf den internationalen Märkten profitieren.

Pariser Klimaschutzabkommen und UN-Agenda 2030 – Globale Meilensteine der Klima- und Umweltschutzpolitik und der deutsche Beitrag zu ihrer Umsetzung

„Die Umwelt ist ein kollektives Gut, ein Erbe der gesamten Menschheit und eine Verantwortung für alle.“ – Dieser Appell stammt aus der Enzyklika „Laudato si“, die Papst Franziskus im Juni 2015 veröffentlichte.¹ Wenn das Oberhaupt der römisch-katholischen Kirche ökologische Fragen in den Mittelpunkt seines an die Gläubigen auf der ganzen Welt adressierten Lehrschreibens stellt, zeugt das vom enormen Stellenwert, den der Schutz der Umwelt inzwischen in Gesellschaft und Politik erlangt hat.

Die Bedeutung des Klima- und des Umweltschutzes ist auch in der internationalen Staatengemeinschaft stark verankert. Dies machen zwei Abkommen deutlich, die 2015 verabschiedet wurden und jeweils Meilensteine der internationalen Klima- und Umweltschutzpolitik darstellen: das Pariser Klimaschutzabkommen und die UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Beide Abkommen haben Auswirkungen auf Gesellschaft und Wirtschaft – speziell auf die Entwicklung

der GreenTech-Branche. Ein wichtiger Hebel, über den diese Abkommen das Marktgeschehen beeinflussen, ist die Umsetzung in die nationale Gesetzgebung der einzelnen Staaten. Denn es besteht eine enge Wechselwirkung zwischen ordnungspolitischen und umweltpolitischen Rahmenbedingungen einerseits und Innovationen sowie der Entstehung neuer Märkte andererseits.

Pariser Klimaschutzabkommen

„Klimaschützer schreiben Geschichte“², „Das Ende des fossilen Zeitalters ist eingeläutet“³, „Wendepunkt für die Welt“⁴ – Die Resonanz auf den Weltklimagipfel in Paris war gewaltig und nahezu einhellig begeistert. Auf der 21. UNFCCC-Klimakonferenz (COP21)⁵, die im Dezember 2015 in der französischen Hauptstadt stattfand, haben die Vertreter von 195 Staaten und der Europäischen Union das Pariser Klimaabkommen vereinbart. Das „Paris Agreement“ ist am 4. November 2016 in

1 Siehe katholisch.de (2016).

2 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015a).

3 Fücks, Ralf (2016), Seite 42.

4 O.V. (2015).

5 UNFCCC steht für United Nations Framework Convention on Climate Change; das Kürzel COP bedeutet „Conference of parties“.

Kraft getreten. Damit bekennt sich die internationale Staatengemeinschaft erstmals in einem völkerrechtlichen Abkommen verbindlich zur Zwei-Grad-Obergrenze. Darüber hinaus sollen sich die Staaten anstrengen, den Temperaturanstieg auf 1,5 Grad Celsius über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Das Abkommen legt auch fest, dass die Welt in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts treibhausgasneutral werden muss – was den Abschied von fossilen Energien bedeutet.

Um diese ambitionierten Ziele zu erreichen, sind im Pariser Abkommen folgende Mechanismen verankert: Die Staaten sind verpflichtet, alle fünf Jahre Klimaschutzziele vorzulegen (Intended Nationally Determined Contributions – INDC). Für diese Klimaschutzpläne gilt der Grundsatz, dass sie immer ehrgeiziger werden müssen; ein Herunterschrauben der Zielmarke ist nicht erlaubt. Ausgangsbasis sind die nationalen Klimaziele, die die Teilnehmerstaaten im Vorfeld des Pariser Weltklimagipfels formuliert hatten. Dieses Verfahren ist rechtsverbindlich, allerdings nicht die in den INDC festgeschriebenen Werte.

Bestandteil des Pariser Klimaabkommens ist eine Berichtspflicht: Die Staaten müssen regelmäßig über ihre

Treibhausgasemissionen berichten. So wird sichergestellt, dass sich Klimaschutzpolitik nicht in Absichtserklärungen erschöpft.

Das „Paris Agreement“ gilt für alle Staaten – anders als das Kyoto-Protokoll, das nur Industrieländer zu Klimaschutzmaßnahmen verpflichtet hat. Die Einbeziehung von Schwellen- und Entwicklungsländern wird als besonderer Fortschritt für die internationale Klimaschutzpolitik bewertet.⁶ Gerade schnell wachsende Schwellenländer waren in den letzten Jahren maßgeblich am Anstieg der Treibhausgasemissionen beteiligt. Ohne die Einbindung dieser Staaten wäre der Kampf gegen die globale Erwärmung kaum zu gewinnen. Das Pariser Abkommen enthält die Zusage, die Entwicklungsländer beim Klimaschutz und der Anpassung an den Klimawandel zu unterstützen. Dazu gehört auch das langfristige Ziel, eine emissionsarme Entwicklung im Einklang mit Ernährungssicherheit zu fördern. Die Industrieländer wollen ab 2020 jährlich 100 Milliarden US-Dollar an Klimafinanzierung bereitstellen. Außerdem werden über einen Anpassungsfonds konkrete Maßnahmen in Regionen finanziert, die besonders stark vom Klimawandel betroffen sind.⁷



Die Kernvereinbarungen des Pariser Klimaabkommens

- Erderwärmung deutlich auf unter zwei Grad Celsius begrenzen; dabei Anstrengungen unternehmen, den Temperaturanstieg bei 1,5 Grad Celsius zu stoppen
- Netto-Treibhausgasemissionen ab Mitte des 21. Jahrhunderts auf null reduzieren
- Entwicklungsländer bei Maßnahmen des Klimaschutzes und der Anpassung an die Folgen des Klimawandels finanziell unterstützen
- Nationale Klimaschutzpläne umsetzen

Am 1. Juni 2017 kündigte US-Präsident Donald Trump den Ausstieg der Vereinigten Staaten aus dem Pariser Klimaschutzabkommen an. Noch ist es schwierig, die konkreten Folgen dieser Ankündigung einzuschätzen. Dennoch lässt sich festhalten: Dieser Schritt ist zwar ein herber Rückschlag für die internationale Klimadiplomatie, aber keine Kapitulation im Kampf gegen den Klimawandel. Große CO₂-Emittenten wie China, Indien, Russland und die Europäische Union haben bekräftigt, an den Verpflichtungen des Pariser Klimaschutzabkommens festzuhalten. Und in den USA verweigern sich viele Bundesstaaten dem klimapolitischen Schwenk der Trump-Administration; sie halten an ihren ambitionierten Klimaschutz-Zielen fest und

treiben die Energiewende weiter voran: So haben sich fast 30 Bundesstaaten „Renewable Portfolio Standards“ gesetzt; darin ist – mit einer Zeitplanung hinterlegt – festgelegt, wie hoch der Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix sein soll.⁸ Zu den Vorreitern gehören New York und Kalifornien; dort soll bis 2030 die Hälfte des Stromverbrauchs aus regenerativen Energieträgern stammen.

Viele Akteure der US-Wirtschaft halten ebenfalls an klimapolitischen Zielen fest und haben den Rückzug aus dem „Paris Agreement“ scharf kritisiert. In einem offenen Brief an die Trump-Administration betonten die Vorstände und Top-Manager führender US-Unter-

⁶ Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015b).

⁷ Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016a).

⁸ Siehe Heinrich Böll Stiftung (2017).

nehmen, sie fühlten sich dem Klimaschutz weiterhin „zutiefst verpflichtet“ und würden an den Zielen der Treibhausgasreduktion und der Verbesserung der Energieeffizienz festhalten.⁹

UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung

„Ours can be the first Generation to end poverty – and the last generation to address climate change before it is too late.“¹⁰ – In seinem Statement bei der Beschlussfassung über die Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (UN) machte der damalige UN-Generalsekretär Ban-Ki Moon den Zusammenhang zwischen Entwicklungspolitik, Klimaschutz und nachhaltiger Entwicklung deutlich. Der Kampf gegen die globale Erwärmung und für den Erhalt der natürlichen Ressourcen ist ein integraler Bestandteil der UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, die im September 2015 in New York beim UN-Nachhaltigkeitsgipfel der Staats- und Regierungschefs verabschiedet worden ist. Sie gilt als Ausdruck einer neuen Qualität der internationalen Nachhaltigkeitspolitik.

Diese Einschätzung basiert darauf, dass die Agenda 2030 die beiden Perspektiven Umwelt und Entwicklung integriert, die bislang in zwei getrennt geführten UN-Verhandlungsprozessen behandelt wurden. Im mit dem Erdgipfel 1992 begründeten Rio-Folgeprozess wurden globale Nachhaltigkeitskriterien und -ziele erarbeitet. Im Prozess der Millenniumentwicklung-

ziele (Millennium Development Goals – MDG) stand die Entwicklungspolitik im Fokus. Beide Prozesse sind nun durch die Agenda 2030 unter dem Begriff „Transformation zu nachhaltiger Entwicklung“ zusammengeführt worden. Damit stellt die Agenda 2030 „einen Paradigmenwechsel in Richtung einer tiefgreifenden Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft im Norden wie im Süden dar, um in gemeinsamer Verantwortung die Welt zukunftsfähig und gerecht zu gestalten“.¹¹

In einer globalen Partnerschaft, so die Zielsetzung der Agenda 2030, soll die Entwicklung weltweit sozial, ökologisch und wirtschaftlich nachhaltig gestaltet werden. Dazu bedarf es eines grundlegenden Umbaus von Strukturen, Prozessen sowie Denk- und Verhaltensweisen. Die Agenda 2030 hat universelle Gültigkeit – alle Staaten tragen eine gemeinsame Verantwortung für das globale Gemeinwohl. Diese Verantwortung gilt insbesondere für Bereiche, wo Erfolge nur durch internationale Zusammenarbeit zu erzielen sind, etwa Klimaschutz, Erhalt der Biodiversität, Schutz der natürlichen Ressourcen, Frieden, Sicherheit, Gleichstellung und soziale Gerechtigkeit.¹²

Das Herzstück der Agenda 2030 bilden die 17 Sustainable Development Goals (SDG) mit insgesamt 169 Unterzielen. Der Zeithorizont für die Erreichung dieser Ziele ist das Jahr 2030. Die Ziele erfassen alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit: Soziales, Umwelt und Wirtschaft.



9 Siehe o.V. (2017a).

10 Deutsche Welle (2016).

11 Bundesregierung (Hrsg.) (2017), Seite 22.

12 Siehe ebenda, Seite 217.

Tabelle 1: Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung der UN-Agenda 2030

Ziele

- 1  Armut in all ihren Formen und überall beenden
- 2  Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern
- 3  Ein gesundes Leben für alle Menschen jeden Alters gewährleisten und ihr Wohlergehen fördern
- 4  Inklusive, gleichberechtigte und hochwertige Bildung gewährleisten
- 5  Geschlechtergleichstellung erreichen und alle Frauen und Mädchen zur Selbstbestimmung befähigen
- 6  Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten
- 7  Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern
- 8  Dauerhaftes, breitenwirksames und nachhaltiges Wirtschaftswachstum, produktive Vollbeschäftigung und menschenwürdige Arbeit für alle fördern
- 9  Eine widerstandsfähige Infrastruktur aufbauen, breitenwirksame und nachhaltige Industrialisierung fördern und Innovationen unterstützen
- 10  Ungleichheit in und zwischen Ländern verringern
- 11  Städte und Siedlungen inklusiv, sicher, widerstandsfähig und nachhaltig gestalten
- 12  Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen
- 13  Umgehend Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und seiner Auswirkungen ergreifen
- 14  Ozeane, Meere und Meeresressourcen im Sinne nachhaltiger Entwicklung erhalten und nachhaltig nutzen
- 15  Landökosysteme schützen, wiederherstellen und ihre nachhaltige Nutzung fördern, Wälder nachhaltig bewirtschaften, Wüstenbildung bekämpfen, Bodendegradation beenden und umkehren und dem Verlust der biologischen Vielfalt ein Ende setzen
- 16  Friedliche und inklusive Gesellschaften für eine nachhaltige Entwicklung fördern, allen Menschen Zugang zur Justiz ermöglichen und leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und inklusive Institutionen auf allen Ebenen aufbauen
- 17  Umsetzungsmittel stärken und die globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung wiederbeleben

Quelle: Vereinte Nationen Generalversammlung (2015), Seite 15

Die EU hat sich in der UN-Arbeitsgruppe (Open Working Group on Sustainable Development Goals), in der die Nachhaltigkeitsziele erarbeitet wurden, stark dafür engagiert, dass Herausforderungen wie die Verbesserung der Ressourceneffizienz und umweltverträgliches Wirtschaften bei den Zielvereinbarungen angemessen berücksichtigt wurden. Die politischen Kernbotschaften, die in der Präambel der 2030-Agenda für Nachhaltige Entwicklung den Zielen vorangestellt sind, wurden maßgeblich von Deutschland und der Europäischen Union in den Verhandlungsprozess eingebracht.

” Menschen

Wir sind entschlossen, Armut und Hunger in allen ihren Formen und Dimensionen ein Ende zu setzen und sicherzustellen, dass alle Menschen ihr Potenzial in Würde und Gleichheit und in einer gesunden Umwelt voll entfalten können.

Planet

Wir sind entschlossen, den Planeten vor Schädigung zu schützen, unter anderem durch nachhaltigen Konsum und nachhaltige Produktion, die nachhaltige Bewirtschaftung seiner natürlichen Ressourcen und umgehende Maßnahmen gegen den Klimawandel, damit die Erde die Bedürfnisse der heutigen und der kommenden Generationen decken kann.

Wohlstand

Wir sind entschlossen, dafür zu sorgen, dass alle Menschen ein von Wohlstand geprägtes und erfülltes Leben genießen können und dass sich der wirtschaftliche, soziale und technische Fortschritt in Harmonie mit der Natur vollzieht.

Frieden

Wir sind entschlossen, friedliche, gerechte und inklusive Gesellschaften zu fördern, die frei von Furcht und Gewalt sind. Ohne Frieden kann es keine nachhaltige Entwicklung geben und ohne nachhaltige Entwicklung keinen Frieden.

Partnerschaft

Wir sind entschlossen, die für die Umsetzung dieser Agenda benötigten Mittel durch eine mit neuem Leben erfüllte Globale Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung zu mobilisieren, die auf einem Geist verstärkter globaler Solidarität gründet, insbesondere auf die Bedürfnisse der Ärmsten und Schwächsten ausgerichtet ist und an der sich alle Länder, alle Interessenträger und alle Menschen beteiligen.¹³

Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Neuauflage 2016

Die Ziele für nachhaltige Entwicklung gelten auch für Deutschland. Für die Umsetzung der Agenda 2030 ist es erforderlich, eigene nationale Ziele zu definieren. Dies ist in der „Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie – Neuauflage 2016“ erfolgt, die im Januar 2017 von der Bundesregierung beschlossen wurde. Darin werden die 17 „Sustainable Development Goals“ (SDG) der UN-Agenda 2030 konkretisiert und mit messbaren politischen Maßnahmen hinterlegt.¹⁴

Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie legt fest, mit welchen Maßnahmen die Bundesregierung die Ziele der Agenda 2030 auf nationaler Ebene erreichen will. Die Richtung wird dabei von den Leitlinien der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie vorgegeben: Generationengerechtigkeit, Lebensqualität, sozialer Zusammenhalt und internationale Verantwortung. Zu diesen Leitlinien werden Indikatoren mit mittelfristigen und langfristigen Vorgaben festgelegt. Alle zwei Jahre werden Indikatorenberichte veröffentlicht; sie legen Rechenschaft ab, welche Fortschritte auf dem Weg einer nachhaltigen Entwicklung erzielt worden sind. Die Integration der Agenda 2030-Ziele in die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie ist durch folgendes Konzept sichergestellt: Zu jedem einzelnen SDG wird ein indikatorengestütztes politisches Ziel ausgewiesen. An die Indikatoren wird dabei nicht der Anspruch gestellt, ein Themenfeld komplett abzubilden; sie fungieren als Schlüsselindikatoren und greifen einen besonders relevanten Aspekt heraus. Die Analyse der Indikatoren obliegt dem Statistischen Bundesamt. Diese Behörde stellt den Entwicklungsstand dar und bewertet den Grad der Zielerreichung anhand plakativer Symbole.

Die Synchronisation zwischen den SDGs der Agenda 2030 und den Zielen beziehungsweise Indikatoren der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie soll anhand der umweltpolitisch besonders relevanten Themenfelder Wasser und Energie beispielhaft dargestellt werden (siehe Tabelle 2).

13 Ebenda, Seite 16.

14 Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017a).

Tabelle 2: Ausschnitt aus dem Indikatorensystem der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie¹⁵

SDG 6 Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten

Nr.	Indikatorenbereich	Indikatoren	Ziele	Status
6.1.a	Gewässerqualität Minderung der stofflichen Belastung von Gewässern	Gesamt-Phosphat in Fließgewässern	An allen Messstellen werden bis 2030 die gewässertypischen Orientierungswerte eingehalten oder unterschritten.	  
6.1.b		Nitrat im Grundwasser – Anteil der Messstellen in Deutschland, an denen der Schwellenwert von 50 mg/l Nitrat überschritten wird	Bis 2030 Einhaltung des „50 mg/l“ Nitrat Schwellenwertes im Grundwasser	  
6.2	Trinkwasser und Sanitärversorgung Besserer Zugang zu Trinkwasser und Sanitärversorgung weltweit, höhere (sichere) Qualität	Anzahl der Menschen, die durch deutsche Unterstützung Zugang zu Trinkwasser- und Sanitärversorgung erhalten	Bis 2030 sollen jährlich 10 Millionen Menschen Zugang zu Wasser erhalten.	  

SDG 7 Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und zeitgemäßer Energie für alle sichern

Nr.	Indikatorenbereich	Indikatoren	Ziele	Status
7.1.a	Ressourcenschonung Ressourcen sparsam und effizient nutzen	Endenergieproduktivität	Steigerung der Endenergieproduktivität um 2,1 Prozent pro Jahr im Zeitraum 2008-2050	  
7.1.b		Primärenergieverbrauch	Senkung um 20 Prozent bis 2020 und um 50 Prozent bis 2050 je gegenüber 2008	  
7.2.a	Erneuerbare Energien Zukunftsfähige Energieversorgung ausbauen	Anteil erneuerbarer Energien am Brutto-Endenergieverbrauch	Anstieg auf 18 Prozent bis 2020, auf 30 Prozent bis 2030 und 60 Prozent bis 2050	  
7.2.b		Anteil des Stroms aus erneuerbaren Energiequellen am Bruttostromverbrauch	Anstieg auf mindestens 35 Prozent bis 2020 auf mindestens 50 Prozent bis 2030, auf mindestens 65 Prozent bis 2040 und auf mindestens 80 Prozent bis 2050	  

 Ziel wird (nahezu) erreicht  Entwicklung in die richtige Richtung  Entwicklung in die falsche Richtung

Quelle: BMUB/Roland Berger (2017)

Klimaschutzplan 2050

Als „Wegweiser in ein klimaneutrales Deutschland“ gilt der im November 2016 von der Bundesregierung beschlossene Klimaschutzplan 2050.¹⁶ Er zeigt, was die Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens auf nationaler Ebene bedeutet. Abgeleitet von dem langfristigen Ziel, Deutschland bis zum Jahr 2050 weitgehend treibhausgasneutral zu machen, werden im Klimaschutzplan Leitbilder, Meilensteine und Maßnahmen für die Handlungsfelder Energiewirtschaft,

Gebäude, Verkehr, Industrie, Landwirtschaft sowie Landnutzung und Forstwirtschaft formuliert.

Der Klimaschutzplan greift die von der Bundesregierung im Jahr 2010 beschlossenen Klimaschutzziele auf: Bis 2030 soll eine Treibhausgasreduzierung von mindestens 55 Prozent gegenüber 1990 erreicht werden. Die neue Qualität des Klimaschutzplans 2050 liegt darin, dass dieses Gesamtziel auf einzelne Sektoren heruntergebrochen wird.

¹⁵ Bundesregierung (Hrsg.) (2017), Seite 37.

¹⁶ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016b).

Beim Umbau der Energiewirtschaft wurden bereits Fortschritte erzielt, etwa beim Ausbau der erneuerbaren Energien. Der soll weiter voranschreiten; die Kohleverstromung soll entsprechend zurückgefahren werden.

Im Gebäudebereich gibt es einen „Fahrplan für einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“¹⁷, der unter anderem Maßnahmen vorsieht wie anspruchsvolle Neubaustandards, langfristige Sanierungsstrategien und die schrittweise Abkehr von Heizsystemen, die auf fossilen Energieträgern basieren. So soll im Gebäudebereich bis 2030 der Treibhausgasausstoß um zwei Drittel sinken.

Für den Verkehrsbereich sieht der Klimaschutzplan 2050 eine Reduzierung der Treibhausgasemissionen um 40 bis 42 Prozent bis 2030 vor (gegenüber 1990). Die Grundlage dafür bildet eine Reihe von Maßnahmen, darunter das Klimaschutzkonzept Straßenverkehr, alternative Antriebe, der Öffentliche Personennahverkehr (ÖPNV) und der Schienenverkehr. Bis 2030 soll im Bereich der Industrie die Minderung der Treibhausgas-Emissionen 49 bis 51 Prozent gegenüber 1990 betragen. Den Weg zu diesem Ziel will die Bundesregierung unter anderem mit einem Forschungs-, Entwicklungs- und Markteinführungsprogramm zur Minderung bisher nicht vermeidbarer industrieller Prozessemissionen ebnen.

Bedeutung der internationalen und nationalen Abkommen für die deutsche GreenTech-Branche

Um die im Pariser Klimaschutzabkommen und in der Agenda 2030 festgelegten Ziele zu erreichen, bedarf es der Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Insofern werden die regulatorischen Rahmenbedingungen und die politischen Zielvorgaben, die sich die einzelnen Staaten zur Umsetzung der Klimapolitik geben, eine expansive Entwicklung auf den internationalen GreenTech-Leitmärkten anstoßen. Langfristig können ambitionierte Klimaziele dazu führen, dass die Investitionen in Klimaschutztechnologien um mehr als ein Drittel höher ausfallen, als unter Beibehaltung von aktuellen Klimaschutzanstrengungen prognostiziert werden.

Von dieser Entwicklung können deutsche Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz aufgrund ihrer Erfahrung und guten Positionierung auf den internationalen Märkten profitieren. Beispielsweise ist in Europa ein deutliches Wachstum der Leitmärkte Rohstoff- und Materialeffizienz sowie Nachhaltige Mobilität zu erwarten. Hier ergeben sich Chancen für deutsche Anbieter, das expandierende Marktvolumen für den verstärkten Absatz ihrer Produkte und Dienstleistungen zu nutzen. Chinas klimapolitische Ambitionen, die einen Ausbau der Elektromobilität¹⁸, eine Verbesserung der Ressourceneffizienz und eine deutliche Minderung des CO₂-Ausstoßes in der Energiewirtschaft vorsehen, können ebenfalls Chancen für den Außenhandel bieten.

Besonders in nachfragestarken EU-Staaten, aber auch in den BRICS-Ländern,¹⁹ hat Deutschland bei Klimaschutztechnologien bereits heute eine, im Vergleich zum internationalen Wettbewerb, überdurchschnittlich starke Marktstellung. Aufgrund dieser guten Ausgangsposition spricht vieles dafür, dass deutsche GreenTech-Anbieter von der Expansion der globalen GreenTech-Leitmärkte profitieren werden.

Auf dem Heimatmarkt Deutschland ist ebenfalls zu erwarten, dass durch die Zielsetzungen des Klimaschutzplans 2050 die Nachfrage nach Technologien steigt, die zu einer Minderung der Treibhausgasemission beitragen. Dies ist eine Voraussetzung, um die ambitionierten Klimaziele zu erfüllen und Deutschland bis 2050 weitgehend treibhausgasneutral zu machen.

Klimaschutzmaßnahmen kommen nicht nur der Umwelt zugute, sie haben auch positive ökonomische Effekte („Co-Benefits“). So profitieren die deutschen GreenTech-Anbieter von steigenden Investitionen in den Klimaschutz, weil die Nachfrage nach deren Produkten, Verfahren und Dienstleistungen zunimmt. Auch für Unternehmen anderer Branchen ergeben sich durch den Klimaschutz Chancen, unter anderem durch Effizienzmaßnahmen. Die Verbesserung der Energie- sowie der Rohstoff- und Materialeffizienz senkt den Ressourcenverbrauch – was sich in der Kostenstruktur der Unternehmen bemerkbar macht. Die Ziele zur Treibhausgasreduzierung fördern Innovationen, da hohe Anreize bestehen, neue technologische Anwendungen zur Marktreife zu führen.

¹⁷ Siehe ebenda.

¹⁸ Siehe auch Seite 49.

¹⁹ Das Kürzel „BRICS“ steht für die Länder Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika.

Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute zu spüren, auch in Deutschland. In den letzten Jahren sind zunehmend Hitzewellen und Extremwetterereignisse wie Starkregen zu verzeichnen. Ohne Gegenmaßnahmen würden die Folgen des Klimawandels zu erheblichen negativen Effekten auf die Land-, Forst- und Wasserwirtschaft führen. Vor diesem Hintergrund spricht nicht nur die Verantwortung für die Umwelt für klimapolitisches Engagement, sondern auch die ökonomische Vernunft.

Die Rahmensetzung der internationalen und nationalen Politik ist ein maßgeblicher Faktor für die weitere Expansion der GreenTech-Märkte. Allerdings lassen sich die komplexen Herausforderungen von Klima- und Umweltschutz künftig nur mithilfe der Digitalisierung bewältigen. Damit die Anstrengungen der globalen und nationalen Klima- und Umweltschutzpolitik Erfolg haben, bedarf es systemischer Lösungen, der Vernetzung von Daten und der Automatisierung von Prozessen. Die Digitalisierung ist demnach ein Enabler („Ermöglicher“) für eine weiterhin dynamische Entwicklung der Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz.

Bereits heute ist die GreenTech-Branche in Deutschland ein technologisch hoch entwickelter Wachstumsmarkt. Innovationen in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz werden immer stärker von Systementwicklungen getrieben, weniger von Einzelkomponenten. Diese Verknüpfung von Einzelkomponenten zu Systemlösungen wird weiterhin an Bedeutung gewinnen – und die Digitalisierung spielt dabei eine Schlüsselrolle, denn sie schafft in den meisten Anwendungen erst die technologischen Voraussetzungen für diese Verknüpfung. Digitale Daten, Automatisierung, digitale Nutzerschnittstellen und Vernetzung fördern Investitionen in GreenTech-Produkte, die Umweltbelastungen vermeiden oder mindern.

Durch die Digitalisierung und die Entwicklung innovativer Technologien verschwimmen zunehmend die Grenzen zwischen verschiedenen Handlungsfeldern der Klima- und Umweltschutzpolitik: „Klimarelevante Innovationen, wie die Entwicklung von Batterien und anderen Stromspeichermöglichkeiten, entstehen beispielsweise sowohl in der Verkehrswirtschaft und Automobilindustrie als auch in der Energiewirtschaft und werden dort weiterentwickelt. Die zunehmende Digitalisierung wird diesen Trend noch verstärken.“²⁰



3

Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz: Aktueller Überblick

Lösungen für die Erhaltung der Ökosysteme

Der Ansatz der GreenTech-Leitmärkte nimmt eine breite Abgrenzung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz vor; integrierte Umwelttechnologien werden bei der Analyse dieser Querschnittsbranche einbezogen. Die Technologien der sechs GreenTech-Leitmärkte bieten einerseits Lösungen für die Erhaltung der Ökosysteme, andererseits tragen sie zur Befriedigung der Grundbedürfnisse einer wachsenden Weltbevölkerung bei.

Auf einen Blick

Die Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz umfasst sechs Leitmärkte:

- Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie,
- Energieeffizienz,
- Rohstoff- und Materialeffizienz,
- Nachhaltige Mobilität,
- Kreislaufwirtschaft,
- Nachhaltige Wasserwirtschaft.

In diesen Leitmärkten liegen Antworten auf die Schlüsselfrage: Wie können die Grundbedürfnisse einer wachsenden Weltbevölkerung befriedigt werden, ohne dabei die ökologischen Grundlagen der Erde zu zerstören?

Die Unterteilung in Leitmärkte liefert einen konsistenten Rahmen für die Betrachtung und Analyse der GreenTech-Branche. Um eine detaillierte Untersuchung zu ermöglichen, gibt es unterhalb der Leitmärkte zwei weitere Ebenen: Marktsegmente und Technologielinien. Die Technologielinien bilden die kleinste Einheit und umfassen Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. Die Technologielinien werden bottom up zu Marktsegmenten zusammengefasst.

Dieser Ansatz der Leitmärkte ermöglicht es, die Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ganzheitlich zu betrachten – sowohl mit Blick auf den weltweiten Markt als auch mit Fokus auf den Markt in Deutschland. Außerdem macht dieser Ansatz sichtbar, wie eng Umwelttechnik und Ressourceneffizienz mit den klassischen Wirtschaftszweigen verflochten sind.

Die wirtschaftliche Bedeutung des Umwelt- und des Klimaschutzes haben bereits diverse Studien analysiert. Allerdings liegen diesen Publikationen verschiedene Fragestellungen und Zielsetzungen zugrunde; demzufolge unterscheiden sich auch die methodischen Ansätze.¹

Die 2007 gestartete Reihe der GreenTech-Publikationen² basiert auf dem Konzept der Leitmärkte, das eine breite Abgrenzung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz vornimmt.

Um die globalen ökologischen Herausforderungen bewältigen zu können, muss der Blick über Güter, die in der „klassischen“ Abgrenzung von Umweltschutzgütern erfasst werden, hinausgehen und auch umweltfreundliche Innovationen sowie neue, umweltentlastende Technologien betrachten. Der Ansatz der GreenTech-Leitmärkte bezieht integrierte Umwelttechnologien in die Analyse der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz mit ein. Die Analyse berücksichtigt

auch Bedürfnisse (etwa Mobilität oder Wasserversorgung) und deren nachhaltige Befriedigung. Ein Großteil der 17 Nachhaltigkeitsziele der UN-Agenda 2030 (siehe Kapitel 2) hat eine enge Beziehung zu den Handlungsfeldern der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Viele Nachhaltigkeitsziele lassen sich nur mithilfe der Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der GreenTech-Branche erreichen, beispielsweise sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen, bezahlbare und saubere Energie, nachhaltige Städte und Gemeinden, nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion, Maßnahmen zum Klimaschutz, Schutz der Ozeane und der Landökosysteme.

Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz umfassen demnach Kernfelder, in denen Antworten auf die Schlüsselfrage liegen: Wie können die Grundbedürfnisse einer wachsenden Weltbevölkerung befriedigt werden, ohne dabei die ökologischen Grundlagen des Planeten Erde zu zerstören?

1 So untersuchen die Studien des Umweltbundesamtes zum „Wirtschaftsfaktor Umweltschutz“ anhand verschiedener Indikatoren zu Produktion und Umsatz, zum internationalen Handel, zu Patenten und öffentlichen Forschungsaufwendungen die Bedeutung des Wirtschaftsfaktors Umweltschutz in Deutschland sowie im internationalen Vergleich. Die Studien stützen sich unter anderem auf die Produktionsstatistik, die internationale Vergleiche zwischen Ländern auf einer exakten Datenbasis ermöglicht. Siehe Umweltbundesamt/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2014).

2 Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2009a), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2012), Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2015c).

Auf dieser konzeptionellen Grundlage wird die Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in sechs Leitmärkte unterteilt:

- Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie,
- Energieeffizienz,
- Rohstoff- und Materialeffizienz,
- Nachhaltige Mobilität,
- Kreislaufwirtschaft,
- Nachhaltige Wasserwirtschaft.



GreenTech-Leitmärkte

Als Leitmärkte werden wesentliche Teilbereiche der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz bezeichnet. Die Technologien der Leitmärkte bieten einerseits Lösungen für die Erhaltung der Ökosysteme, andererseits tragen sie zur Befriedigung grundlegender menschlicher Bedürfnisse bei. Dieser Ansatz findet sich auch in den wichtigen politischen Kernbotschaften wieder, in denen die Ziele der 2030-Agenda zusammengefasst sind.³

Dieser inzwischen etablierte Ansatz der Leitmärkte ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung der Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz sowohl aus nationaler als auch aus globaler Perspektive. Produkte, Verfahren und Dienstleistungen des integrierten Umweltschutzes können in die Branchenanalyse einbezogen werden – was angesichts der zunehmenden Bedeutung dieser integrierten Technologien unabdingbar ist. Außerdem macht dieser Ansatz die enge Verflechtung zwischen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz und den klassischen Wirtschaftszweigen sichtbar. Es gibt teilweise große Überschneidungen mit Schlüsselindustrien wie der Elektroindustrie, dem Maschinen- und Anlagenbau, der Chemieindustrie oder dem Fahrzeugbau. Diese Schnittmengen und Berührungspunkte machen die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zu einer typischen Querschnittsbranche.

Natürlich sind die Grenzen zwischen den Leitmärkten nicht als hermetisch abgeschlossene Trennwände zu verstehen. Gerade in Hinblick auf die zunehmende Relevanz von Systemlösungen sind leitmarktübergreifende Ansätze wichtig. Ein Beispiel dafür ist die integrierte Betrachtung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität.

Die Unterteilung in Leitmärkte liefert einen konsistenten Rahmen für die Untersuchung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Allerdings wäre allein dieses Analyseraster nicht in der Lage, die Dynamik und die Trends der GreenTech-Branche differenziert zu erfassen und darzustellen. Deshalb gibt es zugunsten einer detaillierten Betrachtung unterhalb der Leitmärkte zwei weitere Ebenen für eine feinere Unterteilung: Marktsegmente und Technologielinien. Dieses dreistufige Schema ermöglicht Analysen auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen: Der Blick auf die Gesamtheit des Wirtschaftszweiges und seiner Leitmärkte macht die großen Entwicklungslinien deutlich, die den Status quo und die Perspektiven der GreenTech-Branche prägen (siehe dazu „Zur Methodik: Die Grundlagen der Marktprognosen“ auf Seite 47).

Die Technologielinien bilden die kleinste Einheit und sind der Ausgangspunkt für die Segmentierung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Der Begriff „Technologielinie“ umfasst Produkte, Verfahren und Dienstleistungen. Die Technologielinien werden bottom up zu Marktsegmenten zusammengefasst. Diese Marktsegmente bilden die Leitmärkte. Abbildung 1 zeigt, welche Marktsegmente den sechs Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zugeordnet sind. Auf den folgenden Seiten wird die Segmentierung der einzelnen Leitmärkte detailliert dargestellt.

| 3 Siehe Vereinte Nationen Generalversammlung (2015), Seite 2.

Abbildung 1: Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz und deren Marktsegmente



Quelle: Roland Berger (2017)



Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie



Weltweit lag der Energieverbrauch im Jahr 2016 bei 13.276,3 Millionen Tonnen Rohöleinheiten,⁴ und damit gut ein Prozent höher als im Vorjahr.⁵ Dennoch sind viele Millionen Menschen nach wie vor gezwungen, ohne Stromversorgung zu leben – ein Missstand, den die UN-Agenda 2030 in ihrem Nachhaltigkeitsziel „SDG #7“ adressiert. Es fordert: „Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie für alle sichern“.⁶

Angesichts des globalen Bevölkerungswachstums in Verbindung mit der fortschreitenden Industrialisierung der Schwellenländer wird der Energiebedarf im weltweiten Maßstab weiterhin zunehmen. Die Internationale Energie-Agentur (IEA) geht in ihrem Hauptszenario („New Policies Scenario“) davon aus, dass die globale Energienachfrage bis 2040 um rund ein Drittel steigt.⁷ Dieser Projektion liegt die Annahme zugrunde,

dass die Erde im Jahr 2040 von 9,2 Milliarden Menschen bewohnt wird (2015: 7,2 Milliarden).

Derzeit spielen fossile Energieträger die Hauptrolle im globalen Primärenergiemix: Erdöl, Erdgas und Kohle haben gemeinsam einen Anteil von 85 Prozent am weltweiten Primärenergieverbrauch.⁸ Die Energiewirtschaft verursacht damit rund zwei Drittel der weltweiten Treibhausgasemissionen.⁹ Daraus wird deutlich, dass die Energiewirtschaft eine Schlüsselrolle im Kampf gegen die globale Erwärmung spielt: „Das im November 2016 in Kraft getretene Klimaschutzabkommen von Paris ist in seinem Kern ein Energieabkommen“, schreibt die IEA in ihrem aktuellen World Energy Outlook.¹⁰ Ein transformativer Wandel in der Strom- und Wärmeerzeugung sei eine wesentliche Voraussetzung, damit die Ziele dieses Abkommens erreicht werden. Um die Dekarbonisierung¹¹ der Energiewirtschaft voranzutreiben, sind vier zentrale Hebel relevant: (1) die Verbesserung der Energieeffizienz¹², (2) der Ausbau der erneuerbaren Energien, (3) die Verringerung des Ressourcenverbrauchs und (4) der Schadstoffemissionen bei der Nutzung fossiler Energieträger.

Beim Ausbau der erneuerbaren Energien wurden in den letzten Jahren Fortschritte erzielt, die früher als Science-Fiction-Phantasie gegolten hätten. Die global installierte Leistung der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien belief sich 2016 auf 921 Gigawatt. 176 Staaten haben sich Ziele für den Ausbau erneuerbarer Energien gesetzt und mit entsprechenden Fördermechanismen hinterlegt.¹³ Die IEA geht in ihrem Hauptszenario davon aus, dass die erneuerbaren Energien im Jahr 2040 weltweit einen Anteil von 37 Prozent an der globalen Brutto-Stromversorgung stellen werden.¹⁴

4 Rohöleinheiten (RÖE; Öleinheiten; oil equivalent): Maßeinheit für die in Energieträgern vorhandene Energie beziehungsweise den Energieverbrauch. 1 kg RÖE = 41.868 Joule = 11,63 kW.

5 Siehe BP Statistical Review of World Energy June 2017, Seite 8.

6 Vereinte Nationen Generalversammlung (2015), Seite 15.

7 Siehe Internationale Energie-Agentur (2016a), Seite 1.

8 Siehe BP Statistical Review of World Energy June 2017, Seite 9.

9 Siehe Internationale Energie-Agentur (2016a), Seite 1.

10 Ebenda.

11 Der Begriff „Dekarbonisierung“ steht für die zunehmende Nutzung kohlenstoffarmer Energieträger. Langfristig bedeutet Dekarbonisierung die Reduzierung der beziehungsweise den Ausstieg aus der Nutzung klimaschädlicher fossiler Brennstoffe. Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016c), Seite 21 und Seite 64.

12 Die Energieeffizienz bildet einen eigenen Leitmarkt. Deshalb wird an dieser Stelle nicht weiter auf dieses Handlungsfeld eingegangen.

13 In diesem Wert ist die Energieerzeugung aus Wasserkraft nicht enthalten. Würde man die mit Wasserkraft betriebenen Anlagen berücksichtigen, läge die installierte Leistung zur Nutzung regenerativer Energieträger bei 2.017 Gigawatt (Siehe REN 21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2017), Seite 21).

14 Siehe Internationale Energie-Agentur (2016a), Seite 5.

Da Kohle, Erdgas und Erdöl in den nächsten Jahrzehnten weiterhin eine wesentliche Rolle im globalen Energiemix spielen werden, sind mittel- und langfristige Technologien unverzichtbar, die den Ausstieg aus den fossilen Energieträgern unterstützen, den Einsatz erneuerbarer Energien forcieren sowie international den Ressourcenverbrauch und den Schadstoffausstoß bei der Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern minimieren und auf diese Weise die Nutzung fossiler Brennstoffe klimaverträglicher gestalten.

In Deutschland steht die Energiewirtschaft ebenfalls im Fokus der Klimaschutzpolitik: Auf die Energiewirtschaft entfallen fast 39 Prozent der Gesamtemissionen (2015).¹⁵ Durch den Ausbau der erneuerbaren Energie – 2016 lag ihr Anteil an der Bruttostromversorgung bei 29 Prozent¹⁶ – und die Verbesserung der Energieeffizienz sind die Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft in den letzten Jahrzehnten erheblich gesunken: Zwischen 1990 und 2016 war ein Rückgang um 26,5 Prozent zu verzeichnen.¹⁷

Eine wesentliche Voraussetzung für die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft sind Flexibilisierungsoptionen: Wenn der Anteil regenerativer Energien wie

Photovoltaik und Windkraft ausgebaut wird, muss das Lastmanagement verbessert werden und die Kapazitäten für die Energiespeicherung müssen deutlich wachsen. Denn mit der fluktuierenden Einspeisung dieser erneuerbaren Energieträger steigt die Herausforderung, das für die Netzstabilität erforderliche Gleichgewicht zwischen Stromerzeugung und Stromnachfrage herzustellen. Der Ausbau von Speichertechnologien soll nicht nur den Ausgleich zwischen dem zeitweisen Überangebot regenerativ erzeugter Energie und Nachfrageüberhängen ermöglichen; Speichertechnologien tragen auch dazu bei, erneuerbaren Strom über Sektorengrenzen hinweg zu nutzen.

Die angesprochenen Herausforderungen auf dem Weg zum Ziel einer ressourcenschonenden und klimaverträglichen Energieversorgung lassen sich in vier Handlungsfelder gruppieren: erneuerbare Energien, umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe, Speichertechnologien und effiziente Verteilungsnetze. Diese Handlungsfelder bilden die gleichnamigen Marktsegmente des Leitmarktes Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie (siehe Abbildung 2).

Abbildung 2: Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie

 Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie			
Erneuerbare Energien	Umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe	Effiziente Verteilungsnetze	Speichertechnologien
• Photovoltaik • Solarthermie • Solarthermische Kraftwerke • Windkraft (Onshore) • Windkraft (Offshore) • Geothermie • Wasserkraft	• Gas- und Dampfkombikraftwerke • Blockheizkraftwerke • Hochleistungskraftwerke • CCS (CO₂-Abscheidung und -Speicherung) • Abwärmenutzung	• Regelungstechnologie für Netze • Regelungstechnologie für Anlagen • Wärme- und Kältenetze • Zähl- und Verbrauchsmessungssysteme • IKT („Internet der Energie“)	• Mechanische Speicherung von Energie • Elektrochemische Speicherung von Energie • Elektronische Speicherung von Energie • Thermische Speicherung von Energie • Chemische Speicher • Power2X

Quelle: Roland Berger (2017)

¹⁵ Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017b), Seite 27.

¹⁶ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017a).

¹⁷ Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017c), Seite 28.

Leitmarkt Energieeffizienz



Die Energieeffizienz ist ein zentraler Hebel, um die Treibhausemissionen zu reduzieren. Jede Kilowattstunde, die nicht verbraucht wird, muss erst gar nicht erzeugt werden. Die Energieeffizienz hat sich in den 29 Mitgliedsstaaten der Internationalen Energie-Agentur (IEA) in den Jahren 2000 bis 2015 um 14 Prozent verbessert. Allein 2015 konnten so weltweit 450 Millionen Tonnen Rohöleinheiten eingespart werden.¹⁸ Das entspricht in etwa dem gesamten Primärenergieverbrauch Japans im selben Jahr.¹⁹ Der gedrosselte Energieverbrauch hat zudem die weltweiten Energieausgaben um 540 Milliarden US-Dollar gesenkt.²⁰

Das bisher eingeschlagene Tempo bei der Verbesserung der Energieeffizienz reicht aber nicht aus, um im globalen Maßstab einen hinreichenden Beitrag zu einer nachhaltigen, klimaverträglichen Energiewirtschaft zu leisten. Noch bleiben weltweit etwa zwei Drittel des Potenzials zur Steigerung der Energieeffizienz ungenutzt, so die Schätzung der IEA.²¹

Die Verbesserung der Energieeffizienz steht in Europa ganz oben auf der Agenda der Energie- und Klimapolitik. „Efficiency first“ heißt die Devise, die die Europäische Union beim Update ihrer Energieeffizienzricht-

Energieeffizienz



Als Indikatoren der Energieeffizienz werden Energieproduktivität (wirtschaftliche Leistung pro Einheit eingesetzter Energie) oder Energieintensität (Energieeinsatz pro Einheit wirtschaftlicher Leistung) herangezogen. Eine Steigerung der Energieproduktivität beziehungsweise eine Verringerung der Energieintensität bedeutet eine Entkopplung von Wirtschaftsleistung und Energieverbrauch und ist die Voraussetzung für nachhaltiges Wachstum. Anders ausgedrückt: Mit möglichst wenig Energie soll eine möglichst hohe Wertschöpfung erreicht werden.

linie im November 2016 ausgegeben hat. Bis 2030 soll die Energieeffizienz in den EU-Staaten um 30 Prozent verbessert werden. Das heißt, es soll knapp ein Drittel weniger Energie verbraucht werden als in einem Referenzszenario ohne Berücksichtigung energieeffizienter Maßnahmen.

In Deutschland zählt die Endenergieproduktivität zu den sogenannten Nachhaltigkeitsindikatoren. Das Ziel lautet, im Zeitraum 2008 bis 2050 jährlich die Endenergieproduktivität um 2,1 Prozent zu steigern. Nach Berechnungen des Statistischen Bundesamtes hat sich die Endenergieproduktivität zwischen 2008 und 2015 um 9,3 Prozent erhöht; das entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Anstieg um 1,3 Prozent – ein positiver Trend, der aber noch unzureichend ist.²²

Zur weiteren Verbesserung der Energieeffizienz sollte der Fokus auf die vier Handlungsfelder gelegt werden, die zusammen den Leitmarkt Energieeffizienz bilden. Die Systematisierung der Marktsegmente orientiert sich an den Bereichen beziehungsweise Verbrauchergruppen, die große Potenziale für Energieeinsparungen bieten: Industrie, Gewerbe und Dienstleistungen sowie der Immobiliensektor (siehe Abbildung 3).

18 Siehe International Energy-Agency (2016b), Seite 13.

19 Siehe BP Statistical Review of World Energy June 2017, Seite 9.

20 Siehe International Energy-Agency (2016b), Seite 13.

21 Siehe ebenda.

22 Siehe Statistisches Bundesamt (2017a), Seite 47.

Abbildung 3: Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Energieeffizienz

 Energieeffizienz			
Energieeffiziente Produktionsverfahren	Energieeffizienz von Gebäuden	Energieeffizienz von Geräten	Branchenübergreifende Komponenten
• bei der Metallerzeugung • in der Grundstoffchemie • im Fahrzeugbau • im Maschinenbau • im Handel/Logistik • in der Metallbearbeitung • bei der Produktion von Papier/Pappe • in der Kunststoffverarbeitung • in der Nahrungs- und Genussmittelherstellung • in der Verarbeitung von Steinen und Erden • in der Herstellung von Glas- und Keramikerzeugnissen	• Wärmedämmung • Gebäudeautomation • Passivhäuser/Plus-Energiehäuser • Effiziente Heizungs-, Klima-, Lüftungstechnik	• Energieeffizienz von Haushaltsgeräten • Green IT • Energieeffiziente Beleuchtung • Energieeffiziente Unterhaltungselektronik	• Mess-, Steuer- und Regeltechnik • Prozessleittechnik • Pumpensysteme • Ventilatoren • Elektrische Antriebe • Wärmetauscher • Kompressoren, Druckluft und Vakuumtechnik

Quelle: Roland Berger (2017)

Das Marktsegment Energieeffiziente Produktionsverfahren konzentriert sich auf die Kernprozesse in unterschiedlichen Branchen. Es geht um die zentrale Frage, an welchen Stellschrauben Unternehmen drehen müssen, um durch eine Optimierung ihrer Prozesse den Energieverbrauch zu senken. Die Technologielinien dieses Marktsegments (siehe Abbildung 3) betrachten dabei wichtige Wirtschaftszweige, unter anderem die Grundstoffchemie, Handel und Logistik, Fahrzeugbau, Nahrungs- und Genussmittelherstellung, Metallerzeugung, Metallbearbeitung sowie Produktion von Papier und Pappe.

Energieeinsparungen im Gebäudesektor sind ein zentrales Handlungsfeld bei der Senkung des Energieverbrauchs beziehungsweise der Minderung des Treibhausgasausstoßes. Energieeffizienz von Gebäuden bildet ein eigenes Marktsegment, das vier wesentliche Technologielinien umfasst: Effiziente Heizungs-, Klima-, Lüftungstechnik, Gebäudeautomation, Wärmedämmung, Passivhäuser und Plus-Energiehäuser.

Ein weiteres Marktsegment ist die Energieeffizienz von Geräten. Hier liegt der Fokus auf den Einsparmöglichkeiten für Unternehmen und Konsumenten bei der Nutzung von elektrischen Geräten. Betrachtet werden Haushaltsgeräte („Weiße Ware“), Unterhaltungselektronik, Beleuchtung sowie der Bereich Informations- und Kommunikationstechnologie („Green IT“).

Im Marktsegment Branchenübergreifende Komponenten werden Technologielinien zusammengefasst, die in Unternehmen – unabhängig von deren Branchenzugehörigkeit – bei den sogenannten unterstützenden Prozessen der Leistungserstellung²³ zur Energieersparnis beitragen. Dazu gehören elektrische Antriebe, Kompressoren, Druckluft und Vakuumtechnik, Pumpensysteme, Prozessleittechnik, Ventilatoren, Wärmetauscher sowie Mess-, Steuer- und Regeltechnik.

| 23 Die unterstützenden Prozesse werden auch als Subsysteme der Produktion bezeichnet.



Ziele und Maßnahmen des Nationalen Aktionsplans Energieeffizienz (NAPE) (2014)²⁴

Der Primärenergieverbrauch in Deutschland soll bis 2020 um 20 Prozent und bis 2050 um 50 Prozent jeweils bezogen auf das Jahr 2008 reduziert werden. Bis 2020 soll der Endenergieverbrauch für Wärme um 20 Prozent und der Stromverbrauch sowie der Endenergieverbrauch im Verkehrssektor um 10 Prozent gegenüber 2008 gesenkt werden.²⁵

Um diese Ziele zu erreichen, enthält der NAPE eine Reihe von Maßnahmen mit unterschiedlichem Zeit-horizont:

- Qualitätssicherung und Optimierung der bestehenden Energieberatungsprogramme des Bundes
- Weiterentwicklung des CO₂-Gebäudesanierungsprogramms der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) sowie die Weiterentwicklung der KfW-Energieeffizienzprogramme zur Förderung von Investitionen in energieeffiziente Technologien durch Unternehmen
- Einführung des wettbewerblichen Ausschreibungsmodells für Energieeffizienz (STEP up!)
- Initiative Energieeffizienznetzwerke
- Unternehmen, die nicht zu der Gruppe kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) zählen, sind verpflichtet, ein Energieaudit nach DIN EN 16247-1 durchzuführen und alle vier Jahre zu wiederholen
- „Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende“; es regelt Vorgaben und Verpflichtungen zur Einführung intelligenter Messsysteme auf Erzeuger- und Verbraucherseite²⁶
- Förderung von Contracting
- Nationales Effizienzlabel für Heizungsanlagen etc.



²⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017b), Seite 9.

²⁵ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017c), Seite 4.

²⁶ In Kraft getreten am 29. August 2016.

Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz



Im Jahr 2017 fiel der sogenannte Welterschöpfungstag („Earth Overshoot Day“) auf den 2. August. Ab diesem Datum, das jedes Jahr von der Organisation Global Footprint Network errechnet wird, überzieht die Menschheit ihr Ressourcenkonto. Das heißt, sie entnimmt der Erde mehr Ressourcen als theoretisch vorhanden sind, um die Bedürfnisse der Weltbevölkerung im gleichen Jahr zu befriedigen. Basis dieser Kalkulation ist der ökologische Fußabdruck – daran gemessen sind aktuell 1,7 Planeten Erde nötig, um den Rohstoffbedarf der Menschen zu decken.²⁷ Entwickelt sich der Ressourcenverbrauch ungebrems weiter, wären im Jahr 2030 zwei Erden nötig²⁸ – was die Tragfähigkeit der Ökosysteme überfordern würde.

Der Rohstoffverbrauch nimmt weltweit stetig zu. Das hat verschiedene Gründe: Bevölkerungswachstum, Verbreitung ressourcenintensiver Konsummuster sowie die nachholende Industrialisierung vieler Schwellenländer halten die Nachfrage nach Rohstoffen auf einem hohen Niveau.

Statistisch betrachtet, verbraucht jeder Mensch in Deutschland über 16 Tonnen Metall, Beton, Holz und

andere Rohstoffe jährlich. Das entspricht 44 Kilogramm pro Tag. Zum Vergleich: Großbritannien und Frankreich bringen es auf ähnliche Werte. In Japan liegt der Rohstoffverbrauch etwa um ein Drittel niedriger. Australien verbraucht etwa drei Mal so viele Rohstoffe wie Deutschland.²⁹

Ein schonender und effizienter Umgang mit Rohstoffen ist eine der Schlüsselfragen der Zukunftsfähigkeit von Wirtschafts- und Gesellschaftssystemen, wobei die Aspekte der Rohstoffknappheit sowie des Umwelt- und des Klimaschutzes zu berücksichtigen sind.

Der Begriff „Rohstoffknappheit“ wird häufig verwendet, aber fast ebenso häufig falsch interpretiert: Es geht im Kontext Ressourcen in der Regel nicht um physische Knappheit, weil Vorkommen bestimmter Rohstoffe erschöpft sind. Es geht vielmehr um relative Knappheit, die sich aus „geologischen, technischen, strukturellen sowie geopolitischen, sozioökonomischen und ökologischen Versorgungsfaktoren“ in Bezug auf die jeweilige Nachfrage ergibt.³⁰ Diese relative Knappheit wird durch Kritikalitätsanalysen ermittelt. Auf dieser Basis veröffentlichen zum Beispiel die Europäische Kom-

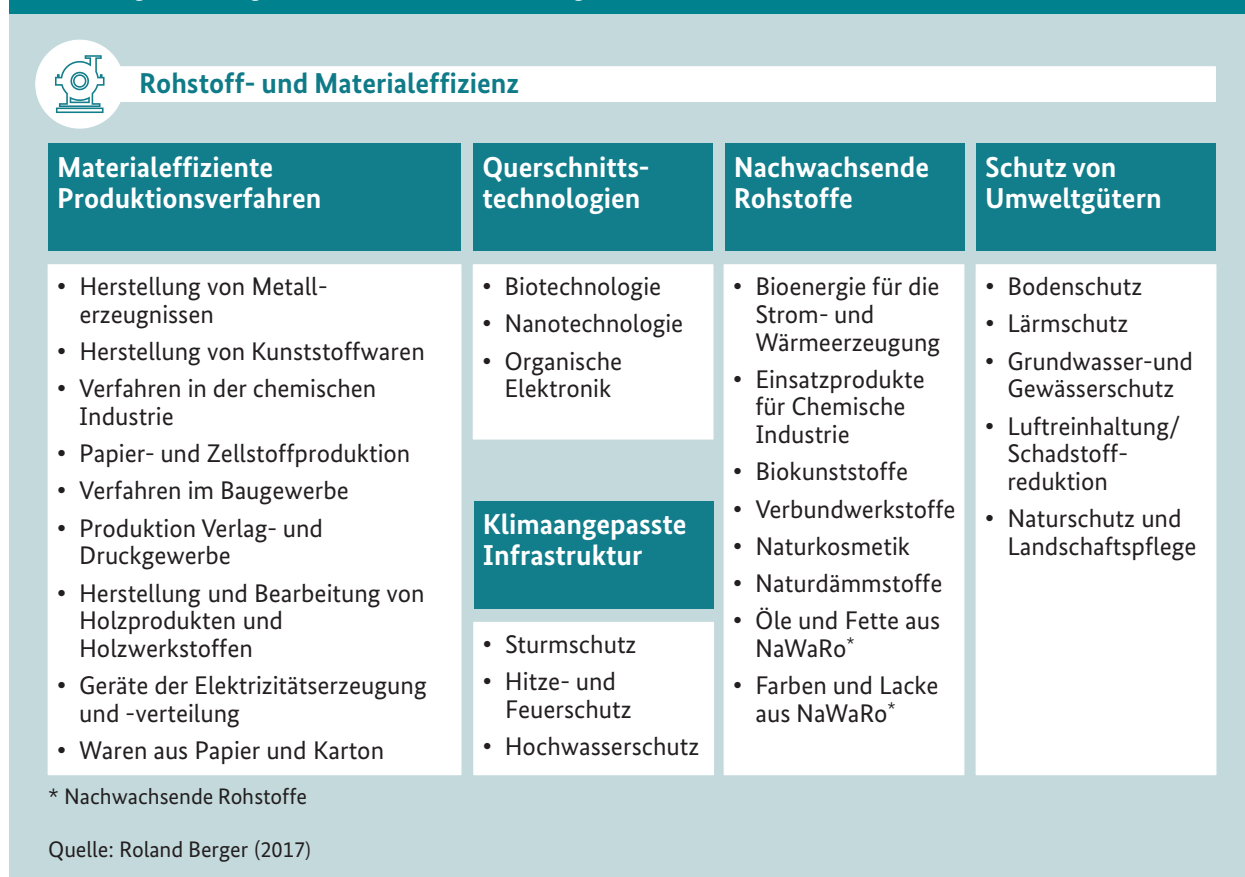
²⁷ Siehe Earth Overshoot Day (2017).

²⁸ Siehe World Wildlife Fund (2017).

²⁹ Siehe Umweltbundesamt (2016a), Seite 47.

³⁰ Siehe ebenda, Seite 11.

Abbildung 4: Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz



mission und die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Listen mit kritischen Rohstoffen für die europäische beziehungsweise deutsche Wirtschaft.

Für die Umwelt ist der global zunehmende Rohstoffbedarf eine schwere Bürde: Die ökologischen Folgen des Abbaus und der Verarbeitung von Rohstoffen sind immens. Meistens sind mit dem Abbau von Rohstoffen gravierende Eingriffe in Natur und Landschaft sowie gesundheitliche Risiken für die Menschen in den betroffenen Regionen verbunden. Bei der Gewinnung, dem Transport und der Verarbeitung von Rohstoffen werden Treibhausgasemissionen in erheblichem Umfang freigesetzt.

Sowohl ökologische als auch ökonomische Argumente erfordern, die Wirtschaftsentwicklung vom Rohstoffverbrauch zu entkoppeln und so die mit der Rohstoffentnahme verbundenen schädlichen Umweltauswirkungen zu minimieren. Einen wesentlichen Beitrag hierzu muss die Verbesserung der Rohstoffeffizienz leisten. Sie lässt sich anhand der Rohstoffproduktivität abbilden. Diese Kennzahl ist auch ein Indikator der

Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie. Die Bundesregierung hat bereits 2015 mit dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRes) das Ziel bekräftigt, die Rohstoffproduktivität zu steigern. Zwischen den Jahren 2000 und 2010 lag die Zunahme der Rohstoffproduktivität bei durchschnittlich 1,5 Prozent pro Jahr. Dieser Trend setzt sich fort.³¹

Der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz umfasst Technologien und Verfahren, die den Verbrauch von nicht-energetischen Rohstoffen (zum Beispiel Metalle wie Eisen, Kupfer oder nichtmetallische Rohstoffe wie Steine und Erden) und Werkstoffen reduzieren.³² Ressourceneffizienz ist der übergeordnete Begriff für die beiden Bereiche Energieeffizienz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz. Die Technologien und Verfahren der Energieeffizienz bilden einen eigenen Leitmarkt. Rohstoffeffizienz bedeutet Effizienz bei der Rohstoffgewinnung, Materialeffizienz bezeichnet die Effizienz bei der Rohstoffverarbeitung. Eine wesentliche Rolle als Anwendungsbereich für die Technologien dieses Leitmarktes spielt die Güterproduktion in Industrie und Gewerbe (siehe Abbildung 4).

31 Siehe Statistisches Bundesamt (2017a), Seite 52f.

32 Ressourcen zur Nahrungsmittelproduktion und Wasser werden in diesem Leitmarkt nicht berücksichtigt.

Das Marktsegment Materialeffiziente Produktionsverfahren beschreibt anhand von Beispielen aus verschiedenen Industriebranchen, wie Betriebe durch Verbesserungen der Produktionsprozesse sowohl ihre Kosten senken als auch die Umwelt schützen können.

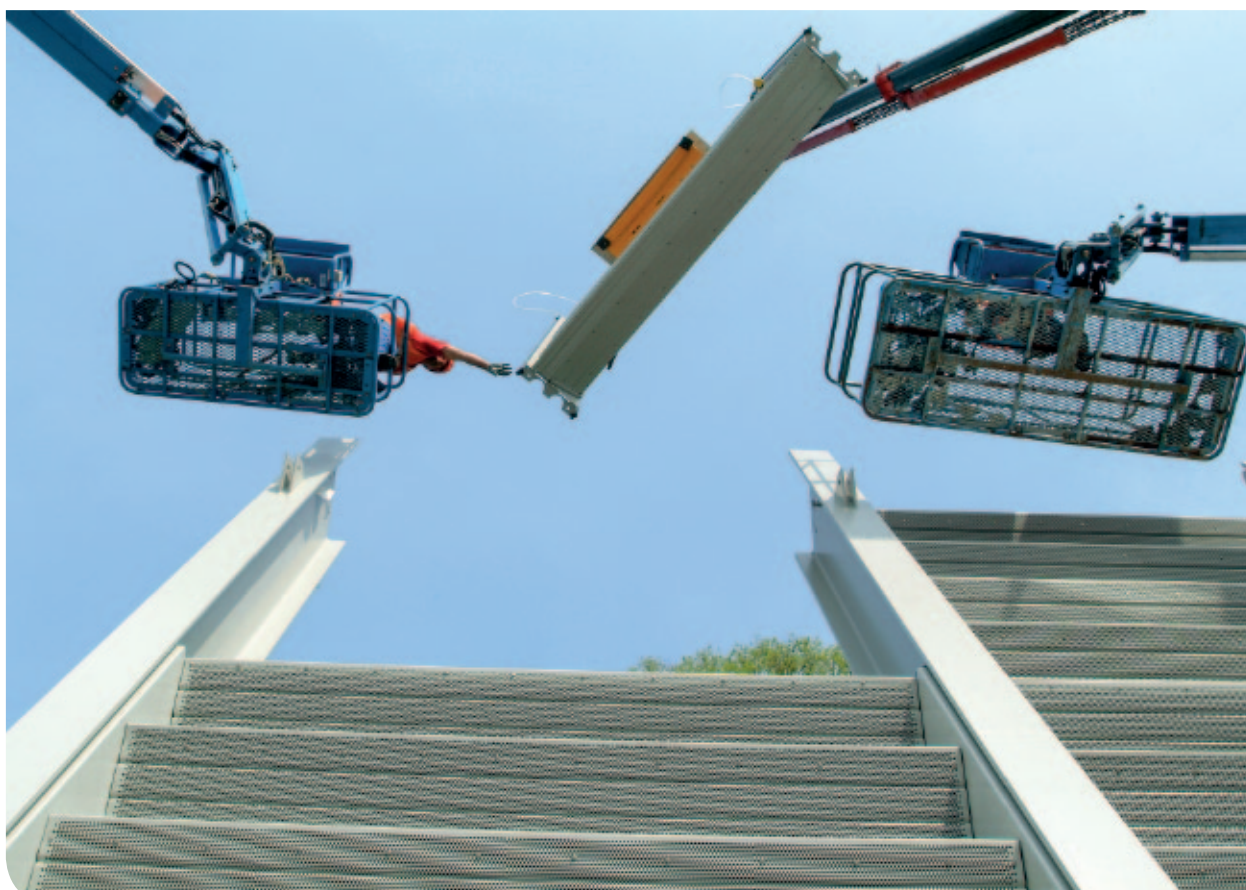
Im Marktsegment Querschnittstechnologien werden Biotechnologie, Nanotechnik und Organische Elektronik im Kontext Materialeffizienz beschrieben. Als Querschnittstechnologien werden Technologien bezeichnet, deren Anwendung nicht auf bestimmte Industrien beschränkt bleibt, sondern für eine Vielzahl von Branchen relevant ist. Zu diesen Querschnittstechnologien zählen die Biotechnologie, die Nanotechnik und die Organische Elektronik. Sie gelten für die Weiterentwicklung materialeffizienter Produkte und Verfahren als Schlüsseltechnologien.

Nachwachsende Rohstoffe bilden das dritte Marktsegment dieses Leitmarktes: Der Ersatz endlicher fossiler durch nachwachsende Rohstoffe stellt einen wesentlichen Hebel für den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen dar. Anhand dieses Kriteriums wurden diesem Marktsegment unter anderem die Technologielinien Feedstock für chemische Industrie und Naturkosmetik zugeordnet. Diese Technologielinien umfassen Produkte und Verfahren, um den Wechsel der Rohstoffbasis

der Industrie von erdölbasierenden zu nachwachsenden Rohstoffen zu unterstützen. Zur Technologielinie Naturkosmetik gehören Kosmetikprodukte, für deren Herstellung auf nachwachsende Rohstoffe zurückgegriffen wird. Ein Merkmal von Naturkosmetik ist der Verzicht auf die Verwendung von Paraffinen und Silikonen sowie anderer Produkte auf Erdölbasis.

Der Zusammenhang zwischen wachsendem Rohstoffbedarf, steigender Rohstoffförderung und daraus resultierenden Beeinträchtigungen und Risiken für Ökosysteme ist die konzeptionelle Grundlage, den Schutz von Umweltgütern als Marktsegment des Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz aufzunehmen. Zu diesem Marktsegment gehören auch die Renaturierung von Gebieten, die durch die Folgen der Rohstoffentnahme gezeichnet sind, sowie Verfahren zur umweltschonenden Rohstoffgewinnung.

Das Marktsegment Klimaangepasste Infrastruktur umfasst Technologien, die dem Sturmschutz, dem Hitze- und Feuerschutz sowie dem Hochwasserschutz dienen. Dahinter steht die Logik, dass die Prävention von Schäden, die durch Extremwetterereignisse verursacht werden, nicht nur Menschenleben schützt, sondern durch die Erhaltung von Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen auch den Rohstoffbedarf eindämmt.



Leitmarkt Nachhaltige Mobilität



Auf den Straßen rund um den Globus wird es immer enger zugehen, denn in den nächsten Jahrzehnten ist mit einer starken Expansion des Verkehrssektors zu rechnen. Gemessen an Passagierkilometern wird sich die globale Verkehrsleistung zwischen 2015 und 2050 voraussichtlich mehr als verdoppeln; im selben Zeitraum wird sich das Frachtaufkommen wahrscheinlich verdreifachen. Der Fahrzeugbestand dürfte 2050 bei rund 2,4 Milliarden liegen – 2015 wurden eine Milliarde Fahrzeuge gezählt.³³

Diese Prognose hat das Weltverkehrsforum (International Transport Forum – ITF) im „Transport Outlook 2017“ veröffentlicht. Diese jährlich erscheinende Publikation analysiert die Trends, die den Verkehrssektor weltweit prägen werden. In puncto Klimaschutz sind die Aussichten alarmierend: Ohne Gegensteuern könnten sich die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors bis 2050 um bis zu 60 Prozent erhöhen.³⁴ Eine solche Entwicklung wäre ein Rückschlag für den Klimaschutz. Aktuell stellt der Verkehrssektor einen Anteil von 24 Prozent am weltweiten CO₂-Ausstoß.³⁵ In Europa gehen rund 20 Prozent auf das Konto des Verkehrssektors, in Deutschland 18 Prozent.^{36, 37}

Die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen und deren klimaschädliche Wirkung sind der nach wie vor immens starken Ölabhängigkeit des Verkehrssektors geschuldet. Nach Angaben der Internationalen Energie-Agentur (IEA) liegt der Öl-Anteil am Endenergieverbrauch des Verkehrssektors weltweit bei 93 Prozent.³⁸ Auch in Europa ist Öl die Schlüsselressource der Mobilität; es deckt 96 Prozent des Energiebedarfs des Verkehrssektors.

Um die Erfolgchancen im Kampf gegen die globale Erwärmung zu wahren, müssen die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors reduziert werden. So muss die EU bis 2050 die verkehrsbedingten Emissionen um mindestens 60 Prozent gegenüber dem Stand von 1990 verringern, um die Klimaziele zu erreichen. „Wir müssen sowohl das Innovationstempo beschleunigen als auch drastische politische Weichenstellungen vornehmen, um den Verkehr vom CO₂ zu entwöhnen“, erklärte José Viegas bei der Präsentation des „Transport Outlook 2017“.³⁹ Dieser Appell gilt auch für Deutschland. Hier soll der Verkehrssektor einen ambitionierten Beitrag leisten, damit die nationalen Klimaschutzziele erreicht werden. Laut Klimaschutzplan 2050 soll das Verkehrs-

33 Siehe International Transport Forum (2017a).

34 Siehe ebenda.

35 Siehe International Energy Agency (2016c), Seite 97.

36 Siehe Eurostat (2017).

37 Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016d), Seite 30.

38 Siehe International Energy Agency (2017).

39 International Transport Forum (2017b).

system in Deutschland bis 2050 nahezu unabhängig von Kraftstoffen mit fossilem Kohlenstoff und somit weitgehend treibhausgasneutral sein. Als Meilenstein auf dem Weg zu diesem Ziel wird angestrebt, dass die Treibhausgasemissionen des Verkehrssektors bis 2030 auf 95 bis 98 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente gemindert werden. Zum Vergleich: 2014 lag dieser Wert bei 160 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalenten.⁴⁰

Die Zunahme des Verkehrs, insbesondere des Straßenverkehrs, schadet nicht nur dem Klima: Feinstaub, Stickstoffoxide und Verkehrslärm gefährden die Gesundheit der Menschen, vor allem in den Städten. Weltweit verursachen Luftschadstoffe pro Jahr den Tod von über 3,5 Millionen Menschen.⁴¹ Zwischen 2005 und 2010 ist die Zahl der Todesfälle um vier Prozent gestiegen; diese Entwicklung ist unter anderem auf den zunehmenden Smog in China und Indien zurückzuführen. In Deutschland ist die Feinstaubbelastung für 42.000 vorzeitige Todesfälle und über 300.000 verlorene gesunde Lebensjahre verantwortlich.⁴²

Vor dem Hintergrund des Klimaschutzes und der Umweltbelastungen ist deshalb ein Umsteuern im Verkehrssektor geboten. Es ist unstrittig, dass Mobilität ein Grundbedürfnis von Menschen und eine Voraussetzung für das Funktionieren moderner, arbeitsteiliger Volkswirtschaften ist. Unstrittig ist aber auch, dass die Mobilität nachhaltig gestaltet werden muss. Im Kern geht es darum, das Verkehrsaufkommen vom verkehrsbedingten Energieverbrauch und den verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen zu entkoppeln sowie Schäden für Mensch und Umwelt zu minimieren.

Neue Technologien, verknüpft mit einer weiteren Digitalisierung des Verkehrssektors, bieten die Chance, Mobilität klimaverträglich und umweltfreundlich zu gestalten. „Der technologische Fortschritt kann bis 2050 rund 70 Prozent der möglichen CO₂-Reduktion liefern. Weitere Reduktionen verlangen eine neue Herangehensweise an die Mobilität. In diesem Bereich gibt es noch viel Spielraum. Wir müssen sehr viel stärker über Dinge wie ‚shared mobility‘, veränderte Logistikketten und sogar neue Verkehrsträger nachdenken“, unterstreicht ITF-Generalsekretär José Viegas.⁴³ Ausschließlich auf technologische Lösungen zu setzen,

wird für den nachhaltigen Wandel der Mobilität in den Städten nicht ausreichen. Es bedarf zusätzlicher Anreize und verbesserter Rahmenbedingungen für eine Änderung der individuellen Mobilitätsgewohnheiten. Dazu zählen attraktive ÖPNV-Angebote sowie eine Stadtplanung und Infrastruktur, die sich vom autozentrierten Denken löst.

Bei der nachhaltigen Umgestaltung des Verkehrssektors ist ein integrierter Ansatz aus Verkehrsvermeidung, Verlagerung von Verkehr auf umweltschonende Verkehrsmittel und die Erhöhung der Effizienz erforderlich, um den Ausstoß zu reduzieren. Es geht nicht allein um den Ersatz von Verbrennungsmotoren durch alternative Antriebe wie Elektromobilität. Das Ziel ist, mit einer nachhaltigen Raum- und Stadtentwicklung den Verkehrssektor so zu gestalten, dass die individuelle Mobilität von Menschen und Gütern gewährleistet ist – und zwar ohne zwangsläufige Zunahme des motorisierten Straßenverkehrs. Diese Herausforderungen bilden die zentralen Handlungsfelder des Leitmarktes Nachhaltige Mobilität, die in vier Marktsegmenten abgebildet werden.

Das Marktsegment Alternative Antriebstechnologien umfasst Elektroantriebe, Hybridantriebe und Brennstoffzellenantriebe (siehe Abbildung 5). Durch die Marktdurchdringung beziehungsweise Weiterentwicklung dieser Antriebsarten als Alternative zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren wird die Dekarbonisierung des Verkehrssektors vorangetrieben und die Abhängigkeit von Öl-basierten Kraftstoffen reduziert. Denselben Ziel dienen die Technologielinien des Marktsegments Erneuerbare Kraftstoffe.

Um die CO₂-Emissionen des Verkehrssektors zu minimieren, müssen gleichzeitig Verbrennungsmotoren effizienter werden. Die entsprechenden Produkte und Technologien bietet das Marktsegment Technologien zur Effizienzsteigerung.

Im Marktsegment Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung werden durch innovative Maßnahmen und Technologien mobilitätsbedingte Emissionen reduziert. Eine wichtige Rolle kommt hier intelligenten Verkehrskonzepten zu, die einzelne Verkehrsträger verknüpfen.

40 Siehe Bundesministerium für Umweltbau, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016b).

41 Siehe Organisation for Economic Co-operation and Development (2014).

42 Siehe ebenda.

43 International Transport Forum (2017b).

Abbildung 5: Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität



Nachhaltige Mobilität

Alternative Antriebstechnologien	Erneuerbare Kraftstoffe	Technologien zur Effizienzsteigerung	Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung
• Hybridantrieb • Elektroantrieb • Brennstoffzellenantrieb	• Bioethanol • Biodiesel • Biomethan • Regenerativ erzeugter Wasserstoff • Bio-Kerosin	• Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren • Leichtbautechnologien • Energiesparende Reifen	• Schienenfahrzeuge und Schieneninfrastruktur • Verkehrsleitsysteme • Öffentlicher Personennahverkehr • Tankstelleninfrastruktur für alternative Antriebe • Car Sharing • Fahrradwege

Quelle: Roland Berger (2017)



Leitmarkt Kreislaufwirtschaft



Die Müllberge werden sich rund um den Globus zu gigantischen Gebirgen auftürmen. Ohne energisches Gegensteuern wird die Menschheit im Jahr 2100 elf Millionen Tonnen Abfall pro Tag produzieren, so das Business-as-usual-Szenario der Weltbank-Studie *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*.⁴⁴ Das Abfallaufkommen ist weltweit ungleich verteilt. Den meisten Müll produzieren die Industrieländer Europas und Nordamerikas. Jedoch zeichnet sich ab, dass die Müllmenge im Zuge der ökonomischen Entwicklung in vielen Schwellenländern weiterhin zunehmen wird. In den OECD-Staaten erwarten die Autoren der Weltbank-Studie den Höchststand der Müllproduktion im Jahr 2050. Das Müllaufkommen in Ostasien wird den Peak voraussichtlich 2075 erreichen.

Grundsätzlich ist das Abfallaufkommen in urban geprägten Regionen höher. Um den weltweit tagtäglich anfallenden Müll aus den Städten abzutransportieren, müsste eine Fahrzeugkolonne aus 5.000 Lastkraftwagen (Lkw) anrollen.⁴⁵

Die Ausgaben für das Abfallmanagement werden in der Weltbank-Studie auf 205 Milliarden US-Dollar pro Jahr geschätzt. Aber die wachsende Müllmenge fordert nicht nur einen hohen ökonomischen Preis, sondern geht auch auf Kosten der Umwelt. In den meisten Entwicklungs- und Schwellenländern ist die Infrastruktur zur Abfallentsorgung unzureichend oder gar nicht

vorhanden. Ungeregelte Lagerung, illegale Deponien und Müllverbrennung unter freiem Himmel führen zu erheblichen Umweltbelastungen und Gesundheitsrisiken. Verunreinigungen des Bodens, des Grundwassers und der Oberflächengewässer schädigen die Ökosysteme. Die nicht sachgerechte Behandlung und Deponierung von Abfall hat auch erhebliche Auswirkungen auf das Klima. Durch die Vergärung organischer Abfallbestandteile entstehen Deponiegase. Sie enthalten das klimaschädliche Methan-Gas.

Damit die Müllberge nicht in den Himmel wachsen, gilt es weltweit die Kreislaufwirtschaft auszubauen. Sie wird von zwei Merkmalen charakterisiert: Abfallvermeidung und Rückgewinnung von Wertstoffen.⁴⁶ Die Kreislaufwirtschaft hat das Potenzial, durch die Verwertung von Abfällen den Einsatz von Primärrohstoffen und die mit ihrer Gewinnung einhergehenden Umweltbelastungen zu reduzieren. Der hohe Stellenwert der Abfallvermeidung und des Recycling weist auf das Ideal des Full-Cycle-Konzepts hin: Das Modell der geschlossenen Kreisläufe folgt dem Prinzip natürlicher Ökosysteme, die keinen Müll produzieren, sondern alle Stoffe in wiederverwertbare Ressourcen verwandeln.

Nicht nur unter ökologischen Aspekten ist es erforderlich, Recycling-Optionen weiterzuentwickeln, um den Bedarf an Primärrohstoffen zu reduzieren. So ist die Kreislaufwirtschaft ein wichtiges Instrument, um die Auswirkungen von Knappheit und volatilen Preisen auf den Rohstoffmärkten zu dämpfen. Dies ist auch aus ökonomischen Gründen geboten: Die Abhängigkeit der deutschen Wirtschaft von Rohstoffimporten ist hoch. Gerade für Industrieunternehmen sind stark schwankende Preise auf den Rohstoffmärkten eine Herausforderung. Hinzu kommt, dass zahlreiche Rohstoffe ein hohes Beschaffungsrisiko aufweisen: Die DERA-Rohstoffliste 2016 attestiert 114 – von 300 untersuchten – Rohstoffen ein „hohes potenzielles Beschaffungsrisiko“ aufgrund von Angebotskonzentration und erhöhten Länderrisiken.⁴⁷ „Durch Wettbewerbsverzerrungen, Handelskonflikte, Spekulation, politische Maßnahmen oder Naturkatastrophen können potenzielle Beschaffungsrisiken schnell zu realen Preis- und Lieferproblemen werden“, so die Warnung der DERA.

⁴⁴ Siehe Weltbank (2013).

⁴⁵ Siehe ebenda.

⁴⁶ Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016e), Seite 8.

⁴⁷ Deutsche Rohstoffagentur (2017).

Das Leitbild der Kreislaufwirtschaft sieht eine fünf-stufige Abfallhierarchie vor mit der Rangfolge Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige, insbesondere energetische, Verwertung und Beseitigung. Vorrang hat die unter Umweltaspekten beste Option, wobei ökologische, technische, wirtschaftliche und soziale Folgen zu betrachten sind. Diese Abfallhierarchie ist in der EU-Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG) festgeschrieben. In Deutschland wurde sie durch das 2012 in Kraft getretene Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) in nationales Recht umgesetzt. Es hat das 1996 verabschiedete Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) abgelöst.

Mit diesen ordnungspolitischen Weichenstellungen hat Deutschland schon frühzeitig auf eine konsequente Politik der Kreislaufwirtschaft gesetzt. So ist es gelungen, die Entwicklung der Abfallmenge von der Wirtschaftsleistung zu entkoppeln. Der Indikator dafür ist die Abfallintensität,⁴⁸ die sich im Zeitraum 2000 bis 2015 um 25,9 Prozentpunkte verringert hat.⁴⁹ Auch die Recyclingquoten haben sich kontinuierlich verbessert, wie ein Beispiel zeigt: 1990 wurden 87 Prozent der Haushaltsabfälle als Restmüll deklariert; lediglich 13 Prozent wurden als Wertstoffe (Biomüll, Glas, Papier) behandelt. Im Jahr 2013 hat sich diese Relation gründlich verändert: Von den 43,9 Millionen Tonnen Haushaltsabfällen landeten 15,3 Millionen Tonnen im Restmüll (35 Prozent), 28,6 Millionen Tonnen Biomüll, Glas, Papier und Verpackungsabfälle kamen in die Wertstofftonnen.⁵⁰

Die Abfallhierarchie bildet einen Rahmen für die Einteilung der Marktsegmente des Leitmarktes Kreislaufwirtschaft (siehe Abbildung 6): Dienstleistungen und Infrastruktur im Bereich Abfallsammlung, -transport und -trennung bilden das Fundament der Kreislaufwirtschaft, denn sie sind die Voraussetzung für die Abfallverwertung. Das Marktsegment Stoffliche Verwertung besteht aus den Technologielinien Werkstoffliche Verwertung und Rohstoffliche Verwertung. Als werkstoffliche Verwertung werden Recyclingverfahren bezeichnet, bei denen der Stoff und seine chemische Struktur erhalten bleiben. Darunter fällt beispielsweise das Umschmelzen von Altkunststoffen zur Herstellung von Granulat. Bei der rohstofflichen Verwertung werden die Stoffe so behandelt, dass es zu einer Änderung der chemischen Bindungen kommt: Aus Altkunststoffen lassen sich zum Beispiel Öle, Wachse oder Gase gewinnen.

Eine weit verbreitete Form der energetischen Verwertung ist die thermische Abfallbehandlung: Der Abfall wird verbrannt, und die dabei freigesetzte Energie wird zur Wärmebereitstellung oder Stromerzeugung genutzt. Eine weitere Option der energetischen Verwertung ist die Nutzung von Bioabfällen in Biogasanlagen. Abfälle, die nicht für eine stoffliche oder energetische Verwertung infrage kommen, müssen umweltgerecht beseitigt werden. Technologielinien, die diesem Zweck dienen, sind im Marktsegment Abfalldeponierung zusammengefasst.

Abbildung 6: Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft

 Kreislaufwirtschaft			
Abfallsammlung, -transport und -trennung	Stoffliche Verwertung	Energetische Verwertung	Abfalldeponierung
• Abfallsammlung und -transport • Abfalltrennung	• Werkstoffliche Verwertung • Rohstoffliche Verwertung	• Stromerzeugung • Wärmeerzeugung	• Deponiebau • Absicherung von Deponien • Deponiesanierung

Quelle: Roland Berger (2017)

48 Abfallintensität wird definiert als das Verhältnis des Gesamtabfallaufkommens zum Bruttoinlandsprodukt.

49 Siehe Umweltbundesamt (2017b).

50 Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016e), Seite 12.

Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft



Sauberes Wasser und Zugang zu sanitären Einrichtungen für alle Menschen – dieses Ziel ist in der Agenda 2030 festgeschrieben. Doch aktuell haben knapp 750 Millionen Menschen kein sauberes Wasser zur Verfügung. Rund 2,5 Milliarden Menschen müssen ohne beziehungsweise mit unzulänglichen Sanitäreinrichtungen auskommen.⁵¹

Das Ziel #6 der UN-Agenda 2030 adressiert ausdrücklich die Qualität und das Management der globalen Wasserressourcen, denn: „Water and sanitation are at the very core of sustainable development, critical to the survival of people and the planet.“⁵² Wasser spielt eine Schlüsselrolle für die Menschheit: Ernährung, Gesundheit, Umwelt, Energieumwandlung und die wirtschaftliche Entwicklung hängen von einer quantitativ und qualitativ ausreichenden Wasserversorgung ab. Diese steht jedoch in vielen Regionen der Erde auf dem Spiel. Das Zusammenwirken von Bevölkerungswachstum, steigenden Einkommen und Urbanisierung treibt den globalen Wasserbedarf nach oben. Seit 1980 ist die Wasserentnahme jährlich um ein Prozent gestiegen.⁵³ Hinzu kommen die Auswirkungen des Klimawandels.

Die globale Erwärmung wird sich auf die Verfügbarkeit von Wasser in vielen Regionen der Welt auswirken. Außerdem werden Extremwetterereignisse wie Hitzeperioden oder Starkregenfälle häufiger und intensiver – was wiederum Konsequenzen für die Wasserversorgung hat.

Auf die Landwirtschaft entfällt mit 70 Prozent weltweit der größte Anteil an der Wassernutzung.⁵⁴ Wenn der Nahrungsmittelbedarf einer wachsenden Weltbevölkerung steigt, wird auch der Anteil der bewässerten Anbauflächen zunehmen – was zu einer weiteren Belastung des Wasserhaushalts beziehungsweise einer Wasserverknappung in den betroffenen Regionen führen wird.

Diese Entwicklungen verheißen nichts Gutes: „If current water management policies persist, and climate models prove correct, water scarcity will proliferate to regions where it currently does not exist, and will greatly worsen in regions where water is already scarce. [...] Reduced freshwater availability and competition from other uses – such as energy and agriculture – could reduce water availability in cities by as much as

⁵¹ Siehe Welthungerhilfe (2017a).

⁵² United Nations, Department of Economic and Social Affairs (2017).

⁵³ Siehe UNESCO (2016), Seite 3.

⁵⁴ Siehe UNESCO (2015), Seite 11.

two thirds by 2050, compared to 2015 levels.“⁵⁵ In einem Business-as-usual-Szenario wird die Diskrepanz zwischen globaler Wassernachfrage und Wasserangebot bei 40 Prozent liegen.⁵⁶

Schwindende Wasservorräte belasten einige Länder schon heute: Der US-Bundesstaat Kalifornien wurde von einer fünf Jahre anhaltenden Dürre geplagt, die im Februar 2017 von extrem starken Regenfällen beendet wurde. Im April 2016 meldeten chinesische Nachrichtenagenturen, dass Provinzen im Norden des Landes von einer heftigen Dürre heimgesucht wurden. Etwa 200.000 Bauern und 80.000 Stück Großvieh litten unter Trinkwassermangel.⁵⁷ Und Brasilien, eines der wasserreichsten Länder der Erde, durchlebte 2015 eine Wasserkrise, die in einigen Städten zu Rationierungen des „blauen Goldes“ führte.⁵⁸

Die sichere Versorgung mit Wasser hat nicht nur eine quantitative, sondern auch eine qualitative Dimension. Das Problem der Wasserversorgung wird vielerorts durch die Verschmutzung der Wasserressourcen verschlimmert. So belastet der Schadstoffeintrag durch Düngemittel und Pestizide das Grundwasser. In den Entwicklungsländern landen bis zu 90 Prozent der Abwässer aus Haushalten und Gewerbebetrieben ungeklärt in Seen, Flüssen und dem Meer.⁵⁹

Die globale Wasserkrise zu entschärfen und das in der UN-Agenda 2030 formulierte Ziel „Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen“ zu erreichen, kann nur durch eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wasserressourcen gelingen, die die Grundbedürfnisse der

heutigen Generationen befriedigt ohne die Lebensgrundlage künftiger Generationen zu gefährden. Dieses Ziel zu erreichen, ist durch den Einsatz leistungsfähiger Umwelttechnik möglich. Zum Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft gehören fünf Marktsegmente, deren Systematik die verschiedenen Stationen im Kreislauf der Wasserwirtschaft nachzeichnet (siehe Abbildung 7).

Das Marktsegment Wassergewinnung und -aufbereitung stellt die erste Etappe dieses Kreislaufs dar. Es umfasst unter anderem Produkte und Verfahren zur Erschließung und Förderung von Frischwasservorkommen, Überwachung des Grundwassers sowie die Planung, Errichtung und Betrieb von Anlagen zur Wasseraufbereitung.

Dem Marktsegment Wassernetz werden alle Komponenten des Wasserverteilungssystems zugerechnet, die den Transport des Frischwassers von der Wasseraufbereitungsanlage bis zum Verbraucher und in umgekehrter Richtung den Transport des Abwassers vom Verbraucher bis zur Kläranlage bewerkstelligen. Weitere Marktsegmente der Nachhaltigen Wasserwirtschaft sind die Abwasserreinigung und Abwasserverfahren. Das Marktsegment Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung umfasst ein breites Spektrum an Produkten, Verfahren und Dienstleistungen, die den effizienten Umgang mit der Ressource Wasser unterstützen, etwa Instrumente zur Wassermessung oder Wassermanagementsysteme. Die Technologielinien dieses Marktsegments sind nach den Anwendergruppen private Haushalte, Industrie und Gewerbe sowie Landwirtschaft unterteilt.

55 Weltbank (2016), Seite 1.

56 Siehe UNESCO (2015), Seite 11.

57 Siehe China Observer (2016).

58 Siehe Deutschlandfunk (2015).

59 Siehe Welthungerhilfe (2017b).

Abbildung 7: Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft



Nachhaltige Wasserwirtschaft

Wasser- gewinnung und -aufbereitung	Wassernetz	Abwasser- reinigung	Abwasser- verfahren	Effizienzsteige- rung bei der Wassernutzung
- Wasser- gewinnung - Wasser- aufbereitung - Neuartige Sanitärsysteme (NASS)	- Wasserverteilung - Abwasser- sammlung und -transport	- Schlamm- behandlung - Energie- management Kläranlagen - Rückgewinnung von Stoffen bei der Abwasser- behandlung	Abwasser- behandlung	- Wassereffizienz- technologien im häuslichen Bereich - Wassereffizienz- technologien in der Land- wirtschaft - Wassereffizienz- technologien im gewerblichen und industriellen Bereich

Quelle: Roland Berger (2017)



4

Der globale und nationale Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

Weiter auf Expansionskurs

Die Nachfrage nach „grünen“ Produkten, Verfahren und Dienstleistungen bleibt weltweit auf einem hohen Niveau. Das globale Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz hat 2016 die Marke von drei Billionen Euro überschritten. Bis 2025 – so die Prognose – wird sich das Volumen der sechs GreenTech-Leitmärkte auf 5.092 Milliarden Euro beziffern. Von diesem Wachstum werden auch deutsche Anbieter maßgeblich profitieren.



Auf einen Blick

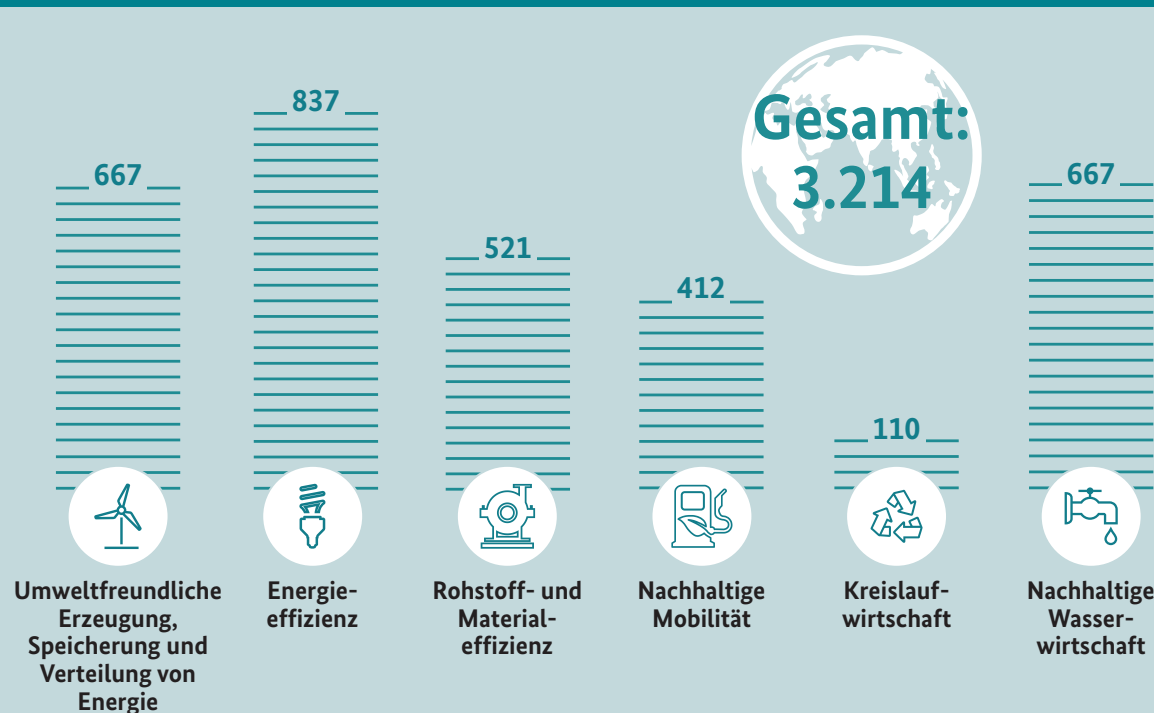
Die GreenTech-Branche wird ihren Expansionskurs in den nächsten Jahren fortsetzen: Das weltweite Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz wird sich von 3.214 Milliarden Euro (2016) bis zum Jahr 2025 voraussichtlich auf 5.902 Milliarden Euro erhöhen. Das entspricht einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 6,9 Prozent.

In Deutschland verläuft die Entwicklung dieses „grünen“ Wirtschaftszweigs sogar noch dynamischer: Hier wird das Marktvolumen bis 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 8,8 Prozent zulegen und dann ein Marktvolumen von 738 Milliarden Euro erreicht haben (2016: 347 Milliarden Euro). In der globalen Perspektive zeigt sich die Nachhaltige Mobilität als der expansivste Leitmarkt: Bis 2025 wird eine jahresdurchschnittliche Wachstumsrate von 10,2 Prozent prognostiziert. Diese Dynamik ist vor allem der Entwicklung im Marktsegment Alternative Antriebstechnologien geschuldet: Sein Marktvolumen erhöht sich weltweit mit einer jahresdurch-

schnittlichen Wachstumsrate von 29,2 Prozent. In Deutschland wächst dieses Marktsegment bis 2025 jahresdurchschnittlich sogar um 49 Prozent. Auch andere Bereiche der Nachhaltigen Mobilität fallen durch eine hohe Dynamik auf: Fünf der „Top 10“-Technologielinien mit besonders rasantem Wachstumstempo gehören auf dem deutschen GreenTech-Markt zum Leitmarkt Nachhaltige Mobilität.

Insgesamt haben deutsche Anbieter am weltweiten Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz einen Anteil von 14 Prozent. Zum Vergleich: Der Anteil Deutschlands an der globalen Wirtschaftsleistung beziffert sich auf 4,6 Prozent. Die Bedeutung der GreenTech-Branche für den Standort Deutschland spiegelt sich im Anteil dieses Wirtschaftszweiges am Bruttoinlandsprodukt (BIP) wider: 2016 hat die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 15 Prozent der Wirtschaftsleistung beigesteuert. Rund 1,5 Millionen Beschäftigte waren 2016 in den sechs GreenTech-Leitmärkten in Deutschland tätig.

Abbildung 8: Globales Volumen der Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 (in Milliarden Euro)



Quelle: Roland Berger (2017)

Entwicklung auf den internationalen Märkten und in Deutschland

Das globale Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz lag 2016 über der Marke von drei Billionen Euro: In den sechs GreenTech-Märkten wurde insgesamt ein Umsatz von 3.214 Milliarden Euro erwirtschaftet (siehe Abbildung 8). Damit setzt sich die expansive Entwicklung der grünen Querschnitts-

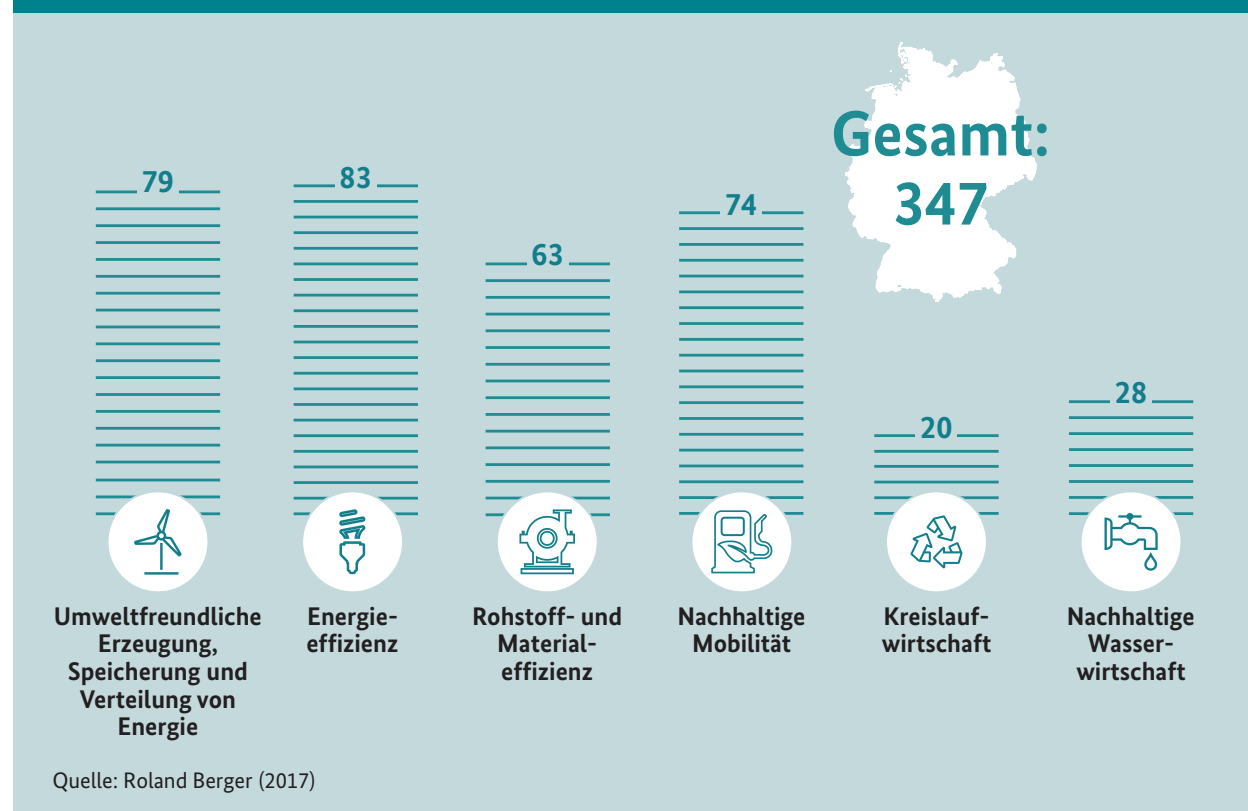
branche fort. Im Jahr 2013 bezifferte sich das weltweite Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz auf 2.536 Milliarden Euro.¹ Mit einem Volumen von 837 Milliarden Euro (2016) ist die Energieeffizienz nach wie vor der größte „grüne“ Leitmarkt.

Blick auf Deutschland: Energieeffizienz ist der größte Leitmarkt

In Deutschland bezifferte sich das Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 auf 347 Milliarden Euro. Auch innerhalb der deutschen GreenTech-Branche ist die Energieeffizienz der größte Leitmarkt. 2016 betrug sein Marktvolumen 83 Milliarden Euro (siehe Abbildung 9). Der zweitgrößte

Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie brachte es auf ein Volumen von 79 Milliarden Euro, die Nachhaltige Mobilität auf 74 Milliarden Euro. In dieser Reihenfolge spiegelt sich wider, dass Deutschland zu den Vorreitern im Bereich regenerative Energien und deren Integration in das Netz zählt. Der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität erhält Wachstumsimpulse von der Automobilindustrie, einem Wirtschaftszweig, der in Deutschland traditionell sehr stark ist.

Abbildung 9: Volumina der Leitmärkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland 2016 (in Milliarden Euro)



¹ Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2015c), Seite 48.

Zur Methodik: Die Grundlage der Marktprognosen



Das Roland Berger Marktmodell berechnet das aktuelle Marktvolumen der Leitmärkte und prognostiziert die zukünftigen Marktvolumina. Den Ausgangspunkt bilden dabei die Technologielinien (Produkte, Verfahren und Dienstleistungen) der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Sie werden in einem Bottom-up-Ansatz analysiert und zu Marktsegmenten zusammengefasst, die wiederum die sechs GreenTech-Leitmärkte bilden.

Die Datengrundlage für die jeweiligen Technologielinien liefern einschlägige Markt- und Branchenstudien. Die Daten basieren auf einem Business-as-usual-Szenario; bei dieser konservativen Betrachtung werden die aktuell geltenden umweltrechtlichen und ordnungspolitischen Rahmenbedingungen zugrunde gelegt und für die Prognosen der zukünftigen Marktentwicklung fortgeschrieben.

Das Roland Berger Marktmodell berücksichtigt die hohe Dynamik der Branche: Für jede Auflage des GreenTech-Atlas wird die bisher angewandte Berechnungsmethode überprüft. Gegebenenfalls werden Anpassungen vorgenommen, wenn etwa neue Marktstudien veröffentlicht worden sind, die präzisere Berechnungen ermöglichen, oder sich die Einstufung von Technologien verändert hat. Dies lässt sich an zwei Beispielen verdeutlichen: (1) In der Technologielinie Energieeffiziente Beleuchtung hat der Stand der Technik die Kompaktleuchtstofflampen, die einst als „grüne Alternative“ zu Glühlampen oder Halogenlampen galten, durch LED abgelöst. Das Marktvolumen für Energiesparlampen zählt im Marktmodell des GreenTech-Atlas 2018 damit nicht mehr zum GreenTech-Markt. (2) Im Marktsegment Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung erfolgte die Berechnung des Marktvolumens über die Umsätze der Wasserwirtschaft, eine Investitionsrate und eine Amortisationszeit, die entsprechend der für die Branche üblichen Werte abgeschätzt wurde. Im aktuellen GreenTech-Atlas werden zusätzlich historische Investitionsvolumen zum Vergleich herangezogen und die Amortisationszeiten an diese Daten angepasst.

Im Roland Berger Marktmodell werden bewusst Technologien auf der untersten Aggregationsebene analysiert. Dabei unterliegt das Marktmodell einem allgemeinen Prinzip: Es werden nur Technologien betrachtet, keine Anwendungen oder Verbrauchswaren. Dieser Grundsatz soll am Beispiel der Technologielinie Elektrische Antriebe im Marktsegment Alternative

Antriebe des Leitmarkts Nachhaltige Mobilität veranschaulicht werden. Der Markt für elektrische Antriebe umfasst über die Elektromobilität im Bereich der Personenkraftwagen (Pkw) hinaus alle elektrischen Antriebe, beispielsweise in E-Bussen, E-Fahrrädern und anderen elektrisch angetriebenen Fortbewegungsmitteln (Gabelstapler, Motorräder etc.). Für das Marktvolumen der Technologielinie Elektrische Antriebe wird nicht das Marktvolumen von E-Autos berechnet. Es findet sich kumuliert in vielen Technologielinien (Leichtbau, Elektrochemische Speicherung von Energie, Energieeffizienz im Fahrzeugbau, Organische Elektronik etc.) wieder. Diese Herangehensweise stellt sicher, dass das Marktvolumen nicht auf Basis von technologieübergreifenden Systemen, etwa E-Autos, entsteht, in denen viele verschiedene Technologien zum Einsatz kommen.

Es gibt auch Technologielinien, die sowohl Technologie als auch Verbrauchsware darstellen können, zum Beispiel Biomasse. Werden solche Technologielinien im Rahmen des Marktmodells betrachtet, bezieht sich das Marktvolumen lediglich auf die für die GreenTech-Unternehmen interessanten Technologien. Das Marktvolumen in der Technologielinie Biomasse setzt sich dabei aus den Technologien zur Erzeugung (Biogasanlagen), dem Transportmittel (Spezialcontainer) und der Verwendung von Biomasse (beispielsweise Brennkammern in Blockheizkraftwerken) zusammen.

In einigen Technologielinien kommt darüber hinaus ein Dienstleistungsanteil hinzu. Für die Berechnung und Systematisierung der Dienstleistungen dient die Studie *Umwelttechnik-Dienstleistungen. Treiber für ökologische Modernisierung und Beschäftigung als Grundlage*.²

Betrachtet werden im Marktmodell die Marktgröße im Jahr 2016 und die Wachstumsraten bis 2025 sowohl für den nationalen Markt als auch für die globalen Märkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Die Anteile der deutschen GreenTech-Anbieter wurden aus dem weltweiten Marktvolumen abgeleitet.

Das internationale Marktvolumen zeigt die aktuelle Verwendung von grünen Produkten, Verfahren und Dienstleistungen weltweit und die voraussichtliche Entwicklung der GreenTech-Nachfrage. Ein Blick aus der nationalen Perspektive illustriert, welche Nachfrage auf den GreenTech-Leitmärkten in Deutschland herrscht.

² Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2009b).

Die Nachfrage nach „grünen“ Produkten, Verfahren und Dienstleistungen wird in den nächsten Jahren weiterhin steigen. Mit diesem Rückenwind wird die GreenTech-Branche ihren Wachstumskurs fortsetzen – sowohl international als auch national. Das globale Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz wird sich im Jahr 2025 voraussichtlich auf 5.902 Milliarden Euro beziffern (siehe Abbildung 10). Das heißt, die Querschnittsbranche entwickelt sich im Zeitraum 2016 bis 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 6,9 Prozent.³

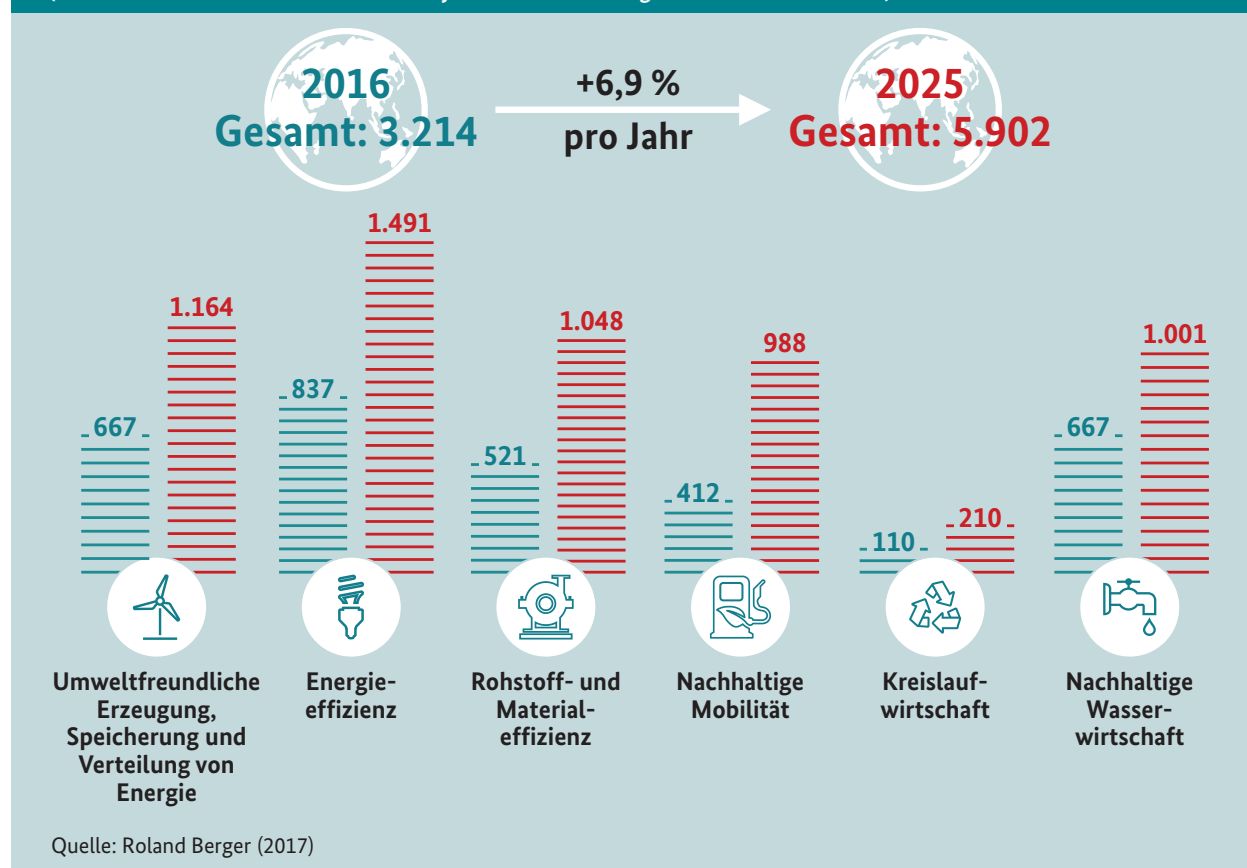
In Deutschland wird die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ihr Marktvolumen bis 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 8,8 Prozent ausweiten (siehe Abbildung 11). Damit fällt das Expansionstempo der GreenTech-Branche hierzulande etwas höher aus als im globalen Maßstab. In dieser Prognose spiegelt sich der hohe Stellenwert der Umweltpolitik wider, der zum einen durch den ordnungspolitischen Rahmen unterstützt wird, der verlässliche Leitplanken für unternehmerische Investitionsentscheidungen setzt. Zum anderen sorgt die Erwartungshaltung von

Kunden – sowohl im Business-to-Business- als auch im Business-to-Consumer-Bereich – langfristig für die Nachfrage nach klimafreundlichen und umweltverträglichen Produkten und Dienstleistungen.

Die Nachfrage auf dem Heimatmarkt bietet zugleich Chancen für die in Deutschland ansässigen GreenTech-Unternehmen. Sie sind wesentlich näher an ihren Kunden und können neue Technologien gemeinsam mit den Anwendern auf individuelle Bedürfnisse zugeschnitten entwickeln. Die Kooperation im Heimatmarkt fördert außerdem systemische Ansätze in der GreenTech-Branche. Gerade Umwelttechnik-Anbieter aus Deutschland können durch ihre systemische Lösungskompetenz und das technologische Know-how sowohl international erfolgreich sein als auch große Anteile des deutschen Marktvolumens für sich aktivieren.

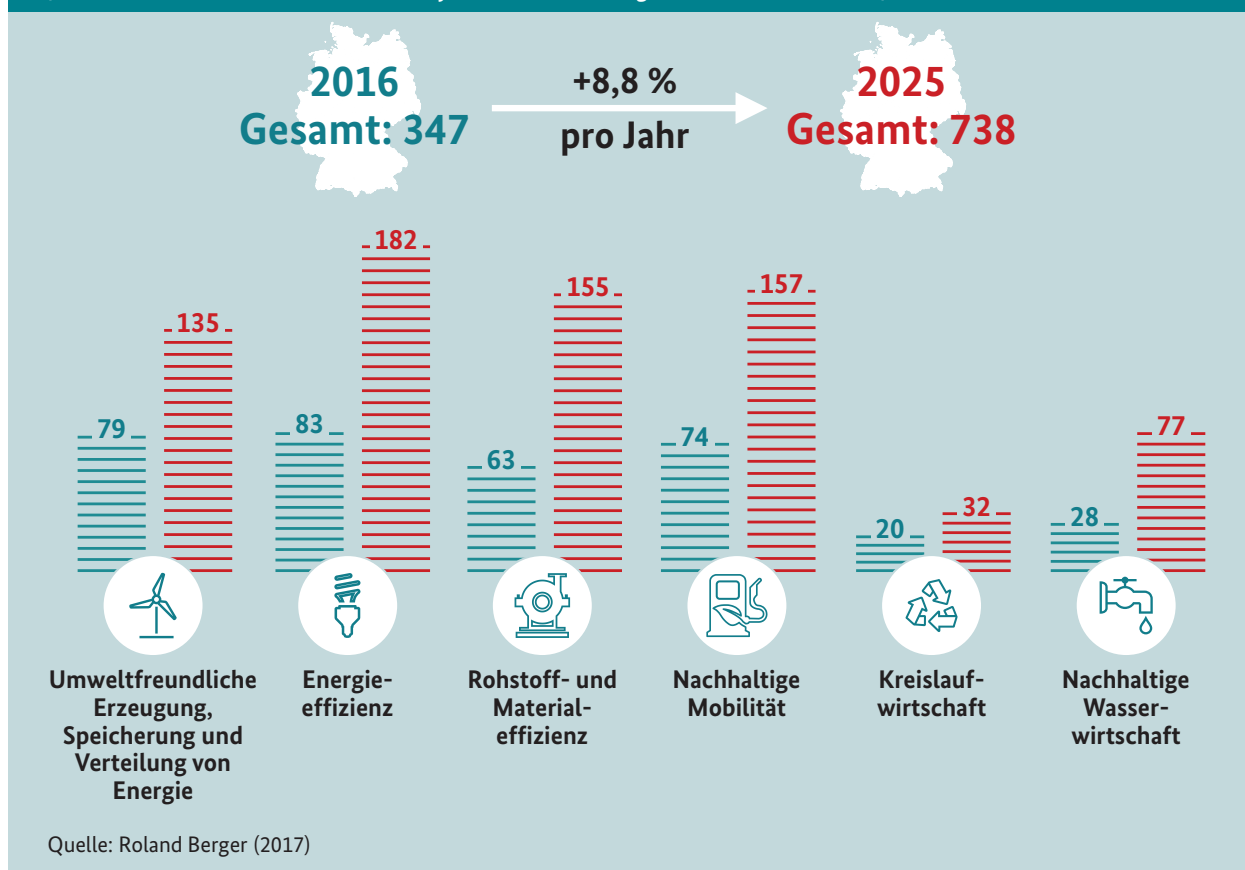
Der Blick auf die einzelnen Leitmärkte offenbart in der globalen Perspektive, dass die Geschwindigkeit des Wachstums innerhalb des Gesamtmarktes der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz unterschiedlich

Abbildung 10: Entwicklung des globalen Marktvolumens für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 bis 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



³ Der Wert von 6,9 Prozent errechnet sich aus dem gewichteten Durchschnitt der jahresdurchschnittlichen Wachstumsraten der einzelnen Leitmärkte.

Abbildung 11: Entwicklung des deutschen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 bis 2025
(in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



ausfällt. Das größte Tempo bei der Expansion legt der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität vor. Er entwickelt sich zwischen 2016 und 2025 mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 10,2 Prozent (siehe Abbildung 12).

Diese Wachstumsrate spiegelt die Anstrengungen wider, die rund um den Globus für eine klimaverträgliche und umweltfreundliche Umgestaltung des Verkehrssektors unternommen werden. Eine Schlüsselrolle bei der Dekarbonisierung des Verkehrssektors spielen Alternative Antriebstechnologien. Das Wachstum dieses Marktsegments ist der Rückenwind für die dynamische Entwicklung des gesamten Leitmarktes. Hinter diesem Treiber steht ein Wandel der Verkehrspolitik in wichtigen Märkten, insbesondere in China: Nach den Plänen der chinesischen Regierung sollen dort bis 2020 fünf Millionen Elektroautos fahren, das entspricht einem Marktanteil von fünf bis zehn Prozent.⁴

Der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz wächst ebenfalls stärker als der Durchschnitt der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz insgesamt. Die

jahresdurchschnittliche Wachstumsrate bis 2025 liegt bei 8,1 Prozent. Treiber dieser Expansion ist vor allem das Marktsegment Nachwachsende Rohstoffe mit den Technologielinien Öle und Fette aus nachwachsenden Rohstoffen, Biokunststoffe und Bioenergie (zur Strom- und Wärmeerzeugung). Auch das Marktsegment Branchenübergreifende Querschnittstechnologien und -methoden entwickelt sich sehr dynamisch, insbesondere die Technologielinie Organische Elektronik; sie wird in vielen Anwendungen zum neuen Standard, beispielsweise werden für Smartphone-Displays zunehmend organische Licht emittierende Dioden (OLED – organic light emitting diodes) eingesetzt.

Die Kreislaufwirtschaft ist innerhalb der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz der Leitmarkt mit dem kleinsten Volumen. Allerdings haben vor allem Entwicklungs- und Schwellenländern großen Nachholbedarf beim Thema Abfallentsorgung. Dies zeigt sich unter anderem an den umweltpolitischen Zielen, die im 13. Fünf-Jahresprogramm Chinas formuliert wurden. Es enthält Aktionsprogramme für die Luft-, Wasser- und Bodenreinhaltung, die Verbesserungen bei

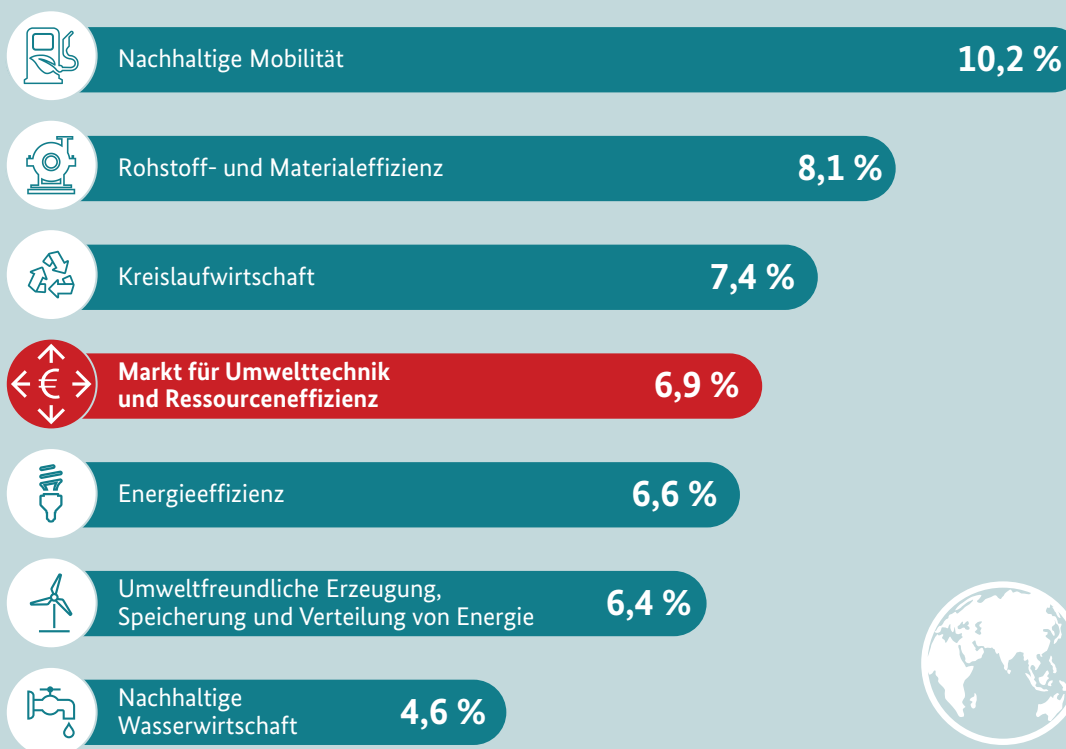
4 Siehe Becker, Joachim (2017).

der Abfallbehandlung beinhalten.⁵ Auch Indien will das Thema Abfallbehandlung und Entsorgung stärker angehen, insbesondere die Bereiche Recycling von Elektroschrott, Papier und Kunststoffen sowie die Entsorgung von Sondermüll. Dabei setzt Indien vor allem auf Investitionen aus der Privatwirtschaft. Der Leitmarkt Kreislaufwirtschaft verzeichnet eine im Vergleich zur Gesamtbranche leicht überdurchschnittliche Entwicklung (7,4 Prozent). Diese Dynamik wird in erster Linie von den Marktsegmenten Stoffliche Verwertung und Energetische Verwertung getragen.

Die Wachstumsraten der Leitmärkte Energieeffizienz, Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie sowie Nachhaltige Wasserwirtschaft fallen geringer aus als im Durchschnitt der GreenTech-Branche insgesamt. Dies darf jedoch keinesfalls als Indikator für eine schwindende Bedeutung interpretiert werden: Diese drei Leitmärkte sind überaus wichtige Segmente der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz, in denen erhebliche Umsätze

erwirtschaftet werden. Allerdings handelt es sich um etablierte Märkte mit einem großen Umsatzvolumen sowie einem hohen Reifegrad der meisten Produkte und Prozesse. Dies wiederum bedingt, dass das Preisniveau in diesen Leitmärkten tendenziell stagniert, unter anderem durch Skaleneffekte – was sich in den vergleichsweise geringeren Wachstumsraten widerspiegelt, da die Entwicklung der Leitmärkte auf Basis der Umsätze quantifiziert wird. Die in Abbildung 12 dargestellten Wachstumsraten stellen die Gesamtwerte für den jeweiligen Leitmarkt dar. Auf Ebene der Marktsegmente und der Technologielinien sind auch in den „reifen“ Leitmärkten Segmente mit einer überaus dynamischen, durch Technologiewechsel induzierten Entwicklung zu finden. Ein Beispiel dafür ist die Technologielinie Energieeffiziente Beleuchtung (jahresdurchschnittliches Wachstum bis 2025: 14,5 Prozent) im Leitmarkt Energieeffizienz, deren Entwicklung maßgeblich von der zunehmenden Nachfrage nach LED und Halogenlampen gefördert wird, die die klassischen Energiesparlampen ersetzen.

Abbildung 12: Globales Wachstum der einzelnen Leitmärkte 2016 bis 2025 im Vergleich zur Entwicklung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz insgesamt (durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



Quelle: Roland Berger (2017)

5 Siehe German Trade & Invest (2016).



Blick auf Deutschland: Unterschiede im Entwicklungstempo der Leitmärkte

Die nationale Betrachtung zeigt ebenfalls Unterschiede beim Entwicklungstempo der einzelnen Leitmärkte. Mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 11,8 Prozent hat der Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft eine besondere Dynamik vorzuweisen. Motor dieses Trends ist das Marktsegment Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung, das im Zeitraum 2016 bis 2025 im Jahresdurchschnitt um 29,5 Prozent expandiert. Daran wird deutlich, dass der effiziente Umgang mit der Ressource Wasser in Privathaushalten, in der Landwirtschaft und der Industrie eine immer wichtigere Rolle spielt und die Nachfrage nach entsprechenden Produkten, Verfahren und Dienstleistungen entsprechend zunimmt.

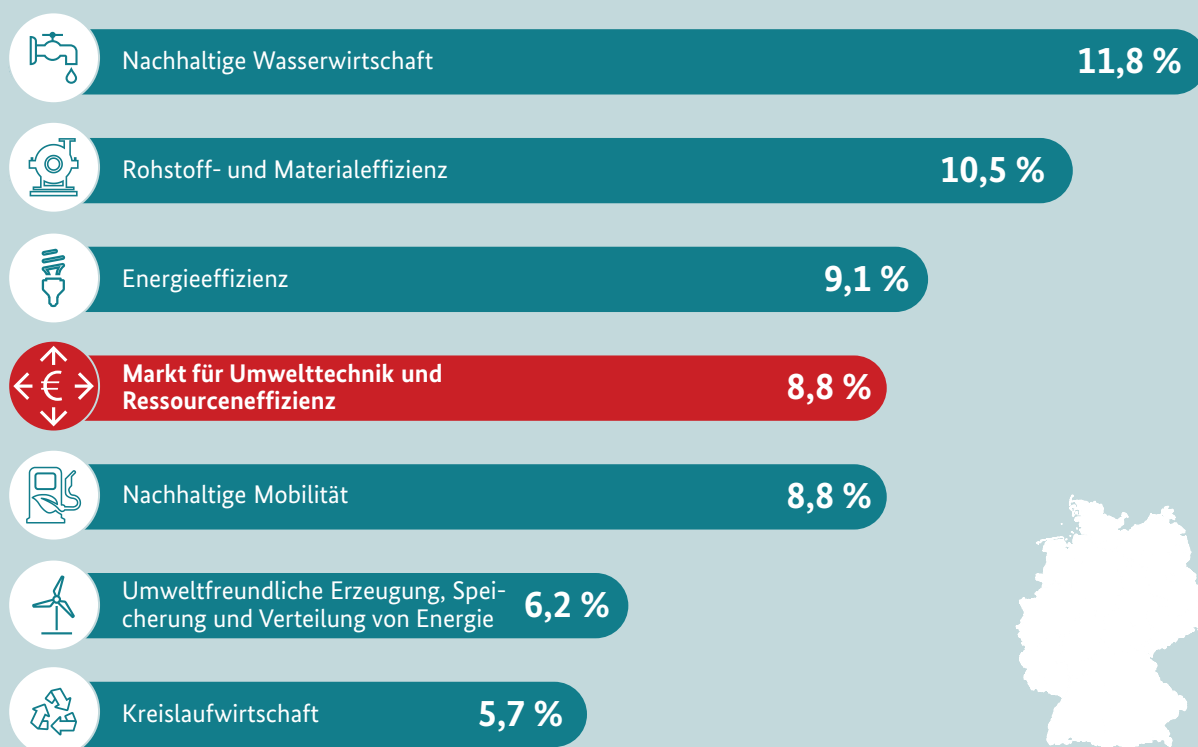
Die überdurchschnittliche Dynamik des Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz (10,5 Prozent) ist vor allem dem Marktsegment Branchenübergreifende Querschnittstechnologien und -methoden geschuldet. Hier zeigen sich die Technologielinien Organische Elektronik und Nanotechnologien besonders expansiv (jahresdurchschnittliche Wachstumsrate 17,4 und 20,0 Prozent).

Der Leitmarkt Energieeffizienz wird sich in Deutschland zwischen 2016 und 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 9,1 Prozent entwickeln. Der Rückenwind für diesen Expansionskurs kommt in erster Linie vom Marktsegment Energieeffizienz von Gebäuden.

Die exakt im Durchschnitt der gesamten GreenTech-Branche liegende Wachstumsrate des Leitmarktes Nachhaltige Mobilität (8,8 Prozent) lässt sich damit erklären, dass es sich bei den meisten Marktsegmenten um reife Märkte handelt. Eine differenzierte Betrachtung zeigt innerhalb der Nachhaltigen Mobilität eine extrem dynamische Entwicklung der Alternativen Antriebstechnologien. Dieses Marktsegment wird sich bis 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 49,3 Prozent entwickeln. Dieser Trend wird vor allem von der Elektromobilität befeuert. Dementsprechend rasant verläuft auch die Expansion der Technologielinie Tankstelleninfrastruktur für alternative Antriebe mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 56,4 Prozent.

Die Leitmärkte Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie sowie Kreislaufwirtschaft legen ein etwas geringeres Wachstumstempo vor als der Branchendurchschnitt. Es handelt sich jedoch nach wie vor um wichtige Bereiche der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz.

Abbildung 13: Wachstum der einzelnen Leitmärkte 2016 bis 2025 im Vergleich zur Entwicklung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland insgesamt (durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



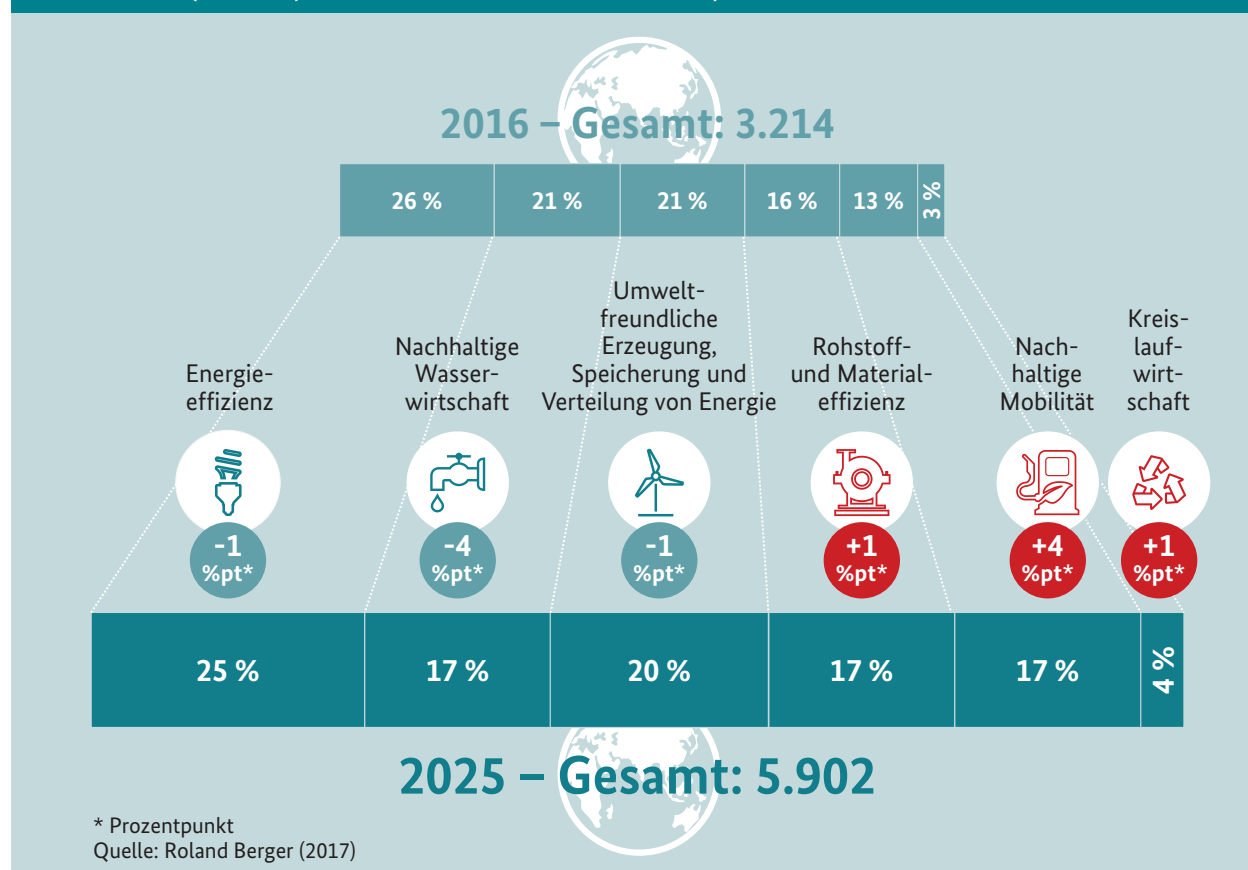
Quelle: Roland Berger (2017)



Die Abbildung 14 zeigt aus der globalen Perspektive eine Gegenüberstellung, welche Anteile die einzelnen Leitmärkte am Gesamtvolumen der GreenTech-Branche in den Jahren 2016 und 2025 einnehmen. Weltweit bilden derzeit die Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der Energieeffizienz mit einem Volumen von 837 Milliarden Euro den größten Leitmarkt; das entspricht einem Anteil von 26 Prozent am Gesamtvolumen der GreenTech-Branche. Einen Anteil von jeweils 21 Prozent nehmen die Leitmärkte Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie und Nachhaltige Wasserwirtschaft ein (siehe Abbildung 14).

Bedingt durch die unterschiedlichen Wachstumsraten der einzelnen Leitmärkte werden sich deren Anteile am globalen GreenTech-Markt bis 2025 verändern. Auch dann wird die Energieeffizienz ihre Stellung als volumenstärkster Leitmarkt behaupten; ihr Anteil am Gesamtvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz wird voraussichtlich 25 Prozent ausmachen. Deutlich an Gewicht zulegen dürfte der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität: Sein Anteil am gesamten GreenTech-Markt wird sich im Zeitraum 2016 bis 2025 von 13 auf 17 Prozent erhöhen.

Abbildung 14: Anteile der einzelnen Leitmärkte am weltweiten Gesamtmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 und 2025 (in Prozent, weltweiter Gesamtmarkt in Milliarden Euro)





Technologien für Klimaschutz und Anpassung an die Folgen des Klimawandels

Der folgende Abschnitt geht auf leitmarktübergreifende Technologien ein, die zum Klimaschutz beitragen. Diese separate Betrachtung spiegelt die Bedeutung von Produkten, Verfahren und Dienstleistungen wider, die Anpassungsstrategien an den Klimawandel unterstützen und den Ausstoß von Treibhausgasen mindern. Diese Klimaschutztechnologien lassen sich unterschiedlichen Leitmärkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zuordnen. Auch Güter und Dienstleistungen, die die Anpassung an die Folgen des Klimawandels unterstützen, können in verschiedenen Leitmärkten verortet werden.

Im Pariser Klimaabkommen⁶ bekennt sich die internationale Staatengemeinschaft völkerrechtlich verbindlich zu dem Ziel, die Erderwärmung auf deutlich unter zwei Grad Celsius gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Darüber hinaus streben die Staaten eine Begrenzung des Temperaturanstiegs auf 1,5 Grad Celsius an. Die Vertragsstaaten haben außerdem angekündigt, die Anpassungsfähigkeit an die negativen Folgen des Klimawandels zu steigern.

Bereits heute ist der Klimawandel Realität. Im Vergleich zum vorindustriellen Niveau ist die globale Durchschnittstemperatur um ein Grad Celsius angestiegen. Die Folgen sind spürbar – Dürren, Überschwemmungen und schmelzende Gletscher zeigen, dass der Klimawandel längst in der Gegenwart angekommen ist. Ein ungebremster Anstieg von Treibhausgasen könnte

die Erderwärmung bis zum Jahr 2100 die Marke von vier Grad Celsius erreichen lassen. Blicke der Temperaturanstieg dagegen unterhalb der Grenze von zwei Grad Celsius, stünden die Chancen gut, wenigstens die schlimmsten Folgen des Klimawandels abzuwenden. Dies sei nach wie vor technisch und wirtschaftlich machbar, so der Weltklimarat (Intergovernmental Panel on Climate Change) in seinem fünften Sachstandsbericht.⁷ Voraussetzung dafür sind Klimaschutzmaßnahmen.

Klimaschutz („climate change mitigation“) dient dazu, den künftigen Klimawandel zu begrenzen:

„Mitigation is the effort to control the human sources of climate change and their cumulative impacts, notably the emission of greenhouse gases (GHGs) and other pollutants, such as black carbon particles, that also affect the planet's energy balance. Mitigation also includes efforts to enhance the processes that remove GHGs from the atmosphere, known as sinks. Because mitigation lowers the anticipated effects of climate change as well as the risks of extreme impacts, it is part of a broader policy strategy that includes adaptation to climate impacts.“⁸

Anpassung an die Folgen des Klimawandels und die Vermeidung beziehungsweise Minderung von Treibhausgasemissionen sind demnach keine konkurrierenden Ziele, sondern zwei integrale Bestandteile des Klimaschutzes: „Anpassung und Minderung sind komplementäre Strategien, um die Risiken des Klimawandels zu verringern und zu bewältigen.“⁹

⁶ Siehe dazu detailliert Kapitel 2, Seite 15f.

⁷ Siehe Intergovernmental Panel on Climate Change (2014a).

⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change (2014b), Seite 114.

⁹ Siehe Intergovernmental Panel on Climate Change (2014a), Seite 17.

Abbildung 15: Anteile der Technologien zur „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ und „Minderung des Treibhausgasausstoßes“ am Weltmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 und 2025

Anteil der Technologien ...



Quelle: Roland Berger (2017)

Die Betrachtung über alle GreenTech-Leitmärkte hinweg zeigt ein großes Übergewicht der Technologien, die der Reduktion des Treibhausgasausstoßes dienen. Im Jahr 2016 stellen Produkte, Verfahren und Dienstleistungen zur Vermeidung und Minderung von Treibhausgasemissionen 96 Prozent des globalen Marktvolumens der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz (siehe mittelblaue Fläche in Abbildung 15). In die Kategorie „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ wurde 2016 nur das Marktsegment Klimaangepasste Infrastruktur mit den Technologielinien Sturm-, Hochwasser-, Hitze- und Feuerschutz eingeordnet. Außerdem wurden geringe Anteile einzelner Marktsegmente und Technologielinien aus den Leitmärkten Nachhaltige Wasserwirtschaft (Wassergewinnung und -aufbereitung; Technologielinie Wasserverteilung; Wassereffizienztechnologien in der Landwirtschaft) und Kreislaufwirtschaft (Technologielinie Abfallsammlung, Abfalltransport) zur Anpassungsstrategie gerechnet.

Im Jahr 2025 wird sich der Anteil der Technologien zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels voraussichtlich auf elf Prozent beziffern. Ausschlaggebend für diese Erhöhung um knapp sieben Prozentpunkte gegenüber 2016 sind die bis dahin deutlicher zu spürenden Auswirkungen der globalen Erwärmung. Dazu

zählen eine Zuspitzung der Wasserkrise in einigen Regionen, die Häufung von Extremwetterereignissen und deren Folgen (Überschwemmungen, Dürre) sowie fortschreitende Desertifikation. Die zur Umsetzung von Anpassungsstrategien erforderlichen Güter und Dienstleistungen sind vor allem im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft zu finden. So wird jeweils die Hälfte des globalen Marktvolumens der Marktsegmente Wassergewinnung und -aufbereitung sowie Wasser-Netz den Anpassungstechnologien zugerechnet. Von der Technologielinie Wassereffizienztechnologien in der Landwirtschaft werden drei Viertel zu den Anpassungstechnologien gezählt.

In anderen Leitmärkten gibt es ebenfalls einige Marktsegmente beziehungsweise Technologielinien, deren Güter und Dienstleistungen zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels im Jahr 2025 eine wesentliche Rolle spielen werden. Dazu zählen die Effiziente Heizungs-, Klima-, Lüftungstechnik, Mess-, Steuer- und Regeltechnik, Biotechnologie, Nachwachsende Rohstoffe als Feedstock für die Chemische Industrie, Bodenschutz, Luftreinhaltung, Naturschutz und Landschaftspflege, Grundwasser- und Gewässerschutz sowie Abfallsammlung und Abfalltransport.

Globale und nationale Leitmärkte im Fokus

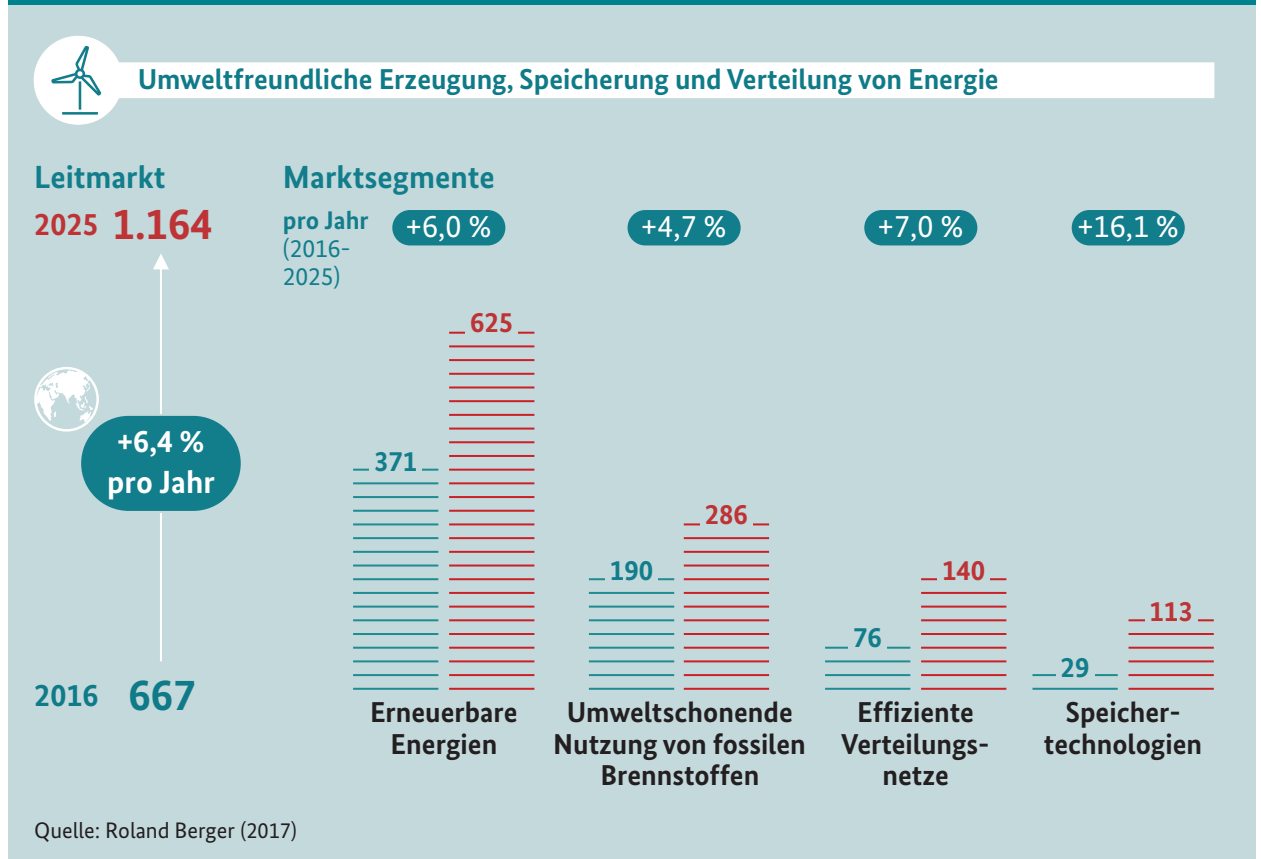
Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie

Erdöl, Erdgas und Kohle dominieren den globalen Energiemix heute noch deutlich: Ihr Anteil liegt bei 85 Prozent.¹⁰ Diese fossilen Energieträger emittieren bei ihrer Verbrennung Kohlendioxid. Rund zwei Drittel des weltweiten Treibhausgasausstoßes entstehen in der Energiewirtschaft. Vor diesem Hintergrund spielt die Energiewirtschaft für den Klimaschutz eine zentrale Rolle. Ihr Wandel ist eine Voraussetzung, um die Ziele des Pariser Klimaabkommens zu erreichen. Ansatzpunkte sind: Ausbau der erneuerbaren Energien,

umweltschonende Nutzung von fossilen Brennstoffen, Energiespeicherung und effiziente Verteilungsnetze. Diese Handlungsfelder bilden die Marktsegmente des Leitmarktes Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie.

Das Weltmarktvolumen des Leitmarktes Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie lag 2016 bei 667 Milliarden Euro. Mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate (Compound Annual Growth Rate - CAGR) von 6,4 Prozent wird sich das globale Volumen dieses Leitmarktes bis 2025 auf 1.164 Milliarden Euro erhöhen (siehe Abbildung 16).

Abbildung 16: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



10 Siehe BP Statistical Review of World Energy June 2017, Seite 9.

Betrachtet man das Marktsegment Erneuerbare Energien im Detail, sticht der besonders hohe Anteil der Wasserkraft heraus (siehe Abbildung 17). Diese Technologielinie steuerte 2016 knapp ein Drittel des Weltmarktvolumens dieses Marktsegments bei. Die Wasserkraft wird jedoch voraussichtlich auf diesem Niveau stagnieren: Die Technologielinie wird ihr Marktvolumen von 2016 bis 2025 voraussichtlich von 114 auf 118 Milliarden Euro ausbauen; das entspricht einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 0,4 Prozent.

Sonne und Wind stellen weltweit mit einer installierten Kapazität von 790 Gigawatt einen zunehmend stärkeren Anteil im regenerativen Energiemix: Ihr Anteil an der „grünen“ Stromerzeugung belief sich 2016 auf 39 Prozent.¹¹ Am Marktsegment Erneuerbare Energien hielt die Photovoltaik 2016 einen Anteil von 19 Prozent. Auf die Windkraft Onshore entfielen 22 Prozent des Gesamtumsatzes des Marktsegments. Einschlägige

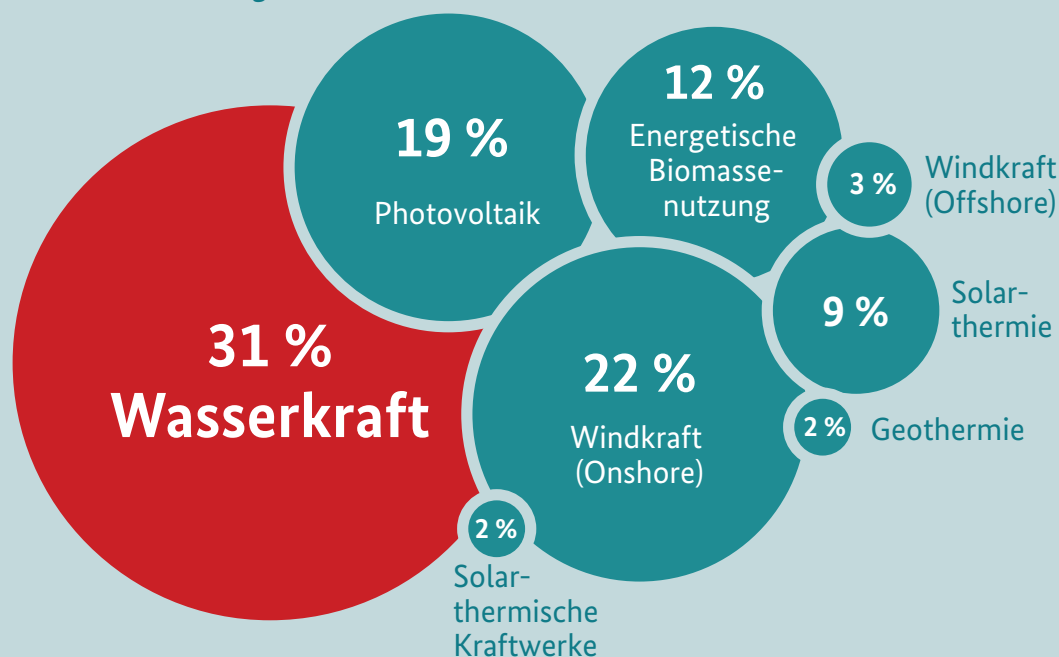
Prognosen gehen für die nächsten Jahre von einem deutlichen Wachstum dieser beiden Technologielinien aus.¹² Diese Einschätzung spiegelt sich auch in dieser Studie wider: Die Technologielinie Photovoltaik wird sich global zwischen 2016 und 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 7,9 Prozent entwickeln, die Windkraft Onshore wächst im selben Zeitraum jahresdurchschnittlich um 9 Prozent. Dem entsprechend vergrößert sich der Anteil von Sonne und Wind im regenerativen Energiemix. Zusammen werden Photovoltaik und Windkraft 2025 einen Anteil von über 50 Prozent des Weltmarktvolumens des Marktsegments Erneuerbare Energien stellen.

Im Marktsegment Umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe sind Gas- und Dampfturbinenkraftwerke sowie Hochleistungskraftwerke¹³ die stark dominierenden Technologielinien. Sie brachten es 2016 zusammen auf ein Weltmarktvolumen von knapp 132 Milliarden Euro. Damit stellten sie einen Anteil von 72 Prozent am

Abbildung 17: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Erneuerbare Energien 2016 (in Prozent)



Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie Erneuerbare Energien



Quelle: Roland Berger (2017)

11 Siehe REN21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2017), Seite 21.

12 Siehe Global Wind Energy Council (2017).

13 Hochleistungskraftwerke werden Kohlekraftwerke mit einem Wirkungsgrad von mehr als 45 Prozent genannt. Herkömmliche Kohlekraftwerke erreichen Wirkungsgrade um die 32 Prozent. Eine andere Bezeichnung für Hochleistungskraftwerke ist „Supercritical“ oder „Ultra-Supercritical“. Durch Hochtemperatur- und Hochdrucktechnik wird der Dampf auf über 374 Grad Celsius erhitzt und auf einen Druck von mehr als 221 bar gebracht. Auf diese Weise lassen sich höhere Wirkungsgrade als in konventionellen Kraftwerken erreichen.

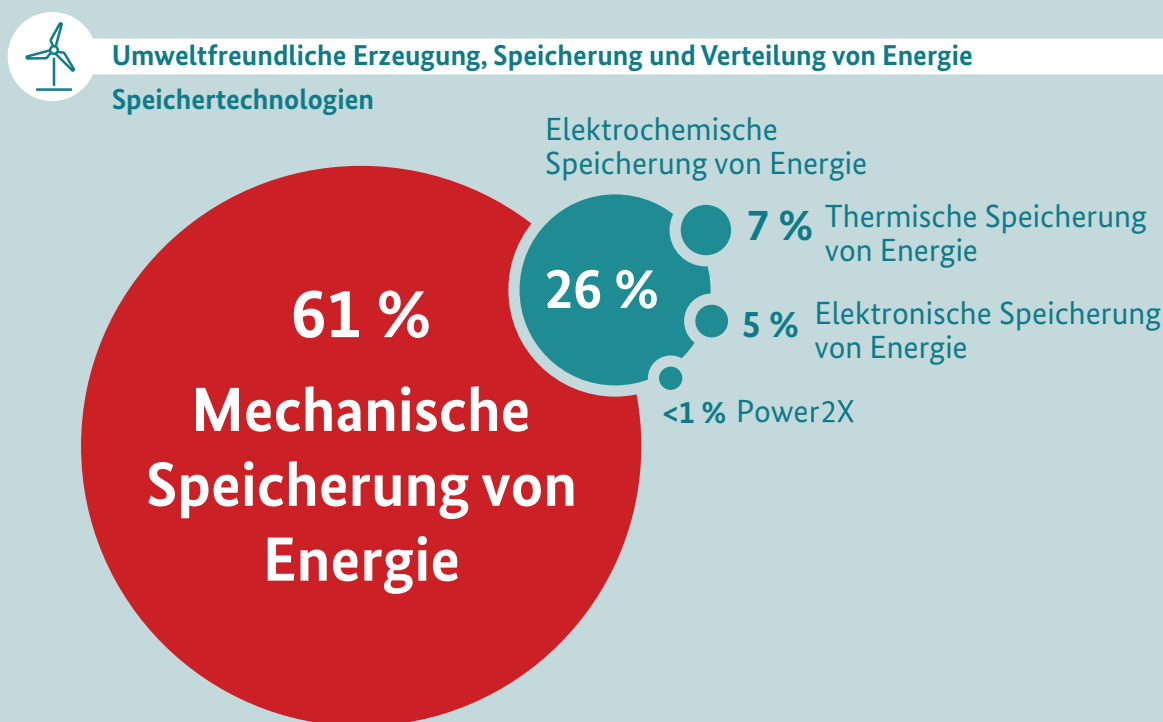
globalen Volumen dieses Marktsegments. Bis zum Jahr 2025 wird sich dieser Anteil voraussichtlich auf 64 Prozent verringern. Der Grund dafür liegt unter anderem in der dynamischen Entwicklung der Technologielinie Blockheizkraftwerke (jahresdurchschnittliche Wachstumsrate 14,3 Prozent).

Das Marktsegment Speichertechnologien hat innerhalb des weltweiten Leitmarktes Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie mit 16,1 Prozent eine besonders hohe jahresdurchschnittliche Wachstumsrate vorzuweisen. So wird sich das Weltmarktvolumen dieses Marktsegments im Zeitraum 2016 bis 2025 von 29 auf 113 Milliarden Euro fast vervierfachen.

Betrachtet man die Struktur des Marktsegments Speichertechnologien im Detail, fällt die Dominanz der Mechanischen Speicherung von Energie auf (siehe Abbildung 18). Auf diese Technologielinie entfiel 2016

ein Anteil von knapp zwei Dritteln des Weltmarktvolumens der Speichertechnologien. Zu den mechanischen Speichern zählen Pumpspeicherkraftwerke, Druckluftspeicherkraftwerke, Hubspeicherkraftwerke sowie das Schwungrad. Vor allem Pumpspeicherkraftwerke leisten einen wesentlichen Beitrag für die Stabilisierung der Stromversorgung: Sie gleichen Schwankungen im Stromnetz aus, etwa einen Anstieg der Stromnachfrage in Spitzenlastzeiten, und dienen als „eiserne Reserve“ für Kraftwerksausfälle – Pumpspeicherkraftwerke sind nämlich „Schwarzstart“-fähig; das heißt, sie können ohne externe Energiezufuhr hochgefahren werden. Innerhalb der Speichertechnologien zeichnet sich die Technologielinie Elektrochemische Speicher durch eine ausgeprägte Dynamik aus: Mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 23,1 Prozent bauen sie ihr Weltmarktvolumen von 7,6 Milliarden Euro im Jahr 2016 auf 49,4 Milliarden Euro im Jahr 2025 aus. Zu den elektrochemischen Speichern gehören verschiedene Arten von Batterien. Grundsätzlich

Abbildung 18: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Speichertechnologien 2016 (in Prozent)



Quelle: Roland Berger (2017)

fungiert eine Batterie als Energiespeicher und Energiewandler: Bei der Entladung wird gespeicherte chemische Energie durch Reduktions-Oxidations-Reaktion (Redoxreaktion) in elektrische Energie umgewandelt, die an einen angeschlossenen Verbraucher abgegeben wird. Es gibt Primärzellen, die nach einer einmaligen Entladung entsorgt werden müssen. Dagegen sind Sekundärzellen, sogenannte Akkumulatoren (unter anderem Blei, Nickel-Cadmium, Nickel-Metallhydrid, Lithium-Ionen), wiederaufladbar.

Ausschlaggebend für das starke Wachstum der elektrochemischen Speicher bis 2025 ist insbesondere die dynamische Entwicklung von Batteriespeichern. Dazu tragen vor allem Anwendungen in der Elektromobi-

lität (Elektroautos und E-Bikes) sowie als stationäre Energiespeicher bei. Die Kombination aus stationärer Speicherlösung und Eigenstromerzeugung aus regenerativen Quellen ist wirtschaftlich betrachtet überaus attraktiv und kann die Stabilisierung des Stromnetzes unterstützen.

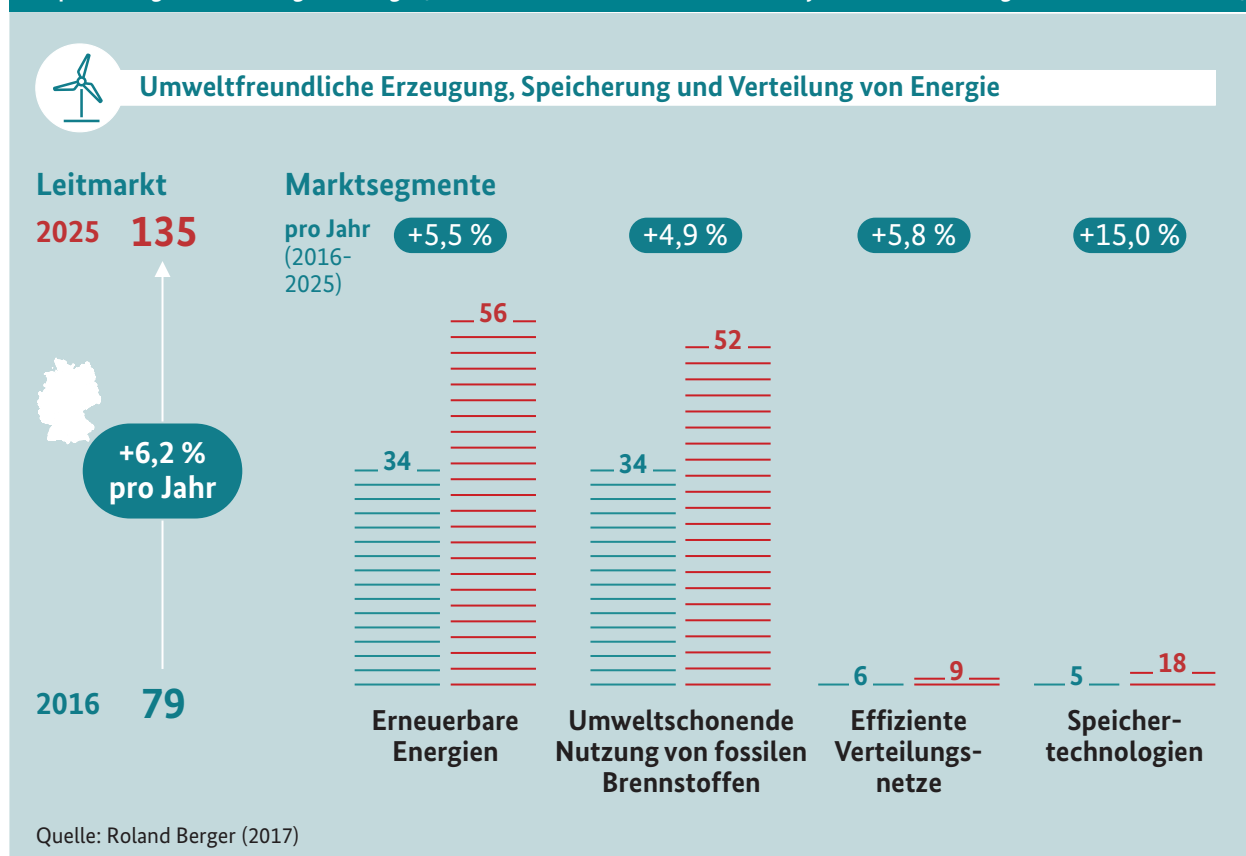
Das Marktsegment Effiziente Verteilungsnetze hatte 2016 ein Weltmarktvolumen von 76,3 Milliarden Euro. Bis 2025 wird es sich mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von sieben Prozent entwickeln. Das globale Volumen dieses Marktsegments wird sich demnach 2025 voraussichtlich auf 140,4 Milliarden Euro beziffern.

Blick auf Deutschland: der Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie

Die Entwicklungslinien im deutschen Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie entsprechen im Wesentlichen den internationalen Trends. Der Leitmarkt wird sich

in Deutschland zwischen 2016 und 2025 mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 6,2 Prozent entwickeln (siehe Abbildung 19) und in diesem Zeitraum sein Marktvolumen von 79 auf 135 Milliarden Euro ausbauen. Die größte Dynamik zeichnet sich bei den Speichertechnologien ab: Dieses Marktsegment wächst bis 2025 jahresdurchschnittlich um 15 Prozent und legt damit ein hohes Expansionstempo vor.

Abbildung 19: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



Schwimmende Windenergieanlagen



Im Jahr 2016 wurden weltweit Windenergieanlagen mit 55 Gigawatt Leistung neu installiert. Damit hat sich die rund um den Globus installierte Leistung der Windräder auf 487 Gigawatt erhöht.¹⁴ Der Großteil der Rotoren dreht sich jedoch an Land: Die Offshore-Windanlagen erreichten lediglich eine Kapazität von 14,4 Gigawatt, haben jedoch großes Potenzial.¹⁵ Bei der Windenergienutzung auf See ist die Stromausbeute im Vergleich zu guten Windkraft-Standorten auf dem Festland um bis zu 40 Prozent höher, denn über dem Meer bläst der Wind stärker und konstanter.

Allerdings ist die Errichtung von Windenergieanlagen auf See kostspielig und mit großem technischen Aufwand verbunden. Hinzu kommen ökologische Risiken, beispielsweise die intensive Schallbelastung beim Einrammen der Fundamente: Damit die Türme samt Gondel und Rotoren stabil stehen und selbst bei heftigen Stürmen nicht einknicken, müssen bis zu 40 Meter tiefe Fundamente in den Meeresboden gegraben werden. Auf diesem Sockel werden dann die Türme montiert. Dazu ist mindestens eine Wassertiefe von 20 Metern erforderlich; ab einer Wassertiefe von 50 Metern sind feste Fundamente technisch schwierig umsetzbar und unwirtschaftlich. Durch diese Beschränkung käme ein Großteil der Meeresflächen mit vielversprechender Energieausbeute für den Bau von Windkraftanlagen nicht infrage – es sei denn, man setzt auf Alternativen zum fest verankerten Sockel. Derzeit wird die Entwicklung schwimmender Windenergieanlagen vorangetrieben, die für Wassertiefen von mehreren hundert Metern geeignet sind; dafür gibt es unterschiedliche Konstruktionsprinzipien für den Auftriebskörper:¹⁶

- Spar – Der Auftriebskörper ist ein speerförmiger Schwimmer, der senkrecht im Wasser steht.

Oben ist der Spar luftgefüllt, unten beschwert, sodass der Schwerpunkt weit unten liegt. Ähnlich wie ein Stehaufmännchen „hüpft“ der Auftriebskörper immer wieder zurück in die Vertikale, sodass er nicht umkippen kann. Der Spar ist mit Leinen an sogenannten Gründungselementen auf dem Meeresboden befestigt.

- Barge – Der Auftriebskörper ist ein breiter, flacher Schwimmer, der wie eine Luftmatratze auf der Wasseroberfläche treibt. Wenn eine Welle auf dieses Luftkissen trifft und es kippt, richtet es sich wieder auf. Der Auftriebskörper ist mit durchhängenden Seilen auf Gründungselementen am Meeresboden befestigt.
- Halbtaucher – Bei Halbtauchern liegt der relativ breite Auftriebskörper ganz unter der Wasseroberfläche. Da Wellenbewegungen mit zunehmender Tiefe abnehmen, liegt der Halbtaucher ruhiger im Wasser. Die Windturbine fußt auf zylindrischen Säulen, die auf dem Auftriebskörper montiert sind.
- Tension Leg Platform (TLP) – Der Auftriebskörper ist mit Seilen verbunden, die an den am Meeresboden verankerten Gründungselementen befestigt sind. Der Auftriebskörper liegt unter Wasser. Sein Auftrieb hält die Seilspannung konstant, was für Stabilität sorgt.

Eine schwimmende Windenergieanlage mit Tension Leg Platform wird vor der Halbinsel Darß in der Ostsee getestet. Die Anlage mit einer Leistung von 2,3 Megawatt und einem Turm mit mehr als 100 Meter Höhe wurde von der GICON-Gruppe (Dresden) und der Edelstahl- und Umwelttechnik Stralsund GmbH entwickelt.¹⁷ Vor der Ostküste Schottlands ist im Oktober 2017 der bis dato größte schwimmende Offshore-Windpark der Welt ans Netz gegangen. „Hywind Scotland“ wurde von Statoil etwa 25 Kilometer entfernt von der Stadt Peterhead in einer Wassertiefe von 95 bis 120 Metern errichtet. Der Windpark besteht aus fünf Windrädern mit einer Leistung von jeweils sechs Megawatt und versorgt rund 20.000 Haushalte mit Strom. Die Spar-Auftriebskörper haben eine Länge von 80 Metern.¹⁸

¹⁴ Siehe REN21 Renewable Policy Network for the 21st century (2017), Seite 88.

¹⁵ Siehe ebenda, Seite 89.

¹⁶ Siehe Eder, Stephan (2016).

¹⁷ Siehe eLife (2017).

¹⁸ Siehe Statoil (2018).



Power-to-Liquid



Elektromobilität ist ein zentraler Hebel, um den Verkehrssektor umwelt- und klimafreundlicher zu gestalten. Aber nicht alle Mobilitätsbedürfnisse lassen sich mit elektrischen Antrieben bedienen. Deshalb sind Ansätze gefragt, umweltschädliche Kraftstoffe wie Diesel oder Kerosin durch alternative Flüssigbrennstoffe zu ersetzen. Power-to-Liquid (PtL) ist dabei ein vielversprechender Weg: Bei diesem Verfahren wird aus regenerativ erzeugtem Strom und Wasser synthetischer Kraftstoff hergestellt.

In einem ersten Schritt wird Wasser durch Elektrolyse in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten. Für diesen Prozess kann auch sogenannter Überschussstrom genutzt werden; der fällt an, wenn eine besonders hohe Menge Strom aus fluktuierend einspeisenden Energieträgern wie Wind und Sonne produziert wird, aber nicht ins Netz integriert werden kann. Im zweiten Schritt wird Kohlendioxid in Kohlenmonoxid umgewandelt; im dritten Schritt werden im Fischer-Tropsch-Verfahren Kohlenwasserstoffe (hier Treibstoffe) synthetisiert.

Dem Power-to-Liquid-Verfahren wird große Bedeutung für das Ziel einer treibhausgasarmen beziehungsweise langfristigen treibhausgasneut-

ralen Energieversorgung beigemessen. So lassen sich aus regenerativen Energieträgern Kraftstoffe herstellen, ohne auf die energetische Nutzung von Anbaubiomasse zurückgreifen zu müssen. Diese Variante der Alternativen Kraftstoffe ist aufgrund der Konkurrenz zum Nahrungsmittelanbau ambivalent zu beurteilen.¹⁹

Die erste Power-to-Liquid-Kompaktanlage, bei der mithilfe von Sonnenenergie aus dem Kohlendioxid der Luft synthetische Kraftstoffe hergestellt werden, ist im November 2016 in Betrieb genommen worden. Bei diesem Projekt („SOLETAIR“) kooperiert die Ausgründung des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) INERATEC mit finnischen Partnern. Die Pilotanlage steht auf dem Campus der Lappeenranta University of Technology und besteht aus drei Komponenten: der „Direct Air Capture“-Einheit, der Elektrolyseeinheit, die mithilfe von Solarstrom Wasserstoff erzeugt, und einem mikrostrukturierten, chemischen Reaktor für die Umwandlung von Wasserstoff und Kohlendioxid in flüssige Treibstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin). Der Reaktor wurde am KIT entwickelt und von INERATEC zu einer marktreifen Pilotanlage ausgebaut.²⁰

¹⁹ Siehe Umweltbundesamt (2017c).

²⁰ Siehe Karlsruher Institut für Technologie (2016).

Wasserstoff – ein Element, viele Anwendungsmöglichkeiten



Einige bezeichnen Wasser als Öl oder Kohle von morgen. Dieser euphorische Blick in die Zukunft zeugt von den hohen Erwartungen, die an den Wasserstoff im Energiesystem der Zukunft geknüpft sind. Als das im Universum am häufigsten vorkommende Element ist Wasserstoff Bestandteil des Wassers und der meisten organischen Verbindungen. Der französische Chemiker Antoine Lavoisier entdeckte das Gas 1787 bei einem Experiment zum Masseerhalt und nannte es „brennbare Luft“.

In der Erdatmosphäre kommt Wasserstoff fast ausschließlich chemisch gebunden vor, hauptsächlich in Form von Wasser. Um Wasserstoff zu gewinnen, gibt es verschiedene Verfahren: Dampfreformierung, partielle Oxidation, autotherme Reformierung, Gasaufarbeitung, Elektrolyse von Wasser, Biomasse, Kvaerner-Verfahren, thermochemische Verfahren etc. Pro Jahr werden weltweit mehr als 600 Milliarden Kubikmeter Wasserstoff – das entspricht rund 30 Millionen Tonnen – für Anwendungen in Industrie und Technik produziert.²¹

Im Kontext Energiewende steht die Herstellung von Wasserstoff mithilfe regenerativer Energieträger wie Sonne oder Wind im Fokus. Mit erneuerbar erzeugtem Strom wird Wasser durch Elektrolyse in Sauerstoff (O_2) und Wasserstoff (H_2) zerlegt. Für diesen Prozess (Power-to-Gas-Verfahren, P2G, PtG) kann sogenannter Überschussstrom genutzt werden; der fällt an, wenn eine besonders hohe Menge Grünstrom produziert wird, aber nicht ins Netz integriert werden kann. Der Wasserstoff bietet sich als Speichermedium an. Das Gas lässt sich

mittels Gasturbinen rückverstromen, als Kraftstoff für Brennstoffzellenfahrzeuge einsetzen oder zum Heizen nutzen. Auf dem Fundament dieses breiten Einsatzspektrums kann sich das Power-to-Gas-Konzept zu einer Basis- und Schlüsseltechnologie eines klimafreundlichen und dezentralen Energiesystems entwickeln.

Eine Schlüsselrolle für die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten von Wasserstoff spielt die Brennstoffzelle. Als galvanisches Element wandelt sie die chemische Reaktionsenergie eines kontinuierlich zugeführten Brennstoffs und eines Oxidationsmittels in elektrische Energie. Brennstoffzellen lassen sich sowohl mobil als auch stationär einsetzen.

Bei der mobilen Anwendung in Brennstoffzellenfahrzeugen wird der Strom für den Antrieb an Bord erzeugt: In der Brennstoffzelle wird Wasserstoff (H_2) in Protonen und Elektronen gespalten. Die bei diesem Prozess freigesetzte chemische Energie wird in elektrische Energie gewandelt, die den Motor antreibt. Als Nebenprodukt dieser Reaktion entsteht Wasser.

Viele große Autohersteller haben inzwischen Prototypen oder seriennahe Modelle mit Wasserstoffantrieb entwickelt. Im Rahmen der Clean Energy Partnership²² gibt es einige Forschungs- und Demonstrationsvorhaben, um die Wasserstofftechnologie im Verkehrssektor alltagsnah zu erproben; dabei liegt das besondere Augenmerk auf den zahlreichen Schnittstellen zwischen Fahrzeugtechnik, Wasserstoffproduktion und Tankstellen-Infrastrukturen.

Einige Beispiele aus dem Projektportfolio zeigen, dass Wasserstoff-Mobilität weit über die Nutzung in Pkw hinausgeht: Die Stuttgarter Straßenbahnen AG hat wasserstoffbetriebene Omnibusse erprobt. Bei dem Projekt namens S-Presso wurde der Einsatz von vier Wasserstoff-/Brennstoffzellen-Hybridbussen auf zwei Linien getestet. Neben der Beschaffung und Erprobung der jeweils zwölf Meter langen Busse von

21 Siehe CHEMIE.DE Information Service GmbH (2017).

22 Als gemeinsame Initiative von Politik und Industrie 2002 unter Federführung des Bundesverkehrsministeriums gegründet, hat die Clean Energy Partnership (CEP) das Ziel, die Alltagstauglichkeit von Wasserstoff als Kraftstoff zu erproben. Seit 2008 ist die CEP ein Leuchtturmprojekt des Nationalen Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP), das von der Nationalen Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NOW) umgesetzt wird. Die 20 Industriepartner (Air Liquide, BMW, Böhlen & Doyen, Daimler, EnBW, Ford, GM/Opel, H2 Mobility, Hamburger Hochbahn, Honda, Hyundai, Linde, Shell, Siemens, die Stuttgarter Straßenbahnen SSB, Total, Toyota, OMV, Volkswagen und Westfalen) wollen gemeinsam dazu beitragen, Hemmschwellen für die Markteinführung von Wasserstofffahrzeugen abzubauen. Siehe Clean Energy Partnership (2017).



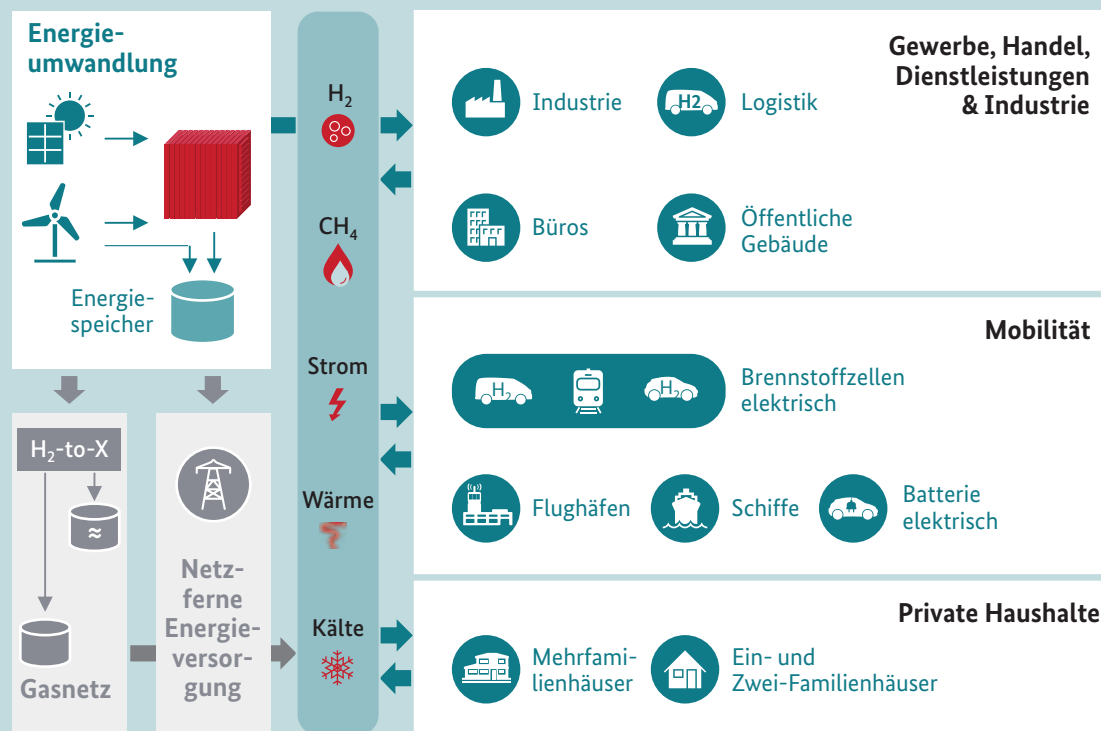
Mercedes-Benz wurden während der vierjährigen Projektlaufzeit die Anforderungen an einen geeigneten Betriebshof und der Qualifizierungsbedarf des Personals untersucht.²³

Das Projekt „RiverCell“ hat sich eineinhalb Jahre lang mit der Entwicklung eines hybriden Energie- und Antriebssystems für Binnenschiffe befasst, um eine Alternative zum Dieselmotor zu schaffen. Dazu wurde eine gesamtheitliche elektrische und thermische Energieversorgung mittels Brennstoffzellen in Kombination mit innovativer Motorentechnologie, Photovoltaik, Wärmerückgewinnung und Energiespeichern in Form von Batterien konzipiert. Ein Kernstück dieses Projekts war die Optimierung von Brennstoffzellen für die Anwendung auf Schiffen.²⁴ In der Intralogistik werden ebenfalls Brennstoff-

zellen getestet: Im Daimler-Werk in Düsseldorf waren zwei Jahre lang zwei mit einem Wasserstoff-Brennstoffzellen-Antrieb ausgestattete Gabelstapler im Einsatz.²⁵

Stationäre Brennstoffzellen übernehmen in Systemlösungen zur dezentralen Energieversorgung einen wichtigen Part bei der Wärmebereitstellung und Stromproduktion in Gebäuden. Brennstoffzellen-Heizgeräte können als Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) in Ein- und Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden. Die KWK gewinnen aus Erdgas Wasserstoff, der durch eine elektrochemische Reaktion in Strom und Wärme umgesetzt wird. Dieses Verfahren der dezentralen Energieerzeugung punktet mit sehr niedrigen Emissionswerten bei einem hohen Wirkungsgrad. Im Rahmen des Projekts

Abbildung 20: Anwendungsfelder von Wasserstoff



Quelle: Roland Berger (2017)

23 Siehe Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017a).

24 Siehe Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017b).

25 Siehe Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017c).

„Callux“ wurde der Einsatz von Brennstoffzellen in der Energieversorgung von Eigenheimen erprobt. Der siebenjährige Praxistest mündete in einer breiten Markteinführung von Geräten verschiedener Hersteller, so das Fazit der Akteure.²⁶

„Leonardo“ und „Leonardo II“ heißen zwei Projekte, die ebenfalls an Brennstoffzellen-Heizsystemen arbeiten. Die Viessmann Werke und Hexis entwickeln

gemeinsam ein Brennstoffzellen-Heizsystem (BZH), um das bestehende Angebot Brennstoffzellen-basierter Mikro-KWK-Systeme zu erweitern. Ein wesentliches Ziel ist dabei, die Investitions- und Betriebskosten der Serienausführung zu senken. Das technische Herzstück des neuen BZH ist eine neue Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Technologie (SOFC).²⁷

Energieeffizienz

Neben dem Ausbau der erneuerbaren Energien ist die Energieeffizienz der zentrale Hebel, um den Verbrauch von Energieressourcen und die damit verbundenen Umweltbelastungen zu verringern sowie die Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft zu reduzieren. Das Weltmarktvolumen des Leitmarktes Energieeffizienz wird zwischen 2016 und 2025 von 837 Milliarden Euro auf 1.491 Milliarden Euro wachsen; das entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 6,6 Prozent (siehe Abbildung 21). Der Blick auf die Marktsegmente zeigt Unterschiede beim Expansionsstempo. Die Branchenübergreifenden Komponenten waren 2016 mit einem globalen Volumen von 491 Milliarden Euro das größte Marktsegment. Aufgrund der weit fortgeschrittenen Marktreife seiner Produkte, Verfahren und Dienstleistungen weist dieses Marktsegment mit 5,7 Prozent jedoch eine geringere jahresdurchschnittliche Wachstumsrate auf als die anderen Marktsegmente des Leitmarktes Energieeffizienz. Das höchste Tempo bei der Expansion legt das Marktsegment Energieeffizienz von Gebäuden mit einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 9,9 Prozent vor.

Ein differenziertes Bild des Leitmarktes Energieeffizienz zeichnet die detaillierte Betrachtung der Marktsegmente und ihrer Technologielinien. Im Marktsegment Branchenübergreifende Komponenten bildete die Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) 2016 mit einem Weltmarktvolumen von 165,6 Milliarden Euro die größte Technologielinie (siehe Abbildung 22). Sie spielt eine wesentliche Rolle als Basis für ressourceneffiziente Produktionsverfahren; mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 3,9 Prozent wird die MSR im

Jahr 2025 voraussichtlich ein Weltmarktvolumen von 234,4 Milliarden Euro erreichen.

Elektrische Antriebe stellten 2016 mit einem globalen Marktvolumen von 125,6 Milliarden Euro die zweitgrößte Technologielinie der Branchenübergreifenden Komponenten dar. Mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 8,4 Prozent im Zeitraum 2016 bis 2025 wird diese Technologielinie ihr Weltmarktvolumen bis 2025 auf 260,2 Milliarden Euro ausbauen. Ein wesentlicher Treiber dieses Expansionskurses ist die universelle Einsetzbarkeit von Elektromotoren in der industriellen Produktion und die kontinuierliche Verbesserung ihrer Effizienz. Sie birgt ein hohes Potenzial, um Treibhausgasemissionen zu reduzieren: Durch den Einsatz effizienter Industriemotoren könnte bis 2020 der Stromverbrauch um 27 Milliarden Kilowattstunden reduziert werden – was einer CO₂-Einsparung von 16 Millionen Tonnen entspräche.²⁸ So ist die Steigerung der Energieeffizienz elektrischer Antriebe seit Jahren ein wichtiger Bestandteil der Normengebung auf EU-Ebene: Die Ökodesign-Richtlinie (ErP-Richtlinie) ist 2011 in Kraft getreten und legte fest, dass alle neu hergestellten Motoren mindestens die Effizienzklasse IE2 einhalten müssen. Die zweite Stufe der ErP-Richtlinie folgte 2015: Danach dürfen Elektromotoren im Netzbetrieb mit einer Nennleistung von 7,5 bis 375 Kilowatt nur noch mit der Effizienzklasse IE3 eingesetzt werden. Seit Januar 2017 wurde diese Vorschrift auch auf den Leistungsbereich 0,75 bis 7,5 Kilowatt ausgedehnt.²⁹ In den USA, Kanada, Südkorea und China sind Normen, die den Effizienzklassen IE2 oder IE3 entsprechen, bereits vor den europäischen Richtlinien eingeführt worden.

26 „Callux“ zählt zu den Leuchtturmprojekten des Nationalen Innovationsprogramms Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP). Die Akteure dieses Projekt (Laufzeit 2012–2015, Budget 86 Millionen Euro) waren die Energieversorger EnBW, E.ON Ruhrgas, EWE, MVV Energie, VNG Verbundnetz Gas und die Gerätehersteller Baxi Innotech, Hexis und Vaillant. Die Koordination des Projekts lag beim Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung (ZSW). Siehe Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017d).

27 Siehe Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017e).

28 Siehe Grupp, Michael (2016).

29 Diese Vorschriften gelten nicht für Altanlagen; für sie sind die Regelungen maßgeblich, die zum Zeitpunkt ihrer Inbetriebnahme galten.

Abbildung 21: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Energieeffizienz 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)

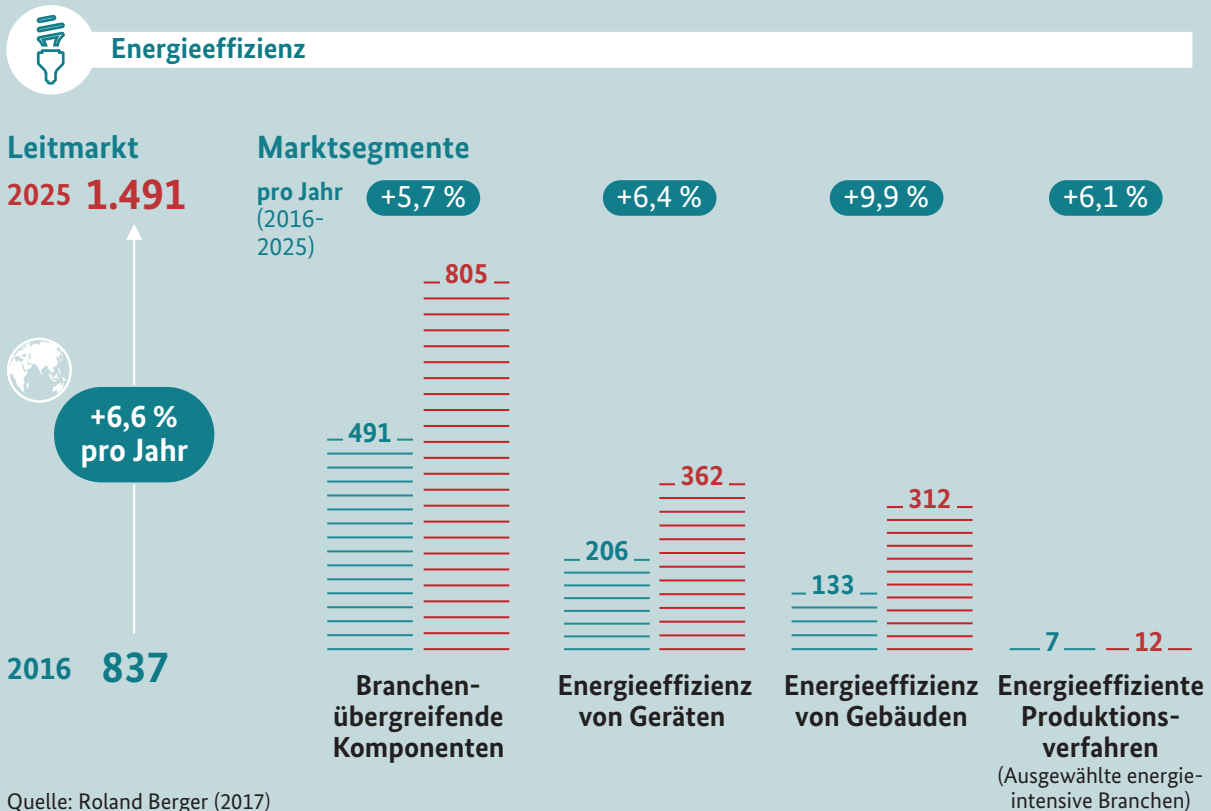


Abbildung 22: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Branchenübergreifende Komponenten 2016 (in Prozent)

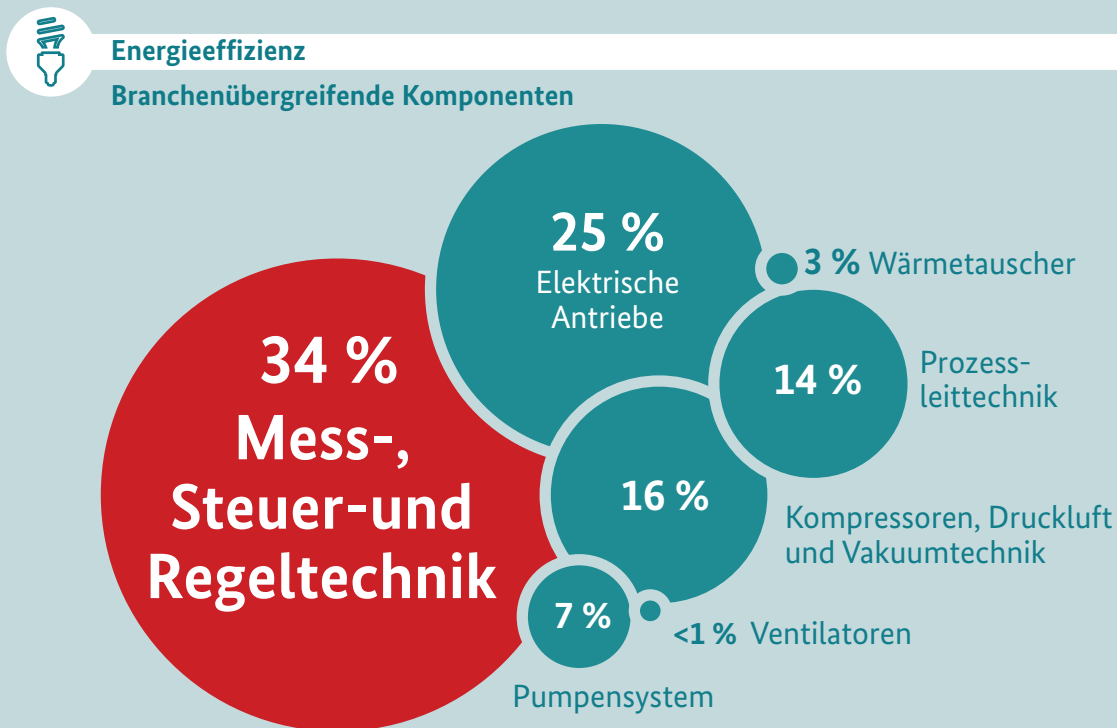
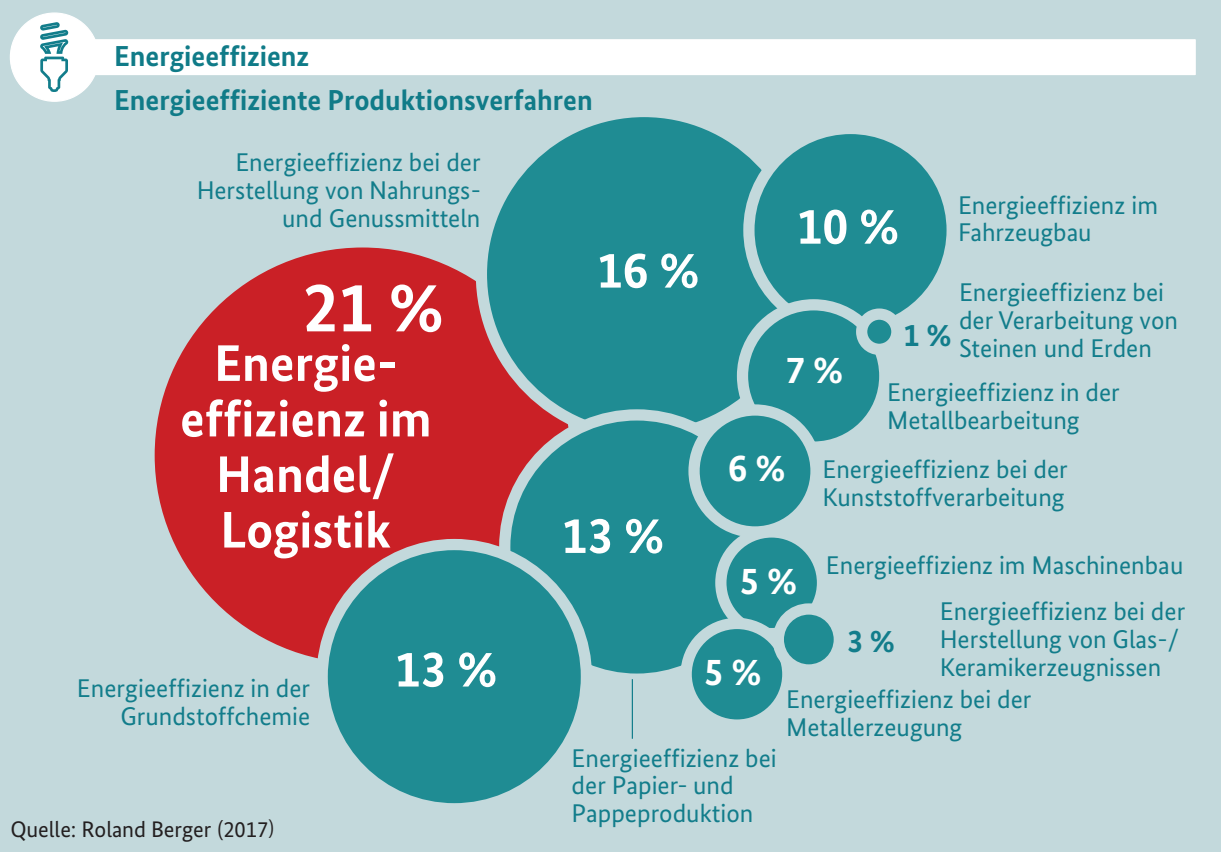


Abbildung 23: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Energieeffiziente Produktionsverfahren 2016 (in Prozent)



Wie Abbildung 23 deutlich macht, ist das Marktsegment Energieeffiziente Produktionsverfahren sehr fragmentiert, wobei jedoch einzelne Technologielinien ein starkes Gewicht haben. So steuerte die Technologielinie Energieeffizienz im Handel/Logistik 2016 über ein Fünftel zum Weltmarktvolumen dieses Marktsegments bei. Auch in anderen energieintensiven Branchen wie der Grundstoffchemie, dem Fahrzeugbau sowie der Papier- und Pappeherstellung spielen energiesparende Fertigungsverfahren eine wesentliche Rolle. Die Effizienztechnologien für diese Industrien stellten 2016 zusammen einen Anteil von über einem Drittel am Weltmarktvolumen der Energieeffizienten Produktionsverfahren.

Die Technologielinie Energieeffiziente Haushaltsgeräte/Weiße Ware hatte 2016 mit 88 Milliarden Euro den mit Abstand größten Anteil am Weltmarktvolumen des Marktsegments Energieeffizienz von Geräten (siehe Abbildung 24). Die Technologielinie Energieeffiziente Haushaltsgeräte/Weiße Ware wird sich zwischen 2016 und 2025 mit einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 3,7 Prozent entwickeln und im Jahr 2025 ein Weltmarktvolumen von 122,4 Milliarden Euro erreichen. Eine wesentlich höhere Wachstumsrate –

14,5 Prozent – zeigt die Energieeffiziente Beleuchtung. Diese Technologielinie wird ihr Weltmarktvolumen im Zeitraum 2016 bis 2025 von 28 auf 109 Milliarden Euro ausweiten. Hinter dieser dynamischen Entwicklung steht vor allem die zunehmende Marktdurchdringung von energiesparenden LED, die auch immer mehr zur Beleuchtung in Produktionsstandorten und im kommunalen Bereich eingesetzt werden.

Das Marktsegment Energieeffizienz von Gebäuden brachte es 2016 auf ein Weltmarktvolumen von 133 Milliarden Euro. Mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 9,9 Prozent wird sich das globale Marktvolumen bis 2025 voraussichtlich auf 312 Milliarden Euro steigern. Gemessen am Marktvolumen – es lag 2016 bei 59,3 Milliarden Euro – ist die Heizungs-, Klima-, Lüftungstechnik die wichtigste Technologielinie dieses Marktsegments (siehe Abbildung 25). Ihre Bedeutung basiert auf dem hohen Energieeinsparpotenzial in Verbindung mit relativ kurzen Amortisationszeiten. Mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 9,2 Prozent wird sich diese Technologielinie bis zum Jahr 2025 weiterhin dynamisch entwickeln. Ihr Weltmarktvolumen wird 2025 bei 131 Milliarden Euro liegen.

Überaus dynamisch wird sich die Technologielinie Passivhäuser und Plus-Energiehäuser entwickeln: Ihre jahresdurchschnittliche Wachstumsrate im Zeitraum

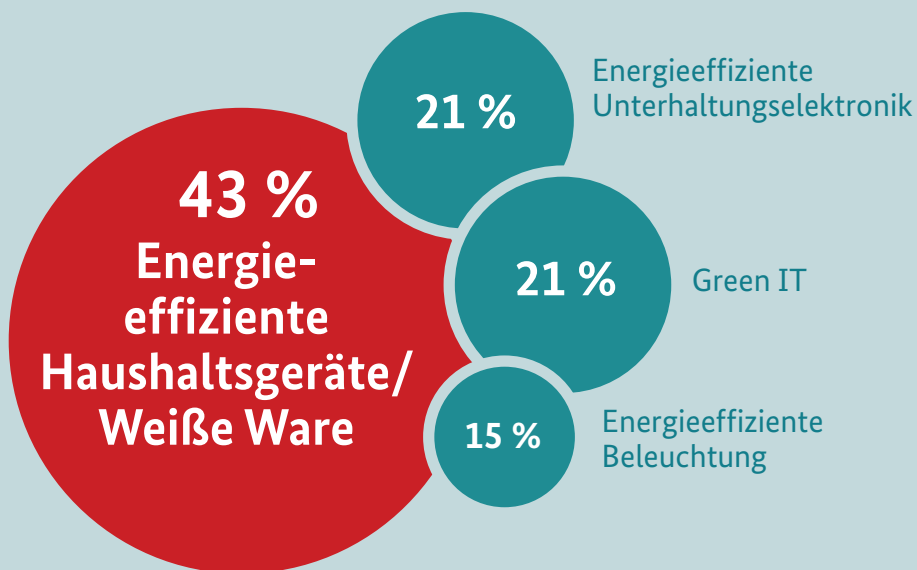
2016 bis 2025 liegt bei 32,2 Prozent; dieser Wert macht sie zu der am schnellsten expandierenden Technologielinie des gesamten Leitmarktes Energieeffizienz.

Abbildung 24: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Energieeffizienz von Geräten 2016 (in Prozent)



Energieeffizienz

Energieeffizienz von Geräten



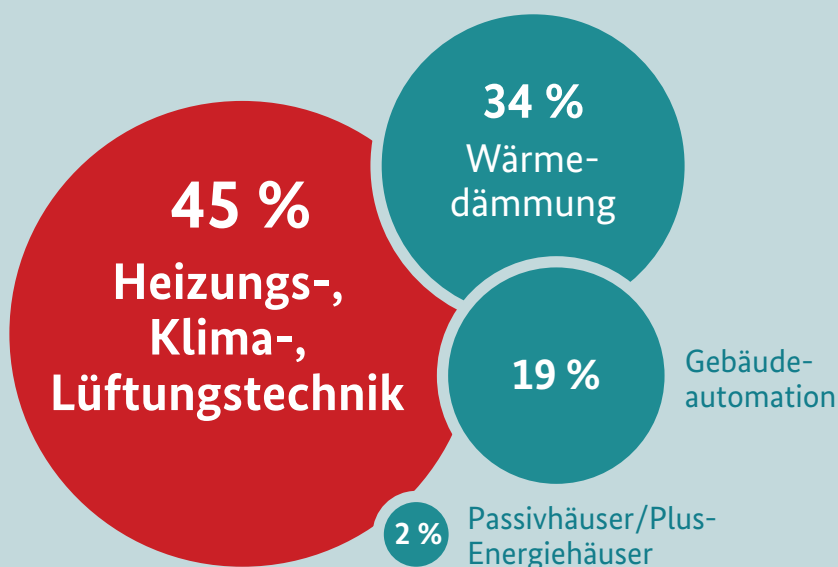
Quelle: Roland Berger (2017)

Abbildung 25: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Energieeffizienz von Gebäuden 2016 (in Prozent)



Energieeffizienz

Energieeffizienz von Gebäuden



Quelle: Roland Berger (2017)

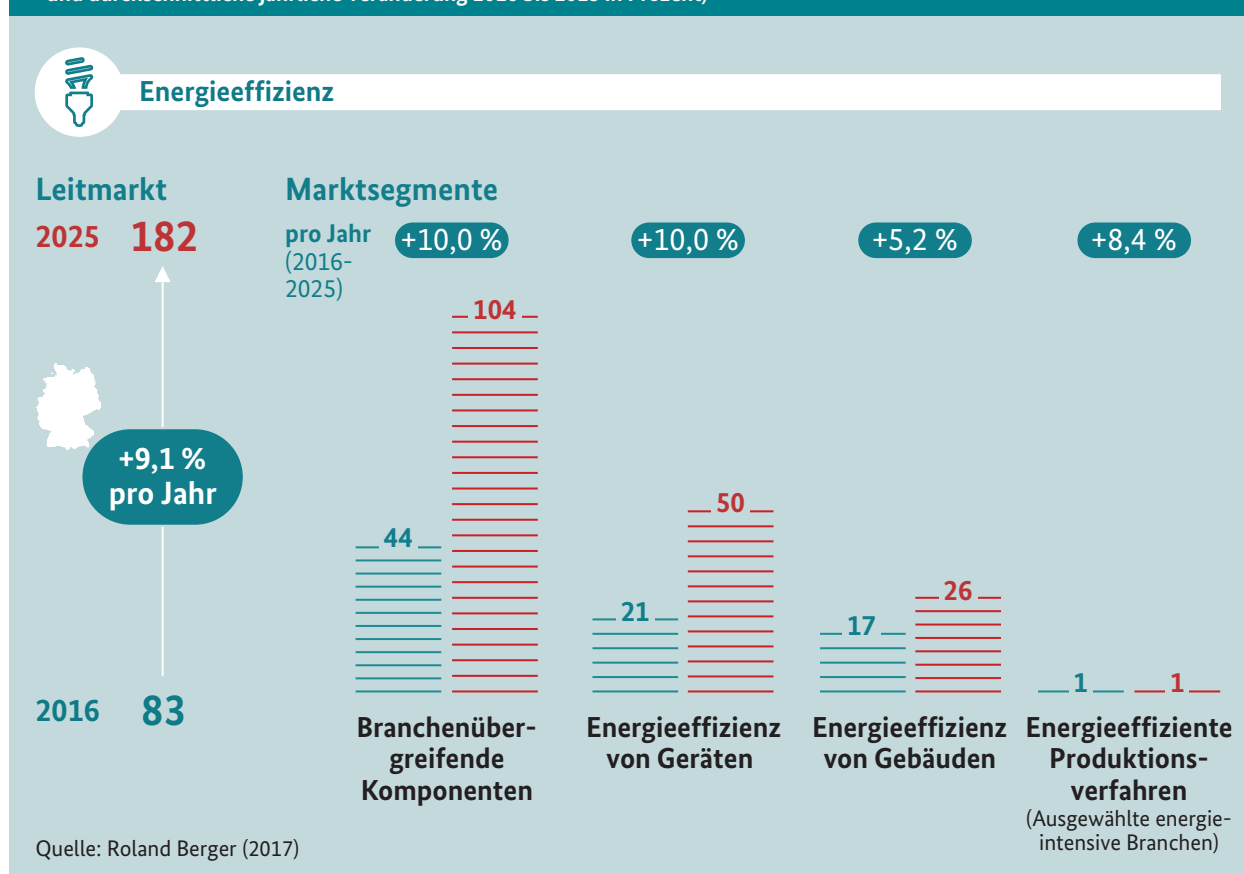


Blick auf Deutschland: der Leitmarkt Energieeffizienz

Das Marktvolumen des Leitmarktes Energieeffizienz in Deutschland belief sich 2016 auf 83 Milliarden Euro. Die Verbesserung der Energieeffizienz ist neben dem Ausbau der Energieerzeugung aus regenerativen Quellen ein zentraler Hebel, um die Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft zu senken. Insofern stellt die Energieeffizienz ein wesentliches Handlungsfeld des nachhaltigen Wandels der Energiewirtschaft dar. Die zunehmende Bedeutung der Energieeffizienz spiegelt sich in der Entwicklung des deutschen Leitmarktes wider: Mit einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 9,1 Prozent wird er sein Marktvolumen im Zeitraum 2016 bis 2025 von 83 auf 182 Milliarden steigern (siehe Abbildung 26). Wie auch auf dem internationalen Markt stellen die Branchenübergreifenden Komponenten

den größten Anteil am Volumen des Leitmarktes. Allerdings verläuft die Entwicklung dieses Marktsegments in Deutschland dynamischer als in der globalen Perspektive. Die Branchenübergreifenden Komponenten werden in Deutschland bis 2025 jahresdurchschnittlich mit 10 Prozent wachsen, global liegt dieser Wert bei 5,7 Prozent. Das höhere Expansionsstempo des deutschen Marktsegments ist insbesondere dem relativ starken Gewicht der industriellen Wertschöpfung am Standort Deutschland geschuldet sowie der ordnungspolitischen Rahmensetzung auf nationaler und EU-Ebene. Die Verbesserung der Energieeffizienz ist in der deutschen und EU-Energiepolitik verankert. In den produzierenden Unternehmen der unterschiedlichen Branchen wird die Nachfrage nach energieeffizienten Produkten, Verfahren und Dienstleistungen in den nächsten Jahren zunehmen.

Abbildung 26: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Energieeffizienz (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



Rohstoff- und Materialeffizienz

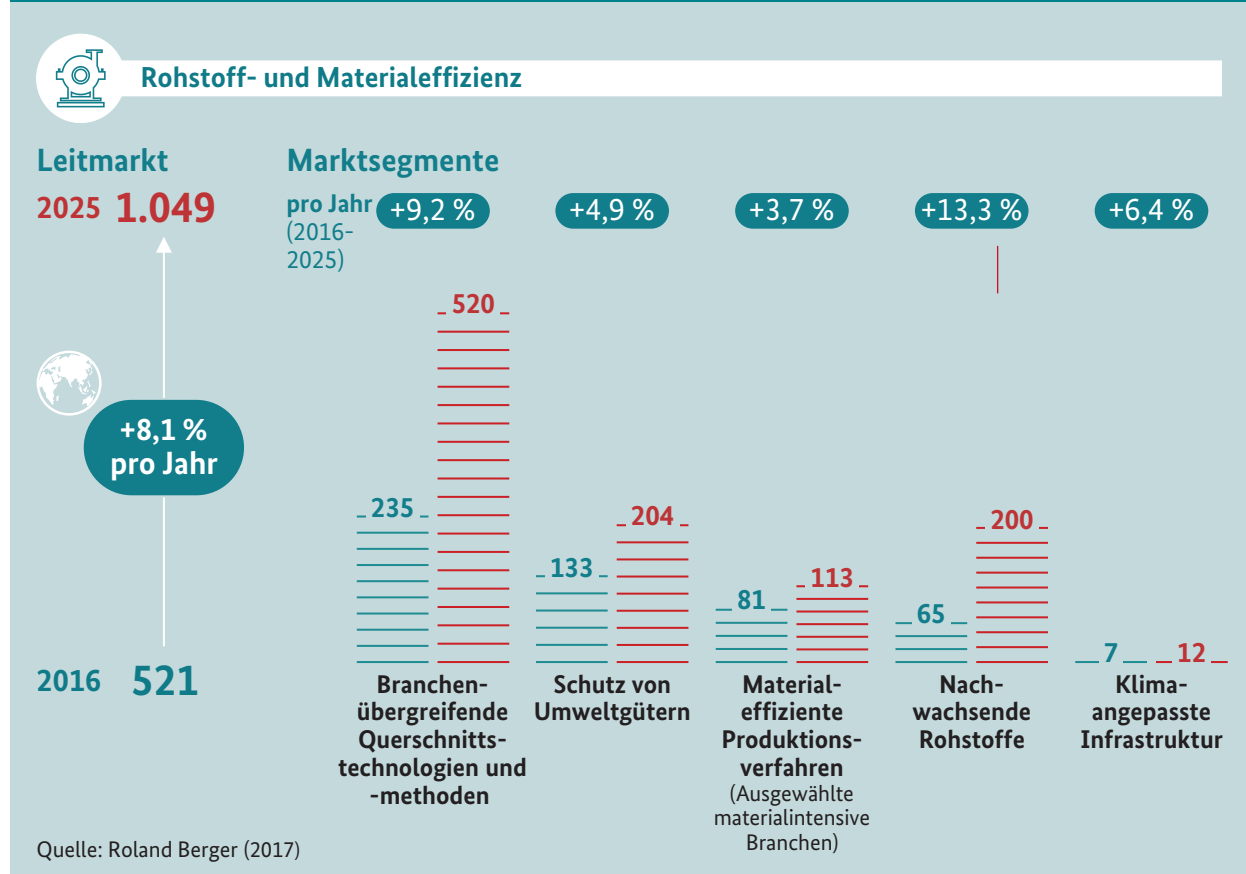
Laut Grundlagenbericht des Weltressourcenrates³⁰ liegt der weltweite Rohstoffverbrauch bei 85 Milliarden Tonnen. Ohne gegensteuernde Maßnahmen würde sich die Rohstoffentnahme bis 2050 verdoppeln. Durch eine effizientere Nutzung ließe sich der Verbrauch im gleichen Zeitraum jedoch um 28 Prozent senken.³¹ Damit dieses optimistische Szenario des Weltressourcenrates Realität wird, sind umfangreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Rohstoff- und Materialeffizienz erforderlich. Die Produkte, Verfahren und Dienstleistungen des gleichnamigen Leitmarktes leisten dazu einen erheblichen Beitrag.

Das Weltmarktvolumen des Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz lag 2016 bei 521 Milliarden Euro. Mit einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 8,1 Prozent wird dieser Leitmarkt bis zum Jahr 2025 ein Marktvolumen von 1.049 Milliarden Euro erreichen (siehe Abbildung 27). Diese Entwicklung wird vor allem

durch die Marktsegmente Querschnittstechnologien und -methoden und Nachwachsende Rohstoffe getrieben, die im Vergleich zum gesamten Leitmarkt überproportional zulegen.

Zum Marktsegment Branchenübergreifende Querschnittstechnologien und -methoden – im Folgenden kurz als Querschnittstechnologien bezeichnet – werden Technologien gezählt, deren Anwendung für eine Vielzahl von Branchen relevant ist und sich nicht auf bestimmte Industrien beschränken. Ein gängiges Beispiel einer Querschnittstechnologie ist die Informations- und Kommunikationstechnologie, die heute in jedem Wirtschaftszweig eine wesentliche Rolle spielt. Biotechnologie, Nanotechnologie und Organische Elektronik gehören ebenfalls zu den Querschnittstechnologien. Diese drei Technologielinien gelten für die Weiterentwicklung materialeffizienter Produkte und Verfahren als Schlüsseltechnologien, weshalb sie bei der Betrachtung des Marktsegments Querschnittstechnologien im Vordergrund stehen. Es war 2016 mit

Abbildung 27: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



30 Der Weltressourcenrat (World Resources Forum) ist ein internationales Wissenschaftlergremium unter dem Dach des Umweltprogramms der Vereinten Nationen. Es befasst sich mit der Nachhaltigen Nutzung von Ressourcen und erarbeitet Analysen und Empfehlungen zu diesem Thema.

31 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017d).

einem Weltmarktvolumen von 235 Milliarden Euro das größte Marktsegment des Leitmarktes; an dem Weltmarktvolumen der Rohstoff- und Materialeffizienz insgesamt hielten die Querschnittstechnologien einen Anteil von 45 Prozent. Mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 9,2 Prozent wird dieses Marktsegment sein Gewicht innerhalb des Leitmarktes bis 2025 vergrößern. Im Jahr 2025 wird sich das Weltmarktvolumen der Querschnittstechnologien voraussichtlich auf 520 Milliarden Euro belaufen. Die Nanotechnologie war 2016 mit einem globalen Marktvolumen von 142,7 Milliarden Euro die größte Technologielinie – sowohl innerhalb des Marktsegments Querschnittstechnologien als auch des gesamten Leitmarktes. Diese Positionierung wird die Nanotechnologie auch im Jahr 2025 innehaben.

Die Organische Elektronik kann im Marktsegment Querschnittstechnologien mit dem höchsten Expansionstempo aufwarten: Diese Technologielinie wird sich zwischen 2016 und 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 16,8 Prozent entwickeln. Diese Dynamik wird vor allem von der zunehmenden Anwendung der Organischen Elektronik in den Bereichen der Photovoltaik, Beleuchtung und Displays verstärkt. Für das Jahr 2025 wird ein Weltmarktvolumen dieser Technologielinie von 71 Milliarden Euro prognostiziert.

Im Marktsegment Nachwachsende Rohstoffe³² (NaWaRo) stellte die Technologielinie Bioenergie (Strom- und Wärmeerzeugung) einen Anteil von 19 Prozent; das entspricht einem Weltmarktvolumen von 12,1 Milliarden Euro (siehe Abbildung 28). Diese Technologielinie umfasst den Umsatz mit Biomaterialien, zum Beispiel Pellets, Biokohle, Biogas, die als Brennstoffe für die Strom- und Wärmeversorgung verwendet werden. Die Technologielinie Bioenergie wird zwischen 2016 und 2025 voraussichtlich jahresdurchschnittlich um 16,7 Prozent wachsen; demnach wird für 2025 ein Weltmarktvolumen von 48,6 Milliarden Euro prognostiziert. Immer mehr gefragt sind Farben und Lacke aus nachwachsenden Rohstoffen, die häufig als Beimischung für herkömmliche Farben verwendet werden. Dieser Trend spiegelt sich in einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 7,5 Prozent wider – das weltweite Marktvolumen dieser Technologielinie wird sich zwischen 2016 und 2025 von 11,6 auf 22,3 Milliarden Euro nahezu verdoppeln.

Die Technologielinie Verbundwerkstoffe besitzt derzeit einen Anteil von 13 Prozent am globalen Marktvolumen der Rohstoff- und Materialeffizienz. Durch die Kombination von Naturfasern und Kunststoffen entstehen Verbundwerkstoffe (zum Beispiel Wood Plastic Composites), die nicht nur den Verbrauch endlicher Ressourcen eindämmen, sondern oftmals auch verbesserte Eigenschaften (unter anderem Leichtigkeit, höhere Stabilität) im Vergleich zu herkömmlichen Faserverbünden aufweisen. Auf Biokunststoffe entfiel 2016 ein Anteil von 14 Prozent am Weltmarktvolumen des Marktsegments Nachwachsende Rohstoffe, die Bedeutung dieser Technologielinie wird in den nächsten Jahren erheblich zunehmen: Bis 2025 wird sie mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 18 Prozent expandieren. Hinter dieser dynamischen Entwicklung steht die zunehmende Massenproduktion biobasierter Kunststoffe.

Gemessen am globalen Marktvolumen stellt die Naturkosmetik mit elf Milliarden Euro einen erheblichen Anteil am Marktsegment Nachwachsende Rohstoffe (17 Prozent). Die steigende Nachfrage der Verbraucher nach Kosmetikprodukten mit natürlichen Inhaltsstoffen sorgt weiterhin für Rückenwind bei der Expansion (jahresdurchschnittliche Wachstumsrate 15,1 Prozent). 2025 wird das globale Marktvolumen der Naturkosmetik bei 39 Milliarden Euro liegen. In diesem Trend spiegelt sich wider, dass die transparente Darstellung der Inhaltsstoffe für Verbraucher eine zunehmend wichtigere Rolle spielt.

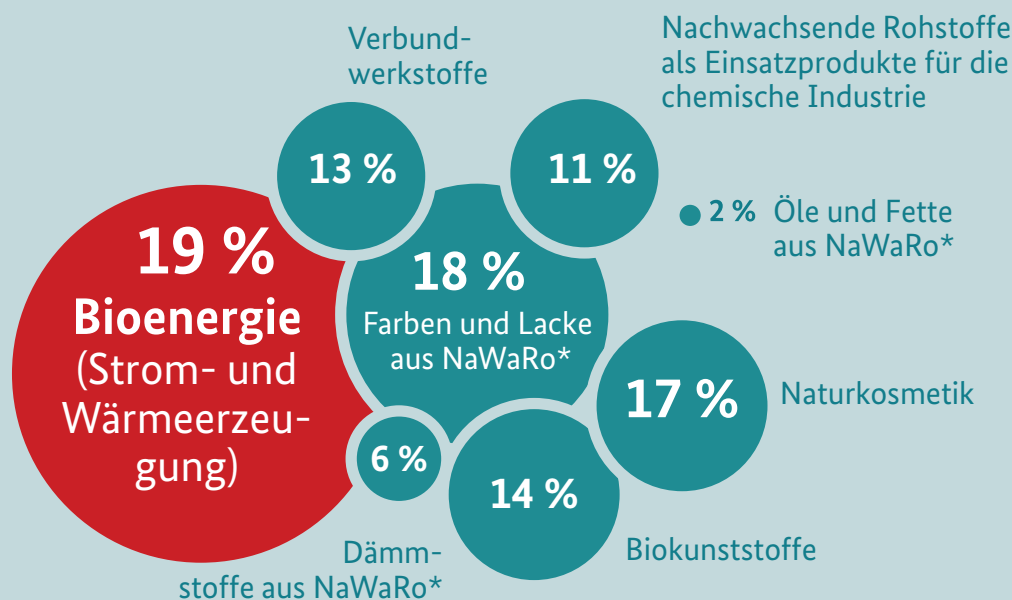
32 Bei der Beurteilung des Einsatzes Nachwachsender Rohstoffe müssen die Umweltauswirkungen stets über die gesamte Herstellungs- und Lieferkette betrachtet werden. Werden für den Anbau von Energie- oder Industriepflanzen Regenwälder abgeholzt oder landwirtschaftliche Monokulturen angelegt, die die Biodiversität negativ beeinflussen, werden die Vorteile im Hinblick auf die Ressourceneffizienz stark relativiert beziehungsweise zunichtegemacht.

Abbildung 28: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Nachwachsende Rohstoffe 2016 (in Prozent)



Rohstoff- und Materialeffizienz

Nachwachsende Rohstoffe



* Nachwachsende Rohstoffe

Quelle: Roland Berger (2017)

Das Marktsegment Schutz von Umweltgütern gehört ebenfalls zum Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz, denn es besteht ein enger Zusammenhang zwischen wachsendem Rohstoffbedarf, steigender Rohstoffentnahme und daraus resultierenden Beeinträchtigungen und Risiken für die Ökosysteme. Innerhalb dieses Marktsegments war der Grundwasser- und Gewässerschutz 2016 mit einem weltweiten Marktvolumen von 82,8 Milliarden Euro die mit Abstand größte Technologielinie. Die Technologielinie Naturschutz und Landschaftspflege erreichte 2016 ein Weltmarktvolumen von 29,2 Milliarden Euro. Insbesondere Schwellen- und Entwicklungsländer investieren präventiv in den Schutz vor Naturkatastrophen. Damit einhergehend werden die Investitionen in Naturschutz und Landschaftspflege ausgeweitet. So wird sich die gleichnamige Technologielinie zwischen 2016 und 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 11,6 Prozent entwickeln. Das Weltmarktvolumen wird sich 2025 voraussichtlich auf 78,4 Milliarden Euro beziffern.

Innerhalb des – in Hinblick auf das Volumen mit 6,8 Milliarden Euro eher kleinen – Marktsegments Klimangepasste Infrastruktur stellte 2016 der Hochwasserschutz die größte Technologielinie dar: Ihr weltweites Marktvolumen betrug 5,8 Milliarden Euro und wird bis 2025 knapp neun Milliarden Euro erreichen. Diese Prognose basiert auf dem Ausbau der Hochwasserschutzmaßnahmen in Europa sowie in Südostasien, Pakistan und Indien – zumal als Folge des Klimawandels die Gefahr von Flutkatastrophen wächst. Auch die Technologielinien Sturmschutz sowie Hitze- und Feuerschutz werden angesichts der in vielen Regionen häufiger auftretenden Extremwetterereignisse in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen.

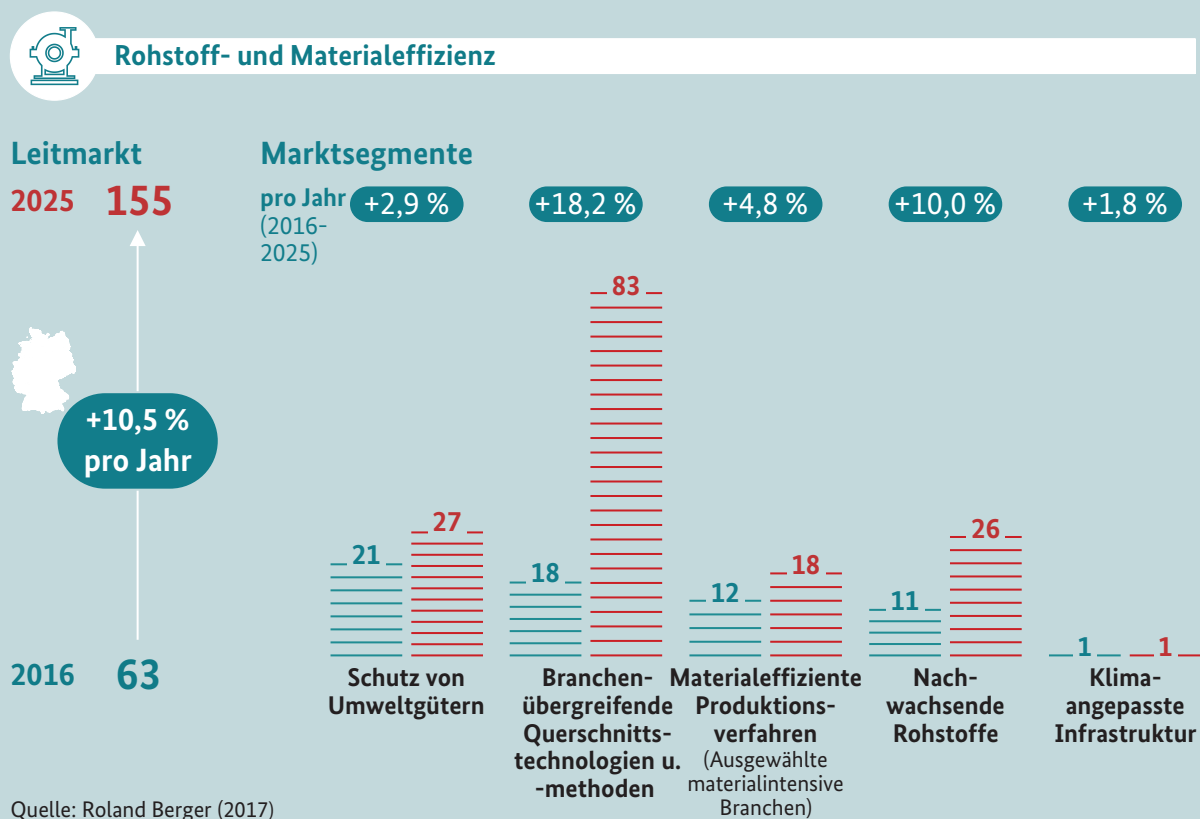


Blick auf Deutschland: der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz

Der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz erreichte in Deutschland 2016 ein Marktvolumen von 63 Milliarden Euro. Der Verbesserung der Rohstoff- und Materialeffizienz wird ein zunehmender Stellenwert beigemessen. Zentrales Instrument ist das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm. Vor diesem Hintergrund ist mit einer weiteren Expansion dieses Leitmarkts zu rechnen. Für den Zeitraum 2016 bis 2025 ist von einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 10,5 Prozent in Deutschland auszugehen; das Marktvolumen wird sich 2025 voraussichtlich auf 155 Milliarden Euro belaufen. Getragen wird dieses Wachstum vor allem von den Branchenübergreifenden Querschnitts-

technologien und -methoden. In Deutschland wird für dieses Marktsegment bis 2025 ein jahresdurchschnittliches Wachstum von 18,2 Prozent prognostiziert. Zum Vergleich: Im globalen Maßstab liegt diese Wachstumsrate lediglich bei 9,2 Prozent. Diese Diskrepanz spiegelt die vielseitigen Forschungsprojekte und zahlreichen Ausgründungen von wissenschaftlichen Instituten wider. Diese hochinnovativen Unternehmen werden in den nächsten Jahren ihre Entwicklungen immer stärker in Hightech-Produkten „made in Germany“ zur Anwendung bringen. Gerade der Markt für Nanotechnologie im Bereich von Beschichtungen und Anlagen zur Verarbeitung von Nanopartikeln nimmt deutlich zu. Unterstützt wird dies nicht zuletzt durch Programme und Initiativen wie den Aktionsplan Nanotechnologie 2015, „Nano in Germany“ etc.

Abbildung 29: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)





Urban Mining



„Deutschland ist ein rohstoffarmes Land.“ – Dieser Satz fällt im Kontext Ressourceneffizienz häufig, ist aber zu hinterfragen, denn zumindest in Hinblick auf Sekundärrohstoffe ist Deutschland ein reiches Land: Hier liegt ein gigantisches Rohstoffvermögen in Form eines anthropogenen Materiallagers, das sich in Bauwerken, Infrastrukturen und langlebigen Gütern versteckt. Diesen Schatz zu heben, trägt zur Schonung natürlicher Ressourcen bei. Ein wichtiger Ansatz dazu ist Urban Mining. Nach der Definition des Umweltbundesamtes ist Urban Mining die „integrale Bewirtschaftung des anthropogenen Lagers mit dem Ziel, aus langlebigen Gütern sowie Ablagerungen Sekundärrohstoffe zu gewinnen“.³³ Wörtlich übersetzt heißt Urban Mining „städtischer Bergbau“, aber diese Bezeichnung weckt falsche Assoziationen: Beim Urban Mining geht es nicht nur um innerstädtische Materiallager, sondern um den gesamten Bestand: Elektrogeräte, Autos, Infrastrukturen, Gebäude und Ablagerungen auf Deponien.

Für die Nutzung des anthropogenen Materiallagers sprechen viele Argumente, unter anderem der hohe Wertstoffgehalt: In Gütern wie Bauteilen und Maschinen liegen viele Metalle in Reinform oder hochlegiert vor, in natürlichen Erzlagerstätten kommen sie in niedrigerer Konzentration vor. Beispielsweise entspricht der Goldanteil eines durchschnittlichen Handys dem von 16 Kilogramm Golderz.

Eine große Herausforderung beim Urban Mining liegt darin, dass sich die Materialkreisläufe von Gebäuden, Infrastrukturen und langlebigen Konsumgütern teilweise erst nach Jahrzehnten schließen lassen. Die lange Zeitspanne erschwert die Ermittlung des Materialbestands und seiner Zusammensetzung. Deshalb geht der Ansatz Urban Mining bei der Betrachtung der Stoffkreisläufe weiter als die klassische Abfallwirtschaft. Urban Mining betrachtet den Gesamtbestand an langlebigen Gütern; das heißt, Materialien sind bereits während der Nutzungsphase im Fokus, um frühzeitig künftige Stoffströme prognostizieren und optimale Verwertungswege bestimmen zu können.

Aktuell bestehen noch Wissenslücken über die Zusammensetzung des anthropogenen Materiallagers in Deutschland. Um diese zu verkleinern, hat das Umweltbundesamt das Projekt „Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland“ gestartet.³⁴ Die Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS befasst sich ebenfalls mit Urban Mining.³⁵ Ein Forschungsfeld der Wissenschaftler ist die Extraktion von Wertstoffen aus Materialsystemen wie metallurgischen Schlacken oder die Rückgewinnung von Metallen aus mineralischen oder organischen Schlämmen. Ein weiteres Thema ist die Gewinnung von Sekundärrohstoffen aus Deponien.³⁶

³³ Umweltbundesamt (2016b).

³⁴ Siehe Umweltbundesamt (2015a).

³⁵ Siehe Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS (2017).

³⁶ Diese Sonderdisziplin des Urban Mining wird auch als Landfill Mining bezeichnet.

CCU – Carbon Capture and Utilisation: CO₂ als Rohstoff



Die Abscheidung und Nutzung von Kohlenstoffdioxid (Carbon Capture and Utilisation – CCU) ermöglichen einen Perspektivwechsel in der Betrachtung von CO₂: Der Klimakiller wird zum potenziellen Rohstofflieferanten. Das Kürzel CCU steht für Technologien und Prozesse, „die Kohlenstoffdioxid direkt oder nach der chemischen Umwandlung als eine Kohlenstoffverbindung in Materialien oder Energieträgern verwenden“.³⁷ Das Verb „verwenden“ macht den Unterschied zur Carbon Capture and Storage-Technologie deutlich: CCS sorgt mit einer dauerhaften unterirdischen Speicherung dafür, dass das CO₂ nicht in die Atmosphäre gelangt. CCU dagegen will CO₂-Emissionen als alternative Kohlenstoffquelle nutzen. So können – ganz nach dem Ideal der Kreislaufwirtschaft – industrielle CO₂-Kreisläufe geschlossen werden.

Das CO₂ für CCU-Technologien kann vor allem aus den Emissionen von Industrieanlagen und Kraftwerken gewonnen werden. Dabei wird CO₂ aus Rauchgasen gefiltert. Allerdings sind diese Verfahren bislang noch nicht etabliert; Gründe dafür sind relativ hohe Kosten und geringe Nachfrage. Hinzu kommen Vorbehalte wegen der nicht abschließend geklärten Umweltrisiken, etwa beim Transport von CO₂.

Als CO₂-Quelle kommt auch die Atmosphäre selbst infrage. Chemisch-technische Verfahren könnten bereits emittiertes CO₂ aus der Atmosphäre herausfiltern (Direct Air Capture). Jedoch ist dieser Ansatz noch nicht reif für die kommerzielle Anwendung.

CO₂ kann nach der Abscheidung in unterschiedlichen Bereichen verwendet werden: Bei der physikalischen Nutzung wird CO₂ direkt in festem oder flüssigem Aggregatzustand verwendet, zum Beispiel in Trockeneis, Feuerlöschern oder Getränken. In einer chemischen Umwandlung kann CO₂ als Rohstoff zur Herstellung energetisch höherwertiger Kohlenstoffverbindungen dienen (stoffliche Nutzung). Diese werden vor allem in pharmazeutischen Produkten, Lösungs- und Düngemitteln gebraucht. Des Weiteren lassen sich mit CO₂ flüssige Kraftstoffe und synthetisches Erdgas herstellen und für die Speicherung von Energie nutzen. Diese Verfahren zur Gewinnung von Energieträgern werden aktuell aber nur in Demonstrationsanlagen angewendet.

In einer Studie wurde die klima- und innovationspolitische Einordnung der CCU-Technologien untersucht.³⁸ Demnach birgt CCU wichtige Klimaschutzpotenziale; diese rühren vor allem aus energetischen Effizienzsteigerungen und aus einer Substitution fossiler Rohstoffe. Jedoch werden bis zu einer breiten Anwendung von Carbon Capture and Utilisation noch Jahrzehnte vergehen, so das Fazit.

³⁷ Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) (2014).

³⁸ Siehe Piria, Raffaele/Naims, Henriette/Lorente Lafuente, Ana Maria (2016).

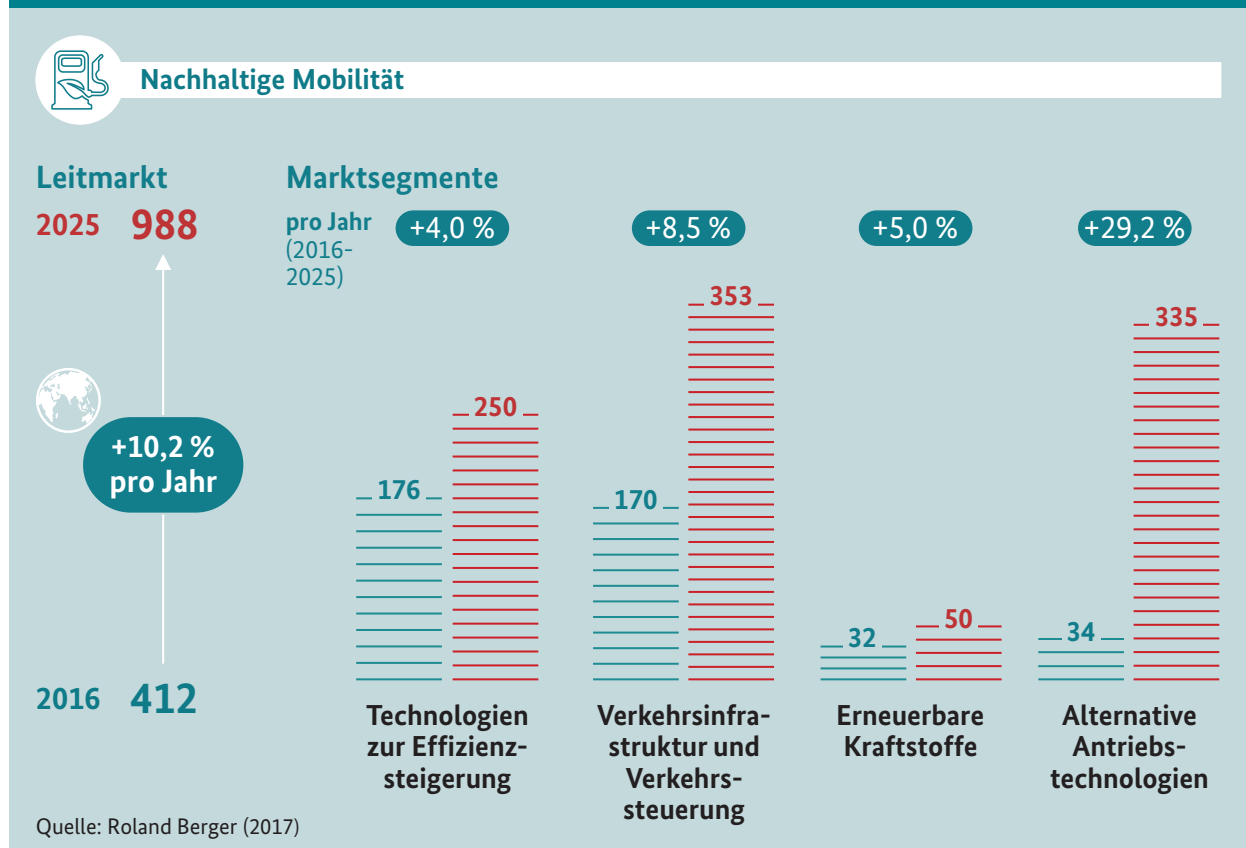
Nachhaltige Mobilität

Der Verkehrssektor hat einen Anteil von 24 Prozent an den weltweiten Treibhausgas-Emissionen.³⁹ Deshalb liegt es auf der Hand: Die globalen Klimaschutzziele lassen sich nur erreichen, wenn es gelingt, den mobilitätsbedingten CO₂-Ausstoß zu senken. Betrachtet man den Verkehrssektor genauer, zeigt sich unter den Verursachern der CO₂-Emissionen deutlich die Dominanz des Straßenverkehrs, zu dem Pkw, Lkw, Busse und Motorräder gezählt werden. Auf den Straßenverkehr entfällt ein Anteil von 75 Prozent an den gesamten Treibhausgas-Emissionen des Verkehrssektors.⁴⁰ Dementsprechend haben klimaschonende Technologien für die Anwendung in Autos und Lastwagen besondere Bedeutung für den Klimaschutz.

Zwar emittieren Pkw und Lkw in Deutschland im Durchschnitt weniger Treibhausgase und Luftschadstoffe als früher: Die kilometerbezogenen CO₂-Emissionen sind seit 1995 im Schnitt bei Pkw um 13 Prozent, bei Lkw um 31 Prozent gesunken. Allerdings sind heute mehr Fahrzeuge unterwegs als vor zwei Jahrzehnten,

insbesondere mehr Lkw. So haben im Straßengüterverkehr die Treibhausgasemissionen gegenüber 1995 um 16 Prozent zugenommen. Das wachsende Verkehrsaufkommen ist ein wesentlicher Grund, dass der Beitrag des Verkehrssektors zum Erreichen der deutschen Klimaziele – Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 um 40 Prozent gegenüber 1990 – bislang geringer ausfiel als in anderen Sektoren: Bis 2014 wurde im Verkehrssektor eine Minderung des CO₂-Ausstoßes von 2,6 Prozent gegenüber 1990 erreicht; bei den gesamten CO₂-Emissionen lag die Minderung im selben Zeitraum bei 27,7 Prozent.⁴¹ Um die Treibhausgasemissionen und andere umweltschädliche Auswirkungen des Verkehrssektors zu mindern, bedarf es eines nachhaltigen Wandels der Mobilität. In der globalen Perspektive ist die Nachhaltige Mobilität der Leitmarkt mit der dynamischsten Entwicklung innerhalb der GreenTech-Branche. Zwischen 2016 und 2025 wird die Nachhaltige Mobilität jahresdurchschnittlich um 10,2 Prozent wachsen. Das Weltmarktvolumen dieses Leitmarktes bezifferte sich 2016 auf 412 Milliarden Euro. Im Jahr 2025 wird es 988 Milliarden Euro betragen (siehe Abbildung 30).

Abbildung 30: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Nachhaltige Mobilität 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



39 Siehe International Energy Agency (2016c), Seite 97.

40 Siehe BDL – Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (2017), Seite 6.

41 Siehe Umweltbundesamt (2017d).

Die mit weitem Abstand schnellste Expansionsgeschwindigkeit zeigen die Alternativen Antriebstechnologien, die nicht nur für Pkw bestimmt sind, sondern auch für andere Fortbewegungsmittel wie zum Beispiel E-Busse, E-Fahrräder oder E-Roller. Das Marktsegment Alternative Antriebstechnologien wird sich im Zeitraum 2016 bis 2025 mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 29,2 Prozent entwickeln, sodass sich das globale Marktvolumen bis 2025 voraussichtlich auf 335 Milliarden Euro belaufen wird. 2016 lag es bei 34 Milliarden Euro. Die Impulse für diese Dynamik werden vor allem von der Technologielinie Elektroantriebe gesetzt, die in die Phase der Massenproduktion eintreten werden: Mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 35,6 Prozent steigern sie ihren Anteil am Marktvolumen dieses Marktsegments von 49 Prozent (2016) auf 76 Prozent im Jahr 2025.

Damit werden sich die Gewichte unter den Technologielinien dieses Marktsegments verschieben: 2016 stellten die bereits ausgereiften Hybridantriebe am Weltmarktvolumen des Marktsegments einen Anteil von 50 Prozent (siehe Abbildung 31). Bis zum Jahr 2025

wird der Anteil dieser Technologielinie am Marktsegment auf 21 Prozent schrumpfen. Brennstoffzellenantriebe können zwar mit einem hohen durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 72 Prozent aufwarten, aber die Entwicklung startet von einer sehr niedrigen Ausgangsbasis: Das weltweite Marktvolumen dieser Technologielinie lag 2016 bei 77 Millionen Euro. Bislang existieren erste Vorserien von Brennstoffzellenantrieben. Derzeit liegen die Kosten für diese Antriebstechnologie noch relativ hoch. Ähnlich wie die Ladeinfrastruktur für batterieelektrische Fahrzeuge fehlt bisher die Wasserstoff-Tankinfrastruktur für den Markthochlauf der Brennstoffzellenfahrzeuge.

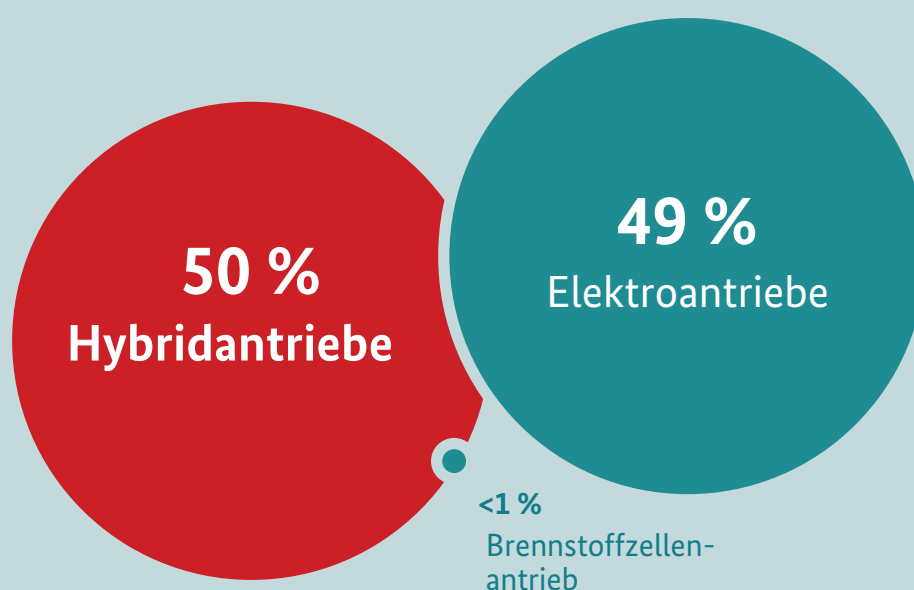
Im Marktsegment Effizienzsteigerung zeichnet sich ein deutlicher Wachstumstrend für Leichtbautechnologien ab. Sie verringern das Gewicht von Fahrzeugen – und reduzieren damit den Kraftstoffverbrauch. In Kombination mit einer verbesserten Aerodynamik kann konsequenter Leichtbau die Energieeffizienz von Fahrzeugen erheblich steigern. Dies macht Leichtbautechnologien zu einem wichtigen Handlungsfeld, um Treibstoffeinsparungen im Autobau und in der Luft-

Abbildung 31: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Alternative Antriebstechnologien 2016 (in Prozent)



Nachhaltige Mobilität

Alternative Antriebstechnologien



Quelle: Roland Berger (2017)



fahrtindustrie zu erzielen. Außerdem tragen Leichtbautechnologien zur Kostensenkung bei, weil sie beispielsweise den Materialbedarf reduzieren oder teure durch günstigere Materialien ersetzen, etwa Stahlfedern durch Kunststofffedern. Das globale Marktvolumen dieser Technologielinie bezifferte sich 2016 auf 76,2 Milliarden Euro und wird bis 2025 auf 153,1 Milliarden Euro ansteigen (jahresdurchschnittliche Wachstumsrate 8,1 Prozent). Die Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren hat nach wie vor einen hohen Stellenwert im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität. Der Anteil dieser Technologielinie am Weltmarktvolumen des Marktsegments Effizienzsteigerung lag 2016 bei 41 Prozent. Trotz der zunehmenden Verbreitung alternativer Antriebe wird der Großteil der Autos weltweit in den nächsten Jahren mit einem Verbrennungsmotor unterwegs sein. Verbrennungsmotoren werden außerdem in Kombination mit Elektroantrieben benötigt, beispielsweise für Hybridfahrzeuge und Range Extender bei Elektrofahrzeugen.

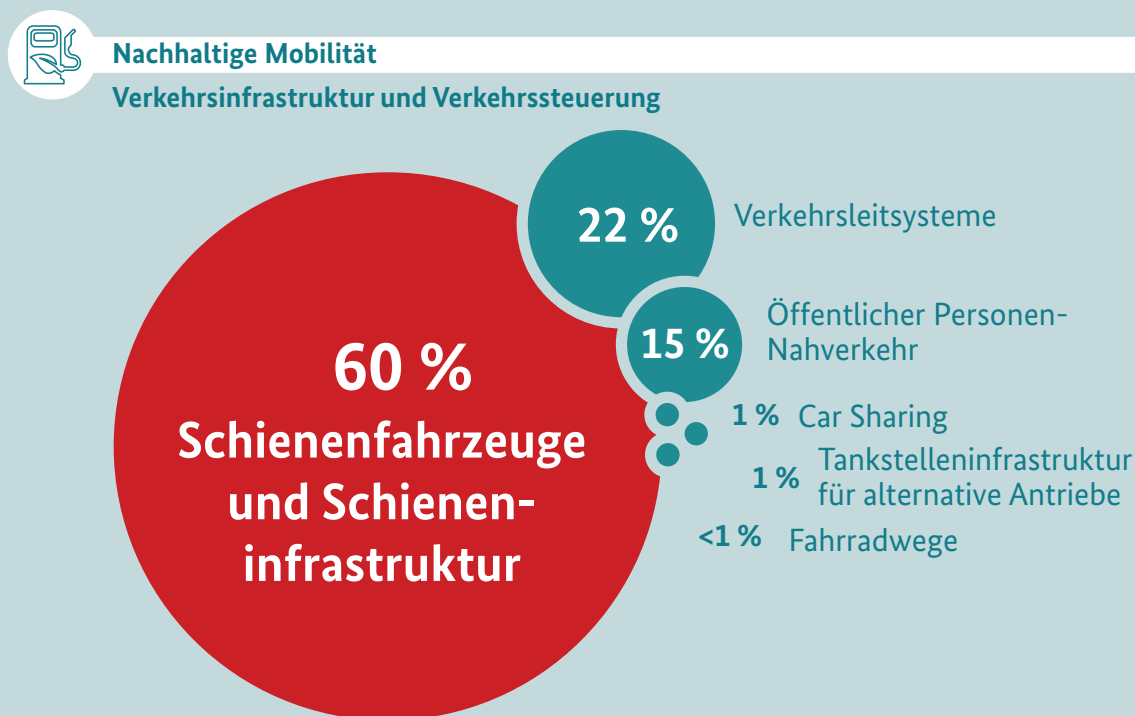
Das Marktsegment Verkehrssteuerung und Verkehrsinfrastruktur erreichte 2016 ein globales Marktvolumen von 169,9 Milliarden Euro. Der mit weitem Abstand größte Anteil (62 Prozent) daran entfiel auf die Technologielinie Schienenfahrzeuge und Schieneninfrastruktur (siehe Abbildung 32). An der dominierenden Stellung dieser Technologielinie wird sich in den nächsten Jahren nichts ändern. Im Jahr 2025 wird ihr globales Marktvolumen fast 149 Milliarden Euro betragen. Immer mehr Menschen werden in Städten leben.

Gleichzeitig sind die Belastungsgrenzen vieler Städte für den motorisierten Individualverkehr erreicht. Außerdem wächst das Bewusstsein für die Umweltbelastungen des Autoverkehrs. Diese Trends lassen den Öffentlichen Personennahverkehr an Bedeutung gewinnen. Diese Entwicklung spiegelt sich in einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 5,4 Prozent im Zeitraum 2016 bis 2025 wider. Das globale Marktvolumen dieser Technologielinie wird von 25,2 Milliarden Euro im Jahr 2016 auf 40,6 Milliarden Euro im Jahr 2025 anwachsen. Im Aufwärtstrend befinden sich auch die Investitionen in Fahrradwege, weil die Fortbewegung auf zwei Rädern in immer mehr Ländern neue Anhänger gewinnt und im Stadtverkehr als Alternative zum Auto eingesetzt wird. Car Sharing hat zwar aktuell noch ein geringes globales Marktvolumen in Höhe von 1,8 Milliarden Euro. Aber die Technologielinie kann mit einer beeindruckenden durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 30 Prozent aufwarten. Für 2025 ist mit einem globalen Marktvolumen von 19 Milliarden Euro zu rechnen.

Der Ausbau einer öffentlichen Lade- beziehungsweise Tankstelleninfrastruktur (für Wasserstoff) ist die Voraussetzung für eine stärkere Marktdurchdringung von Fahrzeugen mit alternativen Antrieben.⁴² Im Jahr 2016 betrug das globale Marktvolumen der Tankstelleninfrastruktur für alternative Antriebe 1,8 Milliarden Euro. Getrieben von der steigenden Nachfrage nach Fahrzeugen mit alternativen Antrieben wird sich diese Technologielinie zwischen 2016 und 2025 mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 55,6 Prozent sehr dynamisch entwickeln. Im Jahr 2025 wird das globale Marktvolumen 98 Milliarden Euro betragen.

42 Zu den alternativen Antrieben werden hier Hybridantriebe, Elektroantriebe und Brennstoffzellenantriebe gezählt.

Abbildung 32: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung 2016 (in Prozent)



Quelle: Roland Berger (2017)



Blick auf Deutschland: der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität

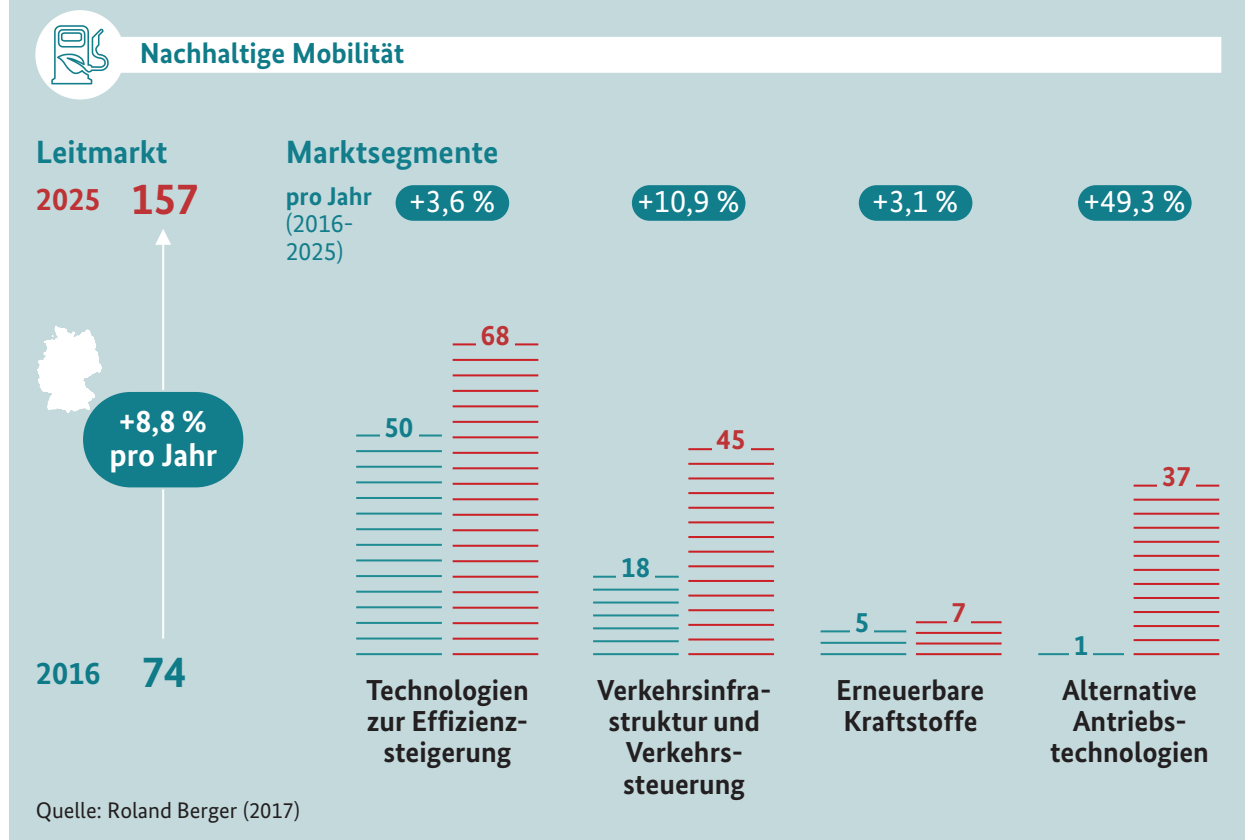
Das Marktvolumen der Nachhaltigen Mobilität in Deutschland bezifferte sich 2016 auf 74 Milliarden Euro. Mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 8,8 Prozent wird der Leitmarkt bis 2025 voraussichtlich ein Volumen von 157 Milliarden Euro erreichen (siehe Abbildung 33).

Ein besonders hohes Expansionstempo legen die Alternativen Antriebstechnologien vor. Zwischen 2016 und 2025 wird dieses Marktsegment sein Marktvolumen in Deutschland von einer Milliarde Euro auf 37 Milliarden Euro ausdehnen. Das entspricht einem jahresdurchschnittlichen Wachstum von 49,3 Prozent. Den Rückenwind auf diesem rasanten Expansionskurs liefert vor allem die Marktdurchdringung der Elektromobilität. In der globalen Betrachtung des Marktsegments fällt die Wachstumsrate geringer aus (29,2 Prozent). Dieser Unterschied lässt den Schluss zu, dass die Elektromobilität in Deutschland in den nächsten Jahren immer mehr an Bedeutung gewinnt. Es ist zu erwarten, dass in Folge des Diesel-Skandals, der im Sommer 2017 ein breites Medienecho fand, die „Verkehrswende“ in Deutschland erheblich an Dynamik gewinnt.

Immer mehr Länder haben den Verbrennungsmotor zum Auslaufmodell erklärt: Großbritannien und Frankreich streben bei Neuzulassungen ein Verbot von Verbrennungsmotoren ab 2040 an, Indien ab 2030 und Norwegen ab 2025. Diesem Druck der internationalen Märkte werden sich die stark exportorientierten deutschen Autohersteller nicht entziehen können. So ist zu erwarten, dass künftig mehr technisch und preislich attraktive E-Modelle angeboten werden – was wiederum das Interesse und die Akzeptanz auf Nachfrageseite steigern dürfte.

Während die deutschen Automobilhersteller ihre Angebotspalette für E-Autos erweitern, werden bis dato in Deutschland keine E-Busse produziert. Das heißt, es werden keine Busse mit elektrischen Antrieben produziert, die speziell auf die Bedürfnisse deutscher Verkehrsunternehmen zugeschnitten sind. Bislang existiert hierzulande auch noch kein Sekundärmarkt für gebrauchte E-Busse.

Abbildung 33: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Nachhaltige Mobilität (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



Kreislaufwirtschaft

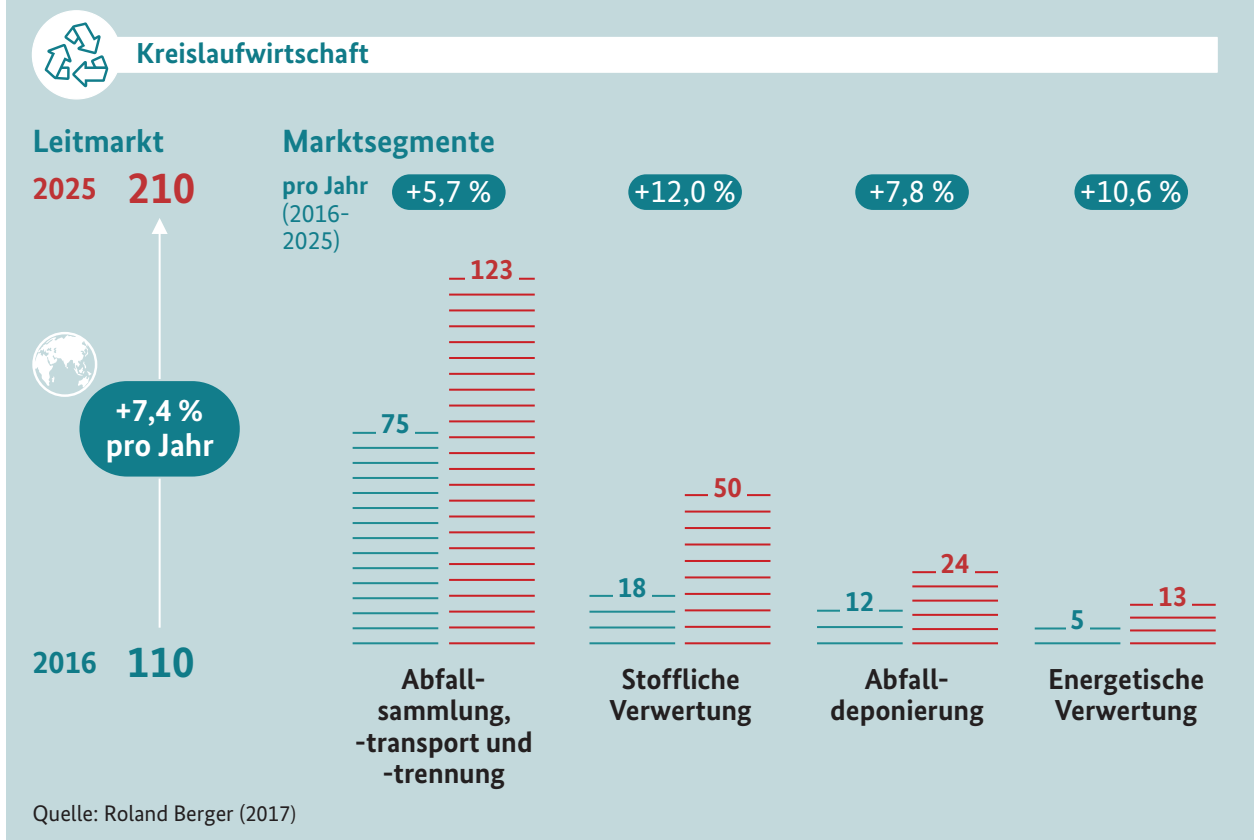
Weltweit wird der Abfallwirtschaft ein höherer Stellenwert beigemessen als in der Vergangenheit – nicht zuletzt deshalb, weil die Bedeutung der Abfallwirtschaft für den Umwelt- und Klimaschutz sowie für die nachhaltige Ressourcennutzung immer deutlicher wird. Das globale Marktvolumen bezifferte sich 2016 auf 110 Milliarden Euro. Mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 7,4 Prozent wird es sich bis 2025 auf 210 Milliarden Euro erhöhen (siehe Abbildung 34).

Die Abfallsammlung, -transport und -trennung ist nach wie vor das dominierende Marktsegment des Leitmarktes Kreislaufwirtschaft. Das Weltmarktvolumen dieses Marktsegments belief sich 2016 auf 75 Milliarden Euro. Damit stellte dieses Marktsegment einen Anteil von 68 Prozent an der gesamten Kreislaufwirtschaft. Zwischen 2016 und 2025 wird sich das Marktsegment Abfallsammlung, -transport und -trennung mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 5,7 Prozent entwickeln, sodass sich das Weltmarktvolumen 2025 voraussichtlich auf 210 Milliarden Euro beziffern wird. Die Technologielinie Abfallsammlung und Abfalltransport war mit einem globalen Marktvolumen

von 65 Milliarden Euro die mit Abstand größte Technologielinie innerhalb des Leitmarktes Kreislaufwirtschaft. Ihr Anteil am Weltmarktvolumen der gesamten Kreislaufwirtschaft belief sich auf 2016 auf 59 Prozent. Die Technologielinie Abfalltrennung wird zwischen 2016 und 2025 jahresdurchschnittlich um 13,8 Prozent wachsen. Dieser Trend spiegelt die steigende Investitionsbereitschaft in einigen Schwellenländern wider, beispielsweise in China: Automatisierte Mülltrennungs- und Recyclinganlagen ersetzen zunehmend die manuelle Abfalltrennung.

Zum Marktsegment Stoffliche Verwertung – das globale Marktvolumen lag 2016 bei 18 Milliarden Euro – gehören die Technologielinien Werkstoffliche Verwertung und Rohstoffliche Verwertung. Innerhalb des Marktsegments Stoffliche Verwertung dominiert die Technologielinie Rohstoffliche Verwertung. Ihr Weltmarktvolumen belief sich 2016 auf 13,6 Milliarden Euro – das entsprach einem Anteil von 76 Prozent am globalen Volumen des Marktsegments. Ihr Weltmarktvolumen wird 2025 voraussichtlich 33 Milliarden Euro betragen. Das wird einem Anteil von zwei Dritteln am Weltmarktvolumen des gesamten Marktsegments Stoffliche Verwertung entsprechen. Die Werkstoffliche Verwertung wird innerhalb des Marktsegments an Ge-

Abbildung 34: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Kreislaufwirtschaft 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



wicht zulegen: Sie entwickelt sich zwischen 2016 und 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 16,5 Prozent; das Expansionstempo der Rohstofflichen Verwertung fällt dagegen mit 10,3 Prozent

etwas geringer aus. Diese Tendenz geht aus umweltpolitischer Perspektive in die richtige Richtung, da beim Recycling durch werkstoffliche Verwertung der ökologische Fußabdruck in der Regel kleiner ausfällt.

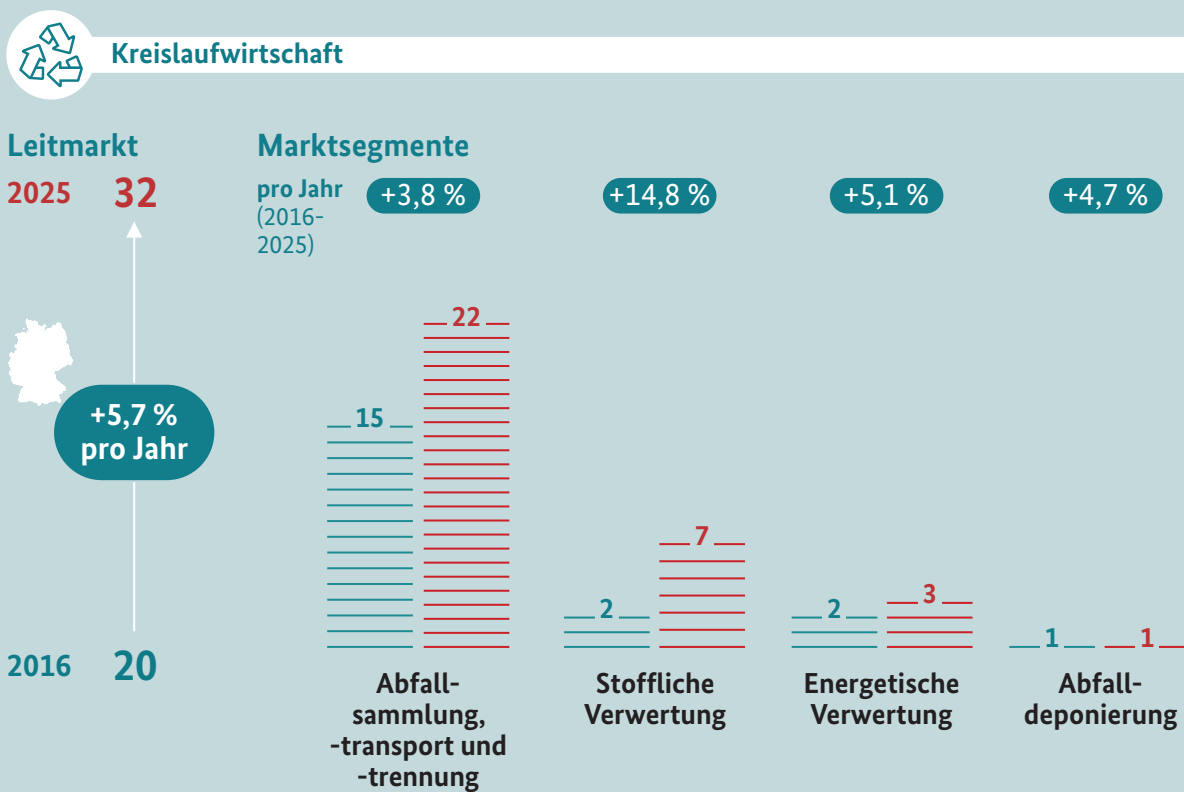


Blick auf Deutschland: der Leitmarkt Kreislaufwirtschaft

Die Kreislaufwirtschaft erreichte 2016 in Deutschland ein Marktvolumen von 20 Milliarden Euro. Bis 2025 wird eine jahresdurchschnittliche Wachstumsrate von

5,7 Prozent prognostiziert, was das Marktvolumen voraussichtlich auf 32 Milliarden Euro erhöhen wird (siehe Abbildung 35). Wie auf dem internationalen Leitmarkt dominiert auch in der deutschen Kreislaufwirtschaft das Marktsegment Abfallsammlung, -transport und -trennung.

Abbildung 35: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Kreislaufwirtschaft
(in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



Quelle: Roland Berger (2017)



Obsoleszenz



Im lateinisch-deutschen Wörterbuch steht zum Verb „obsolescere“ der Eintrag „sich abnutzen, veralten (...), aus der Mode kommen“. Heute bezeichnet Obsoleszenz die Alterung von Produkten. Dieses Thema wird heiß diskutiert: Zum einen, weil manche Verbraucher den Herstellern unterstellen, mittels eingebauter Mängel für eine von vornherein begrenzte Lebensspanne ihrer Geräte zu sorgen. Diese sogenannte geplante Obsoleszenz – so der Verdacht der Konsumenten – stellt sich bevorzugt kurz nach Ablauf der Garantie- beziehungsweise Gewährleistungsfrist ein. Zum anderen ist die kürzere Nutzungsdauer von Geräten – Stichwort „Wegwerfgesellschaft“ – ein ökologisches Problem: Die Herstellung der Produkte belastet Umwelt und Klima. Werden Geräte schneller durch Neuanschaffungen ersetzt, drohen die positiven Wirkungen der Ressourceneffizienz zu verpuffen.

Eine Studie des Öko-Instituts e.V. und der Universität Bonn⁴³ hat das Phänomen Obsoleszenz untersucht. Im Fokus standen 13 Produktgruppen von Elektro- und Elektronikgeräten. Tatsächlich werden Kühlgeräte, Fernseher, Waschmaschinen, Smartphones und Notebooks immer kürzer genutzt. So hat sich beispielsweise die Lebensdauer von Haushaltsgroßgeräten zwischen 2004 und 2012 im Schnitt von 14,1 auf 13 Jahre verringert. Bei Notebooks ist die Zeitspanne von der Anschaffung bis zum Ersatzkauf – die sogenannte Erstnutzungsdauer – zwischen 2007 und 2012 von 5,7 auf 5,1 Jahre gesunken. Über 40 Prozent der Nutzer in Deutschland tauschen ihr Handy nach zwei Jahren aus.⁴⁴

Es gibt vielfältige Gründe für Obsoleszenz: Bei der funktionalen Obsoleszenz verändern sich die funktionalen und technischen Anforderungen an ein Produkt. Beispielsweise lässt sich ein Produkt nicht mehr verwenden, weil die Schnittstellen nicht mehr kompatibel sind. Bei der psychologischen Obsoleszenz werden funktionsfähige Produkte ausgetauscht, weil sich Mode, Konsummuster oder technische Trends verändert haben. Von ökonomischer Obsoleszenz spricht man, wenn der wirtschaftliche Aufwand für die Reparatur oder Instandsetzung eines Produkts höher ist als der Preis für die Neuanschaffung.

In der Studie des Öko-Instituts e.V. wurde deutlich, dass im Bereich der Unterhaltungselektronik und Informationstechnik Technologiesprünge und der Wunsch nach einem besseren Gerät häufig den Ausschlag für eine Neuanschaffung geben. Eine geplante Obsoleszenz konnte nicht nachgewiesen werden. Aber das Umweltbundesamt sieht Handlungsbedarf, der zu knapp bemessenen Lebenszeit von Produkten gegenzusteuern, wie Maria Krautzberger, Präsidentin von Deutschlands zentraler Umweltbehörde, erklärt: „Viele Geräte haben eine zu kurze Lebensdauer. Aus ökologischer Sicht ist das nicht akzeptabel. Die Herstellung der Produkte verbraucht wertvolle Ressourcen; Schadstoffe und Treibhausgase belasten Umwelt und Klima. Wir müssen über Mindestanforderungen an Produktlebensdauer und Qualität nachdenken.“⁴⁵

43 Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016c).

44 Siehe Öko-Institut e.V. (2016), Seite 4f.

45 Umweltbundesamt (2016d).



Plastikmüll im Meer



Im Februar 2017 strandete ein Cuvier-Schnabelwal vor der Küste Norwegens. Als Wissenschaftler der Universität Bergen das Tier seziierten, fanden sie in seinem Magen 30 Plastiktüten und große Mengen an Mikroplastik. Der Plastikmüll hatte einen Pfropf gebildet, sodass der Wal stark abgemagert und geschwächt war und getötet werden musste.⁴⁶

Etwa 2,7 Millionen Tonnen Kunststoff landen jedes Jahr in den Ozeanen. Der Abbau von Kunststoff dauert Jahrhunderte – eine robuste Plastikflasche kann 400 Jahre überleben. Durchschnittlich 13.000 Plastikmüllpartikel treiben auf einem Quadratkilometer Meeresoberfläche.⁴⁷ In einigen Meeresregionen haben sich gigantische Müllstrudel gebildet, der größte ist der „The Great Pacific Garbage Patch“ im Nordostpazifik nördlich von Hawaii, der eine Fläche so groß wie Mitteleuropa einnimmt.

Für Meeresbewohner und Seevögel ist der Plastikmüll eine immense Bedrohung, der pro Jahr mindestens eine Million Seevögel und weitere 100.000 Meereslebewesen zum Opfer fallen. Sie verheddern oder strangulieren sich in Netzresten oder Verpackungsmaterialien.⁴⁸ Wenn Plastikteile durch den Einfluss von Sonne, Salzwasser und Seegang

zerfallen, werden sie von Fischen und Seevögeln gefressen. Das unverdauliche Material verstopft den Magen – die Tiere verhungern.

Bei ihrem Zersetzungsprozess geben die Kunststoffe giftige und hormonell wirksame Zusatzstoffe wie Weichmacher, Flammschutzmittel und UV-Filter ab. Mikroorganismen im Meer haben keine Chance, diese Kunststoffe zu zersetzen. Als Kleinstpartikel bleiben sie im Meer. Es ist zu beobachten, dass der Anteil von Mikroplastik im Meer weltweit zunimmt. Beispielsweise haben Wissenschaftler der Universität Oldenburg in allen Kotproben von Seehunden und Kegelrobben im niedersächsischen Wattenmeer Mikroplastik entdeckt.⁴⁹

Mikroplastik gelangt nicht nur durch die Zersetzung von Plastikmüll ins Meer, sondern auch auf direktem Weg über den Gewässereintrag: Viele Kosmetika und Körperpflegeprodukten wie Peelings, Duschgels oder Zahnpasta enthalten Kunststoffe (etwa Polyethylen). Aus Kleidungsstücken aus Fleece und anderen Geweben aus Polyester oder Polyacryl werden bei jedem Waschgang Mikroplastik-Partikel ausgespült und gelangen ins Meer, da die Kläranlagen diese Kleinstpartikel nicht herausfiltern können. Mit dem Slogan „Stop! Micro Waste“ hat das Berliner Unternehmen Langbrett den „guppyfriend“ entwickelt und zum Patent angemeldet. Dieser 50 mal 60 Zentimeter große Beutel aus Industriegewebe kommt mit Wäsche gefüllt in die Trommel der Waschmaschine: Die Fasern aus Sport-, Fleece- und anderen Kunststoff-Textilien bleiben im Beutel hängen.⁵⁰

Die Belastung der Meere mit Mikroplastik gefährdet nicht nur das Ökosystem der Ozeane, sondern kann über die Nahrungskette auch direkte Auswirkungen auf den Menschen haben. Mikroplastikpartikel binden an ihrer Oberfläche persistente toxische Schadstoffe. Diese Eigenschaft kann dazu führen, dass sich Schadstoffe über die Nahrungskette hinweg anreichern.

46 Siehe o. V. (2017b).

47 Siehe Umweltbundesamt (2015b).

48 Siehe ebenda.

49 Siehe ebenda.

50 Siehe Willenbrock, Harald (2016).

Nachhaltige Wasserwirtschaft

Sauberes Wasser für alle Menschen auf dem Planeten Erde – dieses Nachhaltigkeitsziel wird in der Agenda 2030 formuliert. Diesen Anspruch zu erfüllen, bleibt eine große Herausforderung, zumal bei einer wachsenden Weltbevölkerung, steigendem Wasserverbrauch, zunehmender Wasserverschmutzung und einer durch den Klimawandel in vielen Regionen der Welt verschärften Wasserkrise. Vor diesem Hintergrund fällt dem Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft eine zentrale Rolle zu. Dies spiegelt sich in der Entwicklung des globalen Marktvolumens wider, das sich 2016 auf 642 Milliarden Euro bezifferte. Mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 4,6 Prozent wird es 2025 voraussichtlich die Milliardenschwelle überschritten haben (siehe Abbildung 36). Das höchste Potential liegt weltweit im Marktsegment Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung.

Im Marktsegment Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung verteilt sich das Marktvolumen auf drei Technologielinien, die nach Anwendungsbereichen unterschieden werden: Wassereffizienztechnologien in der Landwirtschaft, im gewerblichen und industriellen Bereich sowie im häuslichen Bereich (siehe Abbildung 37). Die Wassereffizienztechnologien in der Landwirtschaft zählen vor dem Hintergrund des globalen

Bevölkerungswachstums zu den Wachstumstreibern des Leitmarktes Nachhaltige Wasserwirtschaft. Im Zeitraum 2016 bis 2025 wird diese Technologielinie jahresdurchschnittlich mit 20,3 Prozent wachsen; das globale Marktvolumen wird sich von 13 Milliarden Euro auf 68 Milliarden Euro erhöhen.

Diese Entwicklung vergrößert den Anteil des Marktsegments Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung am Marktvolumen des gesamten Leitmarktes von 2,6 Prozent (2016) auf 11,2 Prozent. Ausschlaggebend für dieses starke Wachstum ist der zunehmende Bedarf an künstlicher Bewässerung für landwirtschaftliche Flächen. Gerade Anbaugelände mit stark wechselnden klimatischen Bedingungen sowie chronischem Wassermangel sind auf den Einsatz von effektiven Bewässerungstechnologien angewiesen, um ausreichend Erträge für die wachsende Bevölkerung zu erwirtschaften. Auch in Regionen mit grundsätzlich ausreichendem Wasserdargebot nimmt der Einsatz von Bewässerungstechnologien für Sonderkulturen zu. Ein entscheidender Beitrag für eine optimierte Nutzung von Agrarflächen ist das Zusammenspiel von Bewässerungsinfrastruktur, -technologie und -praxis. Insbesondere in Entwicklungsländern spielen Wassereffizienztechnologien eine Schlüsselrolle bei der Transformation zu einer nachhaltigen Landwirtschaft.

Abbildung 36: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Nachhaltige Wasserwirtschaft 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)

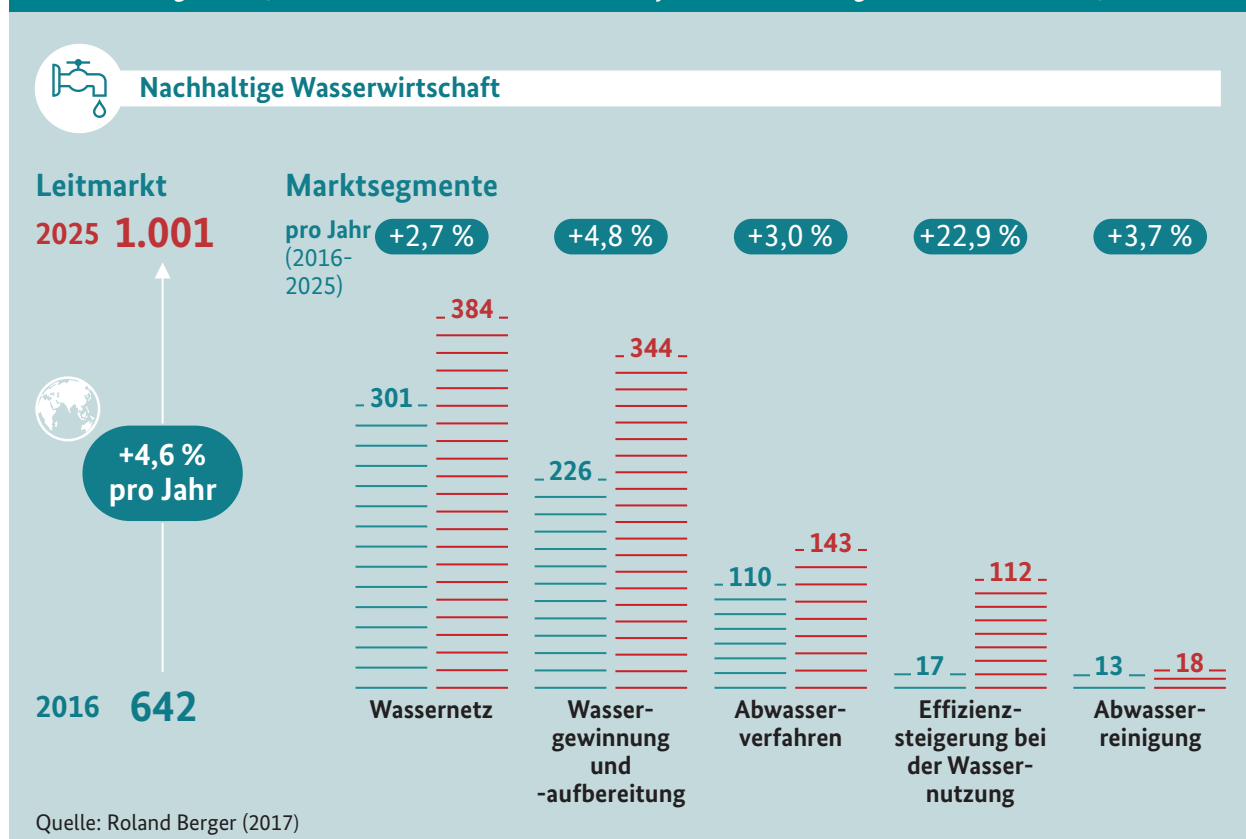
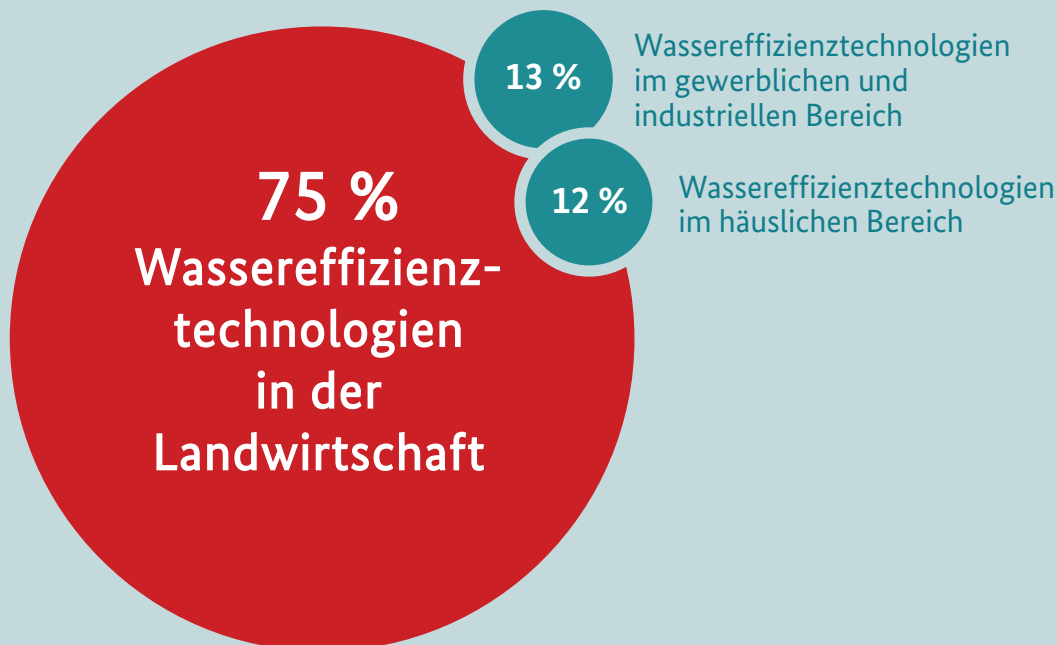


Abbildung 37: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung 2016 (in Prozent)



Nachhaltige Wasserwirtschaft

Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung



Quelle: Roland Berger (2017)

Das Marktsegment Wassergewinnung und -aufbereitung stellte 2016 mit einem Marktvolumen von 225,7 Milliarden Euro ein Drittel des Weltmarktvolumens der gesamten Nachhaltigen Wasserwirtschaft. Im Zeitraum 2016 bis 2025 wird das durchschnittliche jährliche Wachstum dieses Marktsegments bei 4,8 Prozent liegen. Ein wesentlicher Treiber dieser Expansion ist das globale Bevölkerungswachstum. Mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 6,0 Prozent entwickelt sich die Wasseraufbereitung bis 2025 etwas dynamischer als der Leitmarkt insgesamt. Die Technologielinie Wasserverteilung im Marktsegment Wassernetz erreichte 2016 ein globales Marktvolumen von 210,4 Milliarden Euro; damit stellte diese Technologielinie einen Anteil von 32 Prozent am

gesamten Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft. Die Wasserverteilung ist eine investitionsintensive Technologielinie, deren Wachstum in vielen Ländern durch Regulierung beeinflusst wird. Bis 2025 wird ein Anstieg des Weltmarktvolumens der Wasserverteilung auf 266 Milliarden Euro prognostiziert. Abwassersammlung und -transport, die zweite Technologielinie des Marktsegments Wassernetz, ist derzeit noch durch niedrigere technologische Standards geprägt und weniger investitionsintensiv als die Wasserverteilung. Dementsprechend geringer ist das globale Marktvolumen von Abwassersammlung und -transport: Es bezifferte sich 2016 auf 90,4 Milliarden Euro; 2025 wird es 117,6 Milliarden Euro betragen.



Blick auf Deutschland: der Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft

Die Nachhaltige Wasserwirtschaft entwickelt sich in Deutschland dynamischer als in der internationalen Betrachtung. Im Zeitraum 2016 bis 2025 wird der Leitmarkt in Deutschland jahresdurchschnittlich um 11,8 Prozent zulegen (siehe Abbildung 38); die globale Wachstumsrate liegt bei 4,6 Prozent. Dieses unterschiedliche Expansionstempo ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass in Deutschland in den nächsten

Jahren relativ hohe Investitionen in das Wassernetz erforderlich werden. Zum einen gilt es, den Investitionsstau der letzten Jahren aufzuholen; zum anderen müssen die Wassernetze an neue Rahmenbedingungen angepasst werden: Aufgrund von Effizienzmaßnahmen und der in einigen Regionen sinkenden Bevölkerungszahl sinkt die Kapazität, die die Wassernetze bewältigen müssen. Dieses Marktsegment wies 2016 ein Marktvolumen von acht Milliarden Euro auf; 2025 wird das Marktvolumen voraussichtlich 29 Milliarden Euro betragen.

Abbildung 38: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



Quelle: Roland Berger (2017)



Anthropogene Spurenstoffe im Wasserkreislauf



Trinkwasser in Deutschland hat eine hohe Qualität. In den offiziellen Berichten von Umweltbundesamt und Bundesumweltministerium erhält das Leitungswasser regelmäßig Bestnoten. Damit dieser hohe Standard gewahrt bleibt, kontrollieren Umweltbehörden, Gesundheitsämter und Wasserversorger akribisch die Trinkwasserqualität. Durch Fortschritte bei den Messmethoden können dabei auch sogenannte Spurenstoffe festgestellt werden. Der Umgang damit gilt als „eines der dominierenden wasserwirtschaftlichen Themen“.⁵¹

Spurenstoffe sind chemische Substanzen, die in geringsten Konzentrationen im Millionstel- und Milliardstel-Bereich vorkommen. Vom Menschen erzeugte chemische Substanzen werden in diesem Kontext als anthropogene Spurenstoffe bezeichnet. Dazu zählen unter anderem Wirkstoffe in Medikamenten, Duftstoffe in Wasch- und Reinigungsmitteln sowie Kosmetika, Weichmacher in Plastik, Pflanzenschutzmittel und Biozide.⁵²

In den Wasserkreislauf gelangen die Spurenstoffe über Abwasser aus Haushalten und industriell gewerblichen Betrieben oder über Oberflächen-

abfluss, Versickerung und Grundwasserabfluss aus landwirtschaftlichen Flächen. Viele Spurenstoffe lassen sich in Kläranlagen nicht oder nicht vollständig abbauen.⁵³ So gelangen sie in Gewässer und ins Grundwasser. Der Abbau in Kläranlagen ist nur mithilfe einer vierten Reinigungsstufe möglich, die durch Oxidation mit Ozon oder durch Adsorption an Aktivkohle die Spurenstoffe aus dem Abwasser eliminiert.

Die im Wasser nachgewiesene Konzentration von Spurenstoffen gilt zwar allgemein als unbedenklich für die Verbraucher, jedoch lassen sich langfristig nachteilige Wirkungen auf die Umwelt nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft nicht ausschließen.⁵⁴ Deshalb wird nach dem Vorsorgeprinzip eine Reduzierung des Eintrags anthropogener Spurenstoffe in den Wasserkreislauf angestrebt.

Zu den möglichen toxischen Wirkungen auf Wasserlebewesen zählen unter anderem Hemmungen des Wachstums, eingeschränkte Fortpflanzung und Störungen der Embryonalentwicklung, Stoffwechselstörungen und Verhaltensauffälligkeiten. Beispielsweise verhielten sich Buntbarsche, die Psychopharmaka aus der Gruppe der Benzodiazepine ausgesetzt waren, unvorsichtig und wurden häufiger Beute von Raubfischen.⁵⁵

Es werden immer größere Mengen von Arzneimittelrückständen in Gewässern nachgewiesen. Dieses Problem dürfte sich noch verschärfen, wenn infolge des demografischen Wandels die Anzahl älterer Menschen in der Gesellschaft zunimmt und der Medikamentenkonsum dementsprechend steigt. Auch Antibiotika aus Medikamenten, die in der Landwirtschaft bei der Tierhaltung eingesetzt werden, geraten ins Grundwasser. In Hinblick auf die Gefahr, dass sich multiresistente Keime bilden, halten Experten diese Entwicklung für riskant und fordern die Einführung von Schwellenwerten für Human- und Tierarzneimittel im Grundwasser.⁵⁶

51 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2015), Seite 8.

52 Siehe Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016), Seite 2.

53 Siehe ebenda.

54 Siehe Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2015), Seite 8.

55 Siehe Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016), Seite 3.

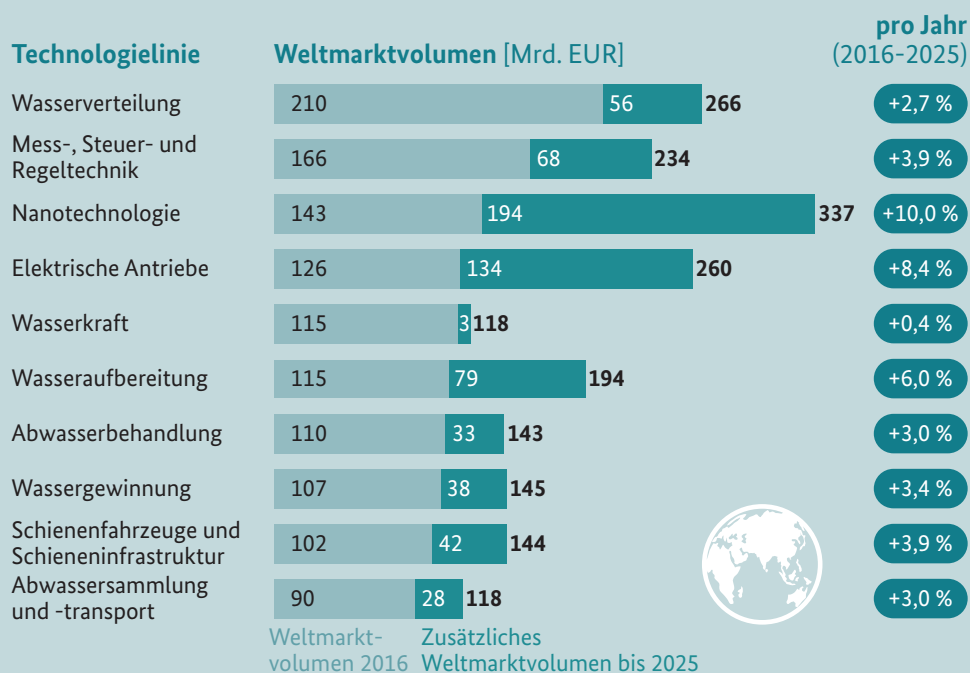
56 Siehe Umweltbundesamt (2016e).

Die „Top 10“ der führenden Technologielinien

Bislang standen in diesem Kapitel die Leitmärkte, deren Marktsegmente und Technologielinien im Fokus. Basis dieser Betrachtung war der Stand der jeweiligen Marktvolumina im Jahr 2016 sowie deren voraussichtliche Entwicklung bis 2025. In diesem Abschnitt werden aus den sechs GreenTech-Leitmärkten zehn Technologielinien herausgegriffen. Für die Auswahl waren zwei Kriterien maßgeblich: ein hoher Anteil am globalen Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz sowie eine relativ hohe jahresdurchschnittliche Wachstumsrate. Wie aus Abbildung 39 hervorgeht, erreichen die „Top 10“ der Technologielinien

nien zusammen ein Marktvolumen von 1.284 Milliarden Euro, also einen Anteil von knapp 40 Prozent am gesamten GreenTech-Marktvolumen. Die relativ hohen Wachstumsraten lassen darauf schließen, dass diesen Technologielinien auch künftig erhebliches Gewicht auf den „grünen“ Weltmärkten zukommen wird. Auffällig ist, dass fünf der „Top 10“-Technologielinien zum Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft gehören: Wasserverteilung, Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung, Wassergewinnung sowie Abwassersammlung und -transport. Daran zeigt sich die zunehmende Bedeutung der Wasserversorgung vor dem Hintergrund einer wachsenden Weltbevölkerung sowie einer Verschärfung der Wasserkrise.

Abbildung 39: Ausgewählte Technologielinien mit hohem Weltmarktvolumen (in Milliarden Euro) im Jahr 2016 und hohen Wachstumsraten (durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



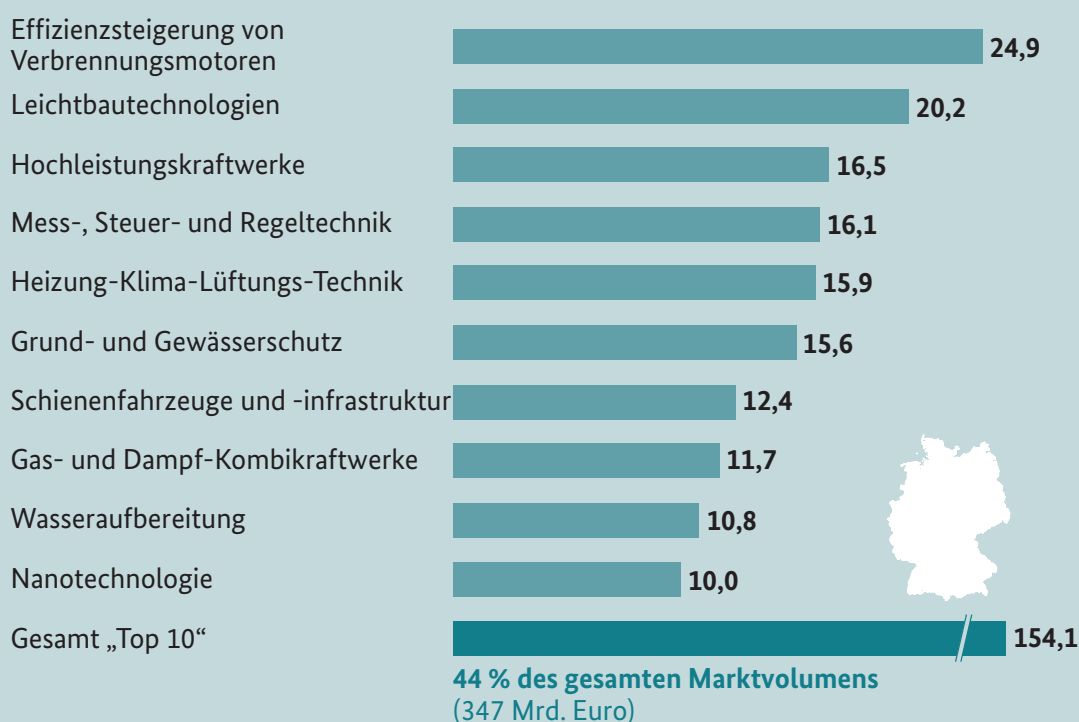
Quelle: Roland Berger (2017)

Blick auf Deutschland: Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren ist die Technologielinie mit dem größten Marktvolumen

Betrachtet man die GreenTech-Märkte in Deutschland auf der Ebene der Technologielinien, zeigen sich die Darstellungen in den Abbildungen 40 und 41. In Abbildung 40 sind die zehn deutschen Technologielinien der Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland mit dem höchsten Marktvolumen dargestellt. In Summe brachten es diese Technologielinien 2016 auf ein Marktvolumen von 154,1 Milliarden Euro – damit stellen sie einen Anteil von 44 Prozent am Gesamtmarkt der GreenTech-Branche.

Die in Deutschland mit einem Marktvolumen von 24,9 Milliarden Euro führende Technologielinie ist die Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren. Darin zeigt sich der hohe Stellenwert, den die deutsche Automobilindustrie bereits seit langem der Entwicklung effizienter Verbrennungsmotoren beimisst. Die in diesem Ranking zweitplatzierte Technologielinie Leichtbautechnologien – Marktvolumen 20,2 Milliarden Euro – trägt durch eine Senkung des Kraftstoffverbrauchs ebenfalls zur Effizienzsteigerung von Fahrzeugen bei. Das Marktvolumen der Technologielinie Heizungs-, Klima-, Lüftungstechnik in Höhe von 15,9 Milliarden Euro spiegelt das Bestreben wider, die Energieeffizienz von Gebäuden zu erhöhen. Die Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) stellt mit einem Marktvolumen von 16,1 Milliarden Euro ebenfalls eine wichtige Technologielinie der deutschen GreenTech-Branche dar.

Abbildung 40: „Top 10“-Technologielinien in Deutschland nach Marktgröße 2016 (in Milliarden Euro)



Quelle: Roland Berger (2017)

Erstellt man für den deutschen GreenTech-Markt ein Ranking der „Top 10“-Technologielinien anhand des Kriteriums „durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025“ ergibt sich die in Abbildung 41 dargestellte Reihenfolge. Bereits auf den ersten Blick fällt auf, dass fünf der in puncto Expansionstempo führenden Technologielinien zum Leitmarkt Nachhaltige Mobilität gehören. Hier zeigt sich der Wandel des Verkehrssektors in Richtung Umweltverträglichkeit und

Klimafreundlichkeit als Wachstumstreiber. Je mehr Fahrzeuge mit alternativen Antrieben, insbesondere Elektroautos, auf Deutschlands Straßen unterwegs sind, desto höher wird der Bedarf an entsprechender Ladeinfrastruktur. Daraus resultiert die extrem dynamische Entwicklung der Technologielinie Tankstelleninfrastruktur für alternative Antriebe, für die bis 2025 eine jahresdurchschnittliche Wachstumsrate von 56 Prozent zu erwarten ist.

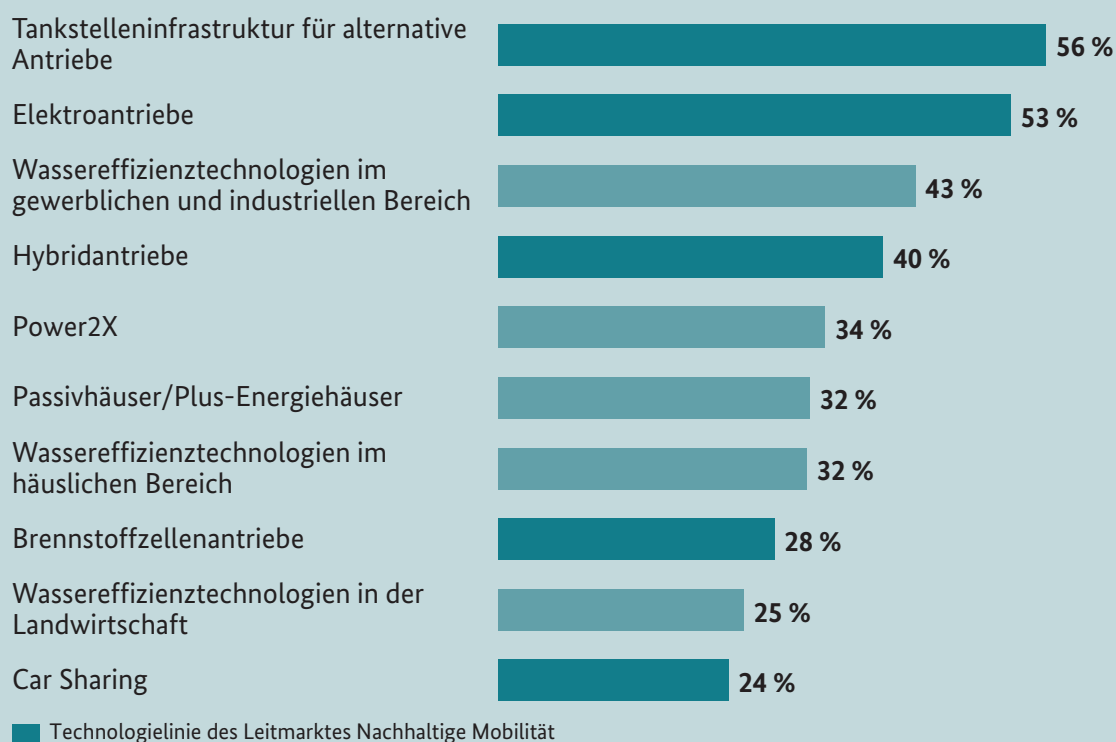
Auf ähnlich hohem Niveau wird das Marktvolumen der Elektroantriebe expandieren. Bei dieser Technologielinie wird bis 2025 mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 53 Prozent gerechnet. Auch die Technologielinie Hybridantriebe wird deutlich zulegen; die Prognose der jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate liegt bis 2025 bei 40 Prozent. Im Marktsegment Alternative Antriebstechnologien spielen nicht nur die Elektroantriebe, sondern auch die Brennstoffzellenantriebe eine wichtige Rolle. Diese Technologielinie wird sich bis 2025 voraussichtlich mit einer jahresdurchschnittlichen Wachstumsrate von 28 Prozent entwickeln; allerdings ausgehend von einem relativ kleinen Marktvolumen (2016: 28 Millionen Euro).

Besonders in Ballungsräumen etabliert sich Car Sharing als attraktives Glied einer integrativen Mobilitätskette. Immer mehr Menschen wollen ein Auto

bei Bedarf nutzen, aber nicht unbedingt besitzen. Entsprechend steigt die Aufgeschlossenheit für Car-Sharing-Angebote, sodass mehr Anbieter auf dem Markt aktiv werden und das Netz von Verleihstationen künftig dichter werden dürfte. Deshalb wird für diese Technologielinie bis 2025 eine jahresdurchschnittliche Wachstumsrate von 24 Prozent prognostiziert.

Unter den nach dem Kriterium Wachstumstempo führenden Technologielinien ist auch das Marktsegment Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung stark vertreten: Dessen drei Technologielinien bieten Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, die im Haushalt, in Industrie und Gewerbe sowie in der Landwirtschaft dazu beitragen, den sparsamen Umgang mit der Ressource Wasser zu fördern. Alle drei Technologielinien zeigen bis 2025 eine sehr dynamische Entwicklung.

Abbildung 41: „Top 10“-Technologielinien in Deutschland nach Wachstum 2016 bis 2025 (durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)



Quelle: Roland Berger (2017)

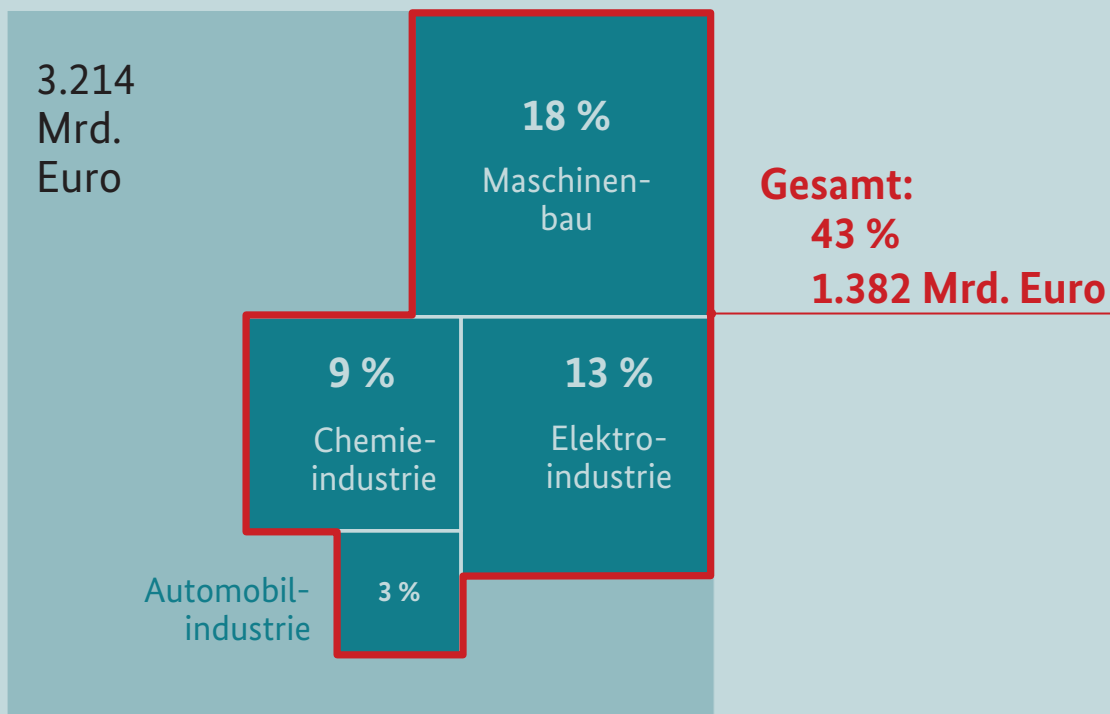
Verflechtung zwischen GreenTech-Branche und den Schlüsselindustrien

Zu den charakteristischen Merkmalen einer Querschnittsbranche gehören die eher diffusen Abgrenzungen zu anderen Wirtschaftszweigen. Dies gilt auch für die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz, die zahlreiche Überschneidungen mit Schlüsselindustrien wie beispielsweise dem Maschinenbau, der Chemieindustrie, der Elektroindustrie oder dem Fahrzeugbau aufweist. Sowohl in Deutschland als auch auf dem internationalen Markt gibt es zahlreiche Unternehmen, deren Wurzeln in einer dieser Schlüsselindustrien lagen, ehe sie ihr Angebotsspektrum um „grüne“ Produkte, Verfahren und Dienstleistungen erweitert und so in die GreenTech-Branche diversifiziert haben. Diese Unternehmen sind nach wie vor in ihren Herkunftsbranchen verankert, haben ihr Portfolio jedoch um Waren und Dienstleistungen aus der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ergänzt.

In Abbildung 42 wird dargestellt, in welchem Umfang Unternehmen aus anderen Branchen, deren Ursprünge außerhalb der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

liegen, auf dem globalen GreenTech-Markt engagiert sind. Für diese Analyse werden aus dem gesamten Branchenspektrum der globalen Wirtschaft die Elektroindustrie, der Maschinenbau, die Chemieindustrie und die Automobilindustrie herangezogen. Das wesentliche Kriterium für die Auswahl dieser Schlüsselindustrien ist deren große Bedeutung für die deutsche Gesamtwirtschaft sowie innerhalb des Verarbeitenden Gewerbes.⁵⁷ Der Anteil der Wirtschaftszweige Maschinenbau, Chemieindustrie, Elektroindustrie und Automobilindustrie am Weltmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz lag 2016 bei 43 Prozent. Davon stellt der Maschinenbau mit 18 Prozent den höchsten Anteil, gefolgt von der Elektroindustrie (13 Prozent), der Chemieindustrie (9 Prozent) und der Automobilindustrie (3 Prozent). Es geht letztendlich darum zu illustrieren, wie weit die Grüne Transformation in Schlüsselindustrien bereits fortgeschritten ist. Wie sich zeigt, haben die Produkte, Prozesse und Dienstleistungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz inzwischen einen hohen Stellenwert im Portfolio von Unternehmen, die nicht originär aus der GreenTech-Branche stammen.

Abbildung 42: Anteil klassischer Industrien am Weltmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 (in Prozent)



Quelle: Roland Berger (2017)

⁵⁷ Auf die Automobilindustrie, den Maschinenbau, die Chemieindustrie und die Elektroindustrie entfallen mit einem Umsatz von insgesamt 969 Milliarden Euro etwa 69 Prozent des Gesamtumsatzes aller Industrieunternehmen in Deutschland. In Summe sind in diesen vier Branchen rund 2,8 Millionen Menschen tätig; das entspricht etwa 58 Prozent aller in der Industrie Beschäftigten. Siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017e).

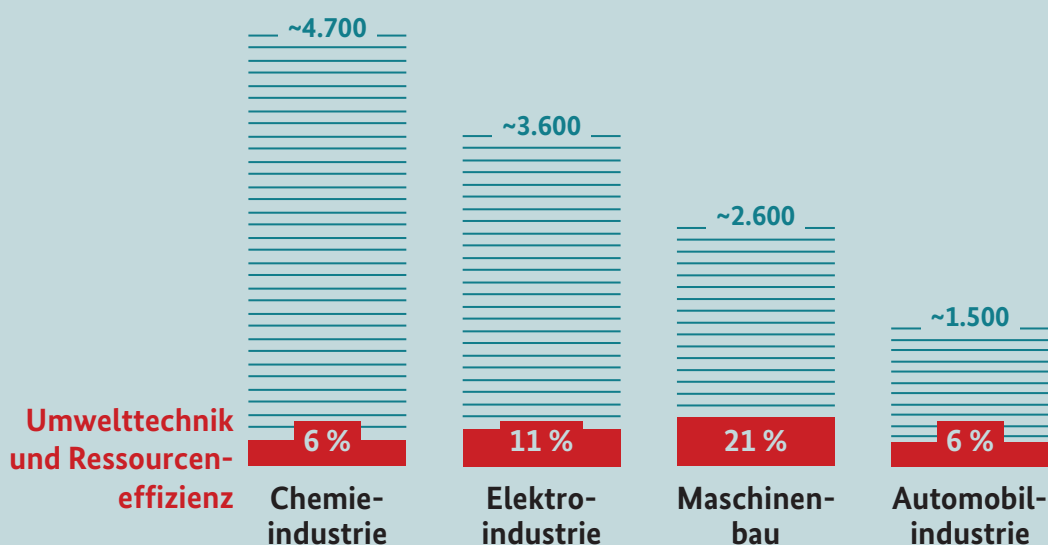
Für die Darstellung in Abbildung 43 wurde die Perspektive verändert. Nun geht es nicht – wie in Abbildung 42 – um den Anteil am weltweiten GreenTech-Marktvolumen, den die Unternehmen aus der Chemieindustrie, Elektroindustrie, Maschinenbau und Automobilindustrie erwirtschaften. Jetzt fokussiert die Betrachtung auf die Marktvolumina dieser vier Schlüsselindustrien: Es wird abgebildet, welchen Anteil die Technologielinien der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz jeweils am Marktvolumen der einzelnen Schlüsselindustrien stellen. Diese Analyse zeigt anhand des mit „grünen“ Produkten, Verfahren und Dienstleistungen erzielten Umsatzes in diesen Schlüsselindustrien die Bedeutung der GreenTech-Branche für andere Wirtschaftszweige.⁵⁸

Mit einem Anteil von 21 Prozent am globalen Marktvolumen dieser Branche spielt GreenTech im Maschinenbau eine besonders starke Rolle. In der Elektroindustrie entfällt auf Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

ein Anteil von elf Prozent am weltweiten Marktvolumen. Diese Werte illustrieren, dass GreenTech im Leistungsportfolio der Unternehmen, die in diesen Wirtschaftszweigen beheimatet sind, einen hohen Stellenwert einnimmt. Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist in diesen klassischen Industrien fest verankert.

Unter dem Aspekt der Verflechtung zwischen der Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz mit anderen Wirtschaftszweigen ist auch ein Blick auf den Bausektor in Deutschland aufschlussreich: Ihm lassen sich unterschiedliche GreenTech-Marktsegmente zuordnen, beispielsweise Energieeffizienz von Gebäuden. Das Volumen der umweltrelevanten Marktsegmente für Bau und Stadtentwicklung belief sich 2016 auf 81 Milliarden Euro. Das entsprach einem Anteil am gesamten Bauvolumen in Deutschland (350 Milliarden Euro) von 23 Prozent.

Abbildung 43: Anteil der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz am globalen Marktvolumen ausgewählter Industrien 2016 (in Milliarden Euro)



Quelle: Roland Berger (2017)

⁵⁸ Um einer Fehlinterpretation vorzubeugen: Wenn für das Marktvolumen des Maschinenbaus ein GreenTech-Anteil von 21 Prozent dargestellt wird, sagt das per se nichts über die Umwelt- und Klimafreundlichkeit der Produkte und Dienstleistungen aus, die das restliche Marktvolumen von 79 Prozent bilden. Ein GreenTech-Marktvolumen von 21 Prozent bedeutet, dass dieser Anteil mit Produkten, Verfahren und Dienstleistungen erwirtschaftet wird, die gemäß des Roland-Berger-Marktmodells zu den Technologielinien der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz gezählt werden.

Umwelttechnik und Ressourceneffizienz „made in Germany“: Impulse für den Standort Deutschland

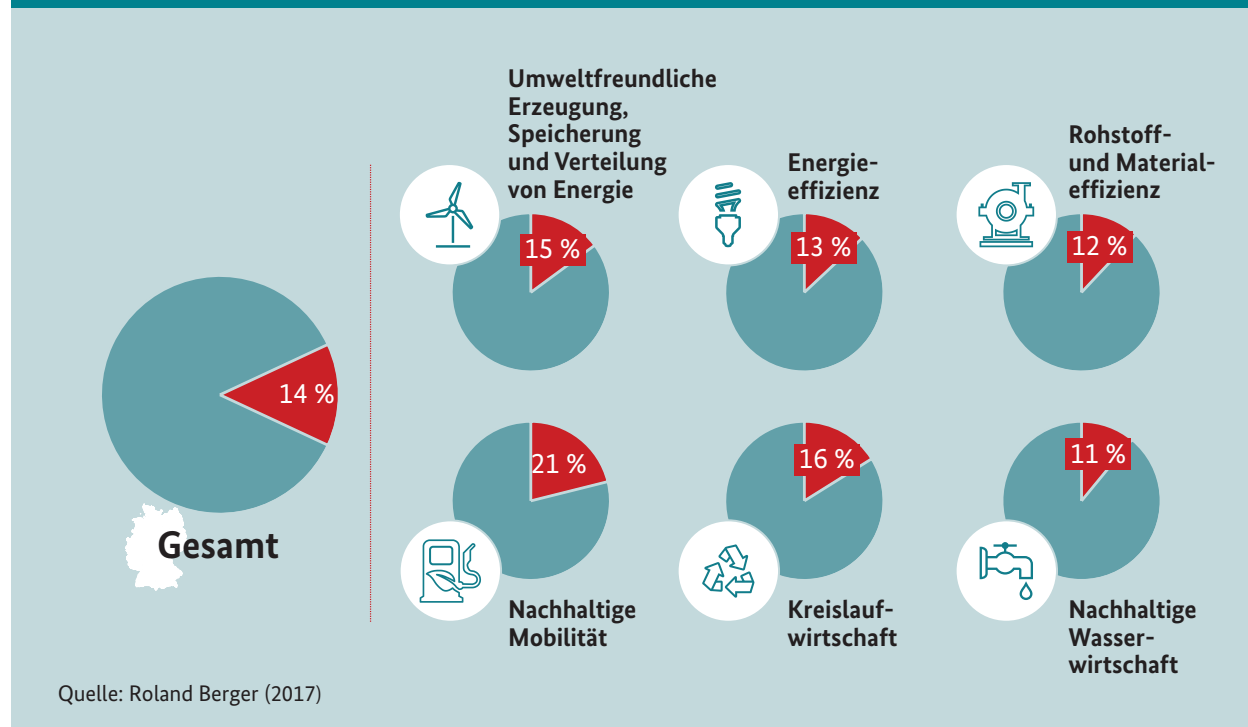
Positionierung deutscher GreenTech-Anbieter auf den Weltmärkten

„GreenTech made in Germany“ ist auf den internationalen Märkten gefragt: Die deutschen Anbieter haben am Weltmarkt der Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz einen Anteil von 14 Prozent. Damit haben die GreenTech-Unternehmen aus Deutschland ihre bereits in der Vergangenheit gute Positionierung stabilisieren können.⁵⁹ Für das Jahr 2013 wurde ebenfalls ein Weltmarktanteil von 14 Prozent errechnet. Der Blick auf die einzelnen Leitmärkte zeigt leichte Veränderungen der Weltmarktanteile: Der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität hat von 2013 auf 2015 seinen Weltmarktanteil von 17 Prozent auf 21 Prozent

erhöht. Die deutschen Anbieter von Produkten, Verfahren und Dienstleistungen aus dem Leitmarkt Energieeffizienz haben in diesem Zeitraum ihren Anteil am globalen Markt von 12 auf 13 Prozent gesteigert. Mit elf Prozent blieb der Anteil der Nachhaltigen Wasserwirtschaft am Weltmarkt unverändert.

Insgesamt hielten die deutschen GreenTech-Anbieter 2016 einen Weltmarktanteil von 14 Prozent. Der Anteil Deutschlands an der globalen Wirtschaftsleistung bezifferte sich auf 4,6 Prozent.⁶⁰ Setzt man diese beiden Werte zueinander in Relation, zeigt sich die überproportional hohe Bedeutung der deutschen Umwelttechnik und Ressourceneffizienz auf den internationalen Märkten.

Abbildung 44: Anteil deutscher Unternehmen am Weltmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz nach Leitmärkten 2016 (in Prozent)



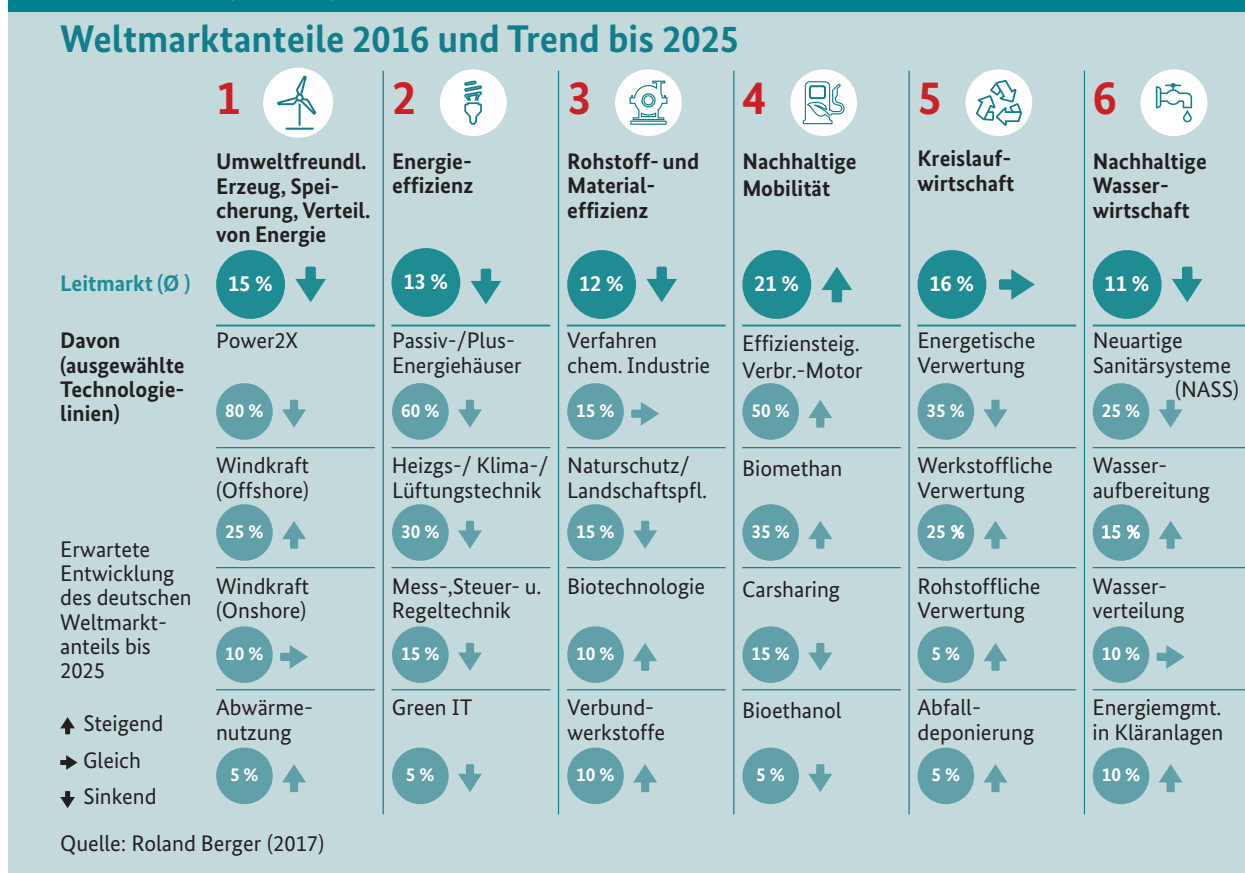
Die folgende Abbildung zeigt ein differenziertes Bild der Positionierung der deutschen Anbieter auf den globalen Märkten. Für jeden GreenTech-Leitmarkt werden

die Weltmarktanteile für ausgewählte Technologielinien dargestellt (siehe Abbildung 45).

⁵⁹ Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2015c), Seite 97.

⁶⁰ Siehe Weltbank (2017).

Abbildung 45: Weltmarktanteile deutscher Anbieter in ausgewählten Technologielinien der GreenTech-Leitmärkte 2016 und Trend bis 2025 (in Prozent)



Umwelttechnik und Ressourceneffizienz – Impulse für Wachstum und Beschäftigung

Die Bedeutung der GreenTech-Branche für den Standort Deutschland spiegelt sich im Anteil dieses Wirtschaftszweiges am Bruttoinlandsprodukt (BIP) wider: Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz hat 2016 15 Prozent der Wirtschaftsleistung beigesteuert. Dieser Wert zeigt, dass diese Querschnittsbranche in Deutschland volkswirtschaftlich stärker ins Gewicht fällt als im globalen Maßstab. Bezogen auf die weltweite Wirtschaftsleistung stellt die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz einen Anteil von fünf Prozent.

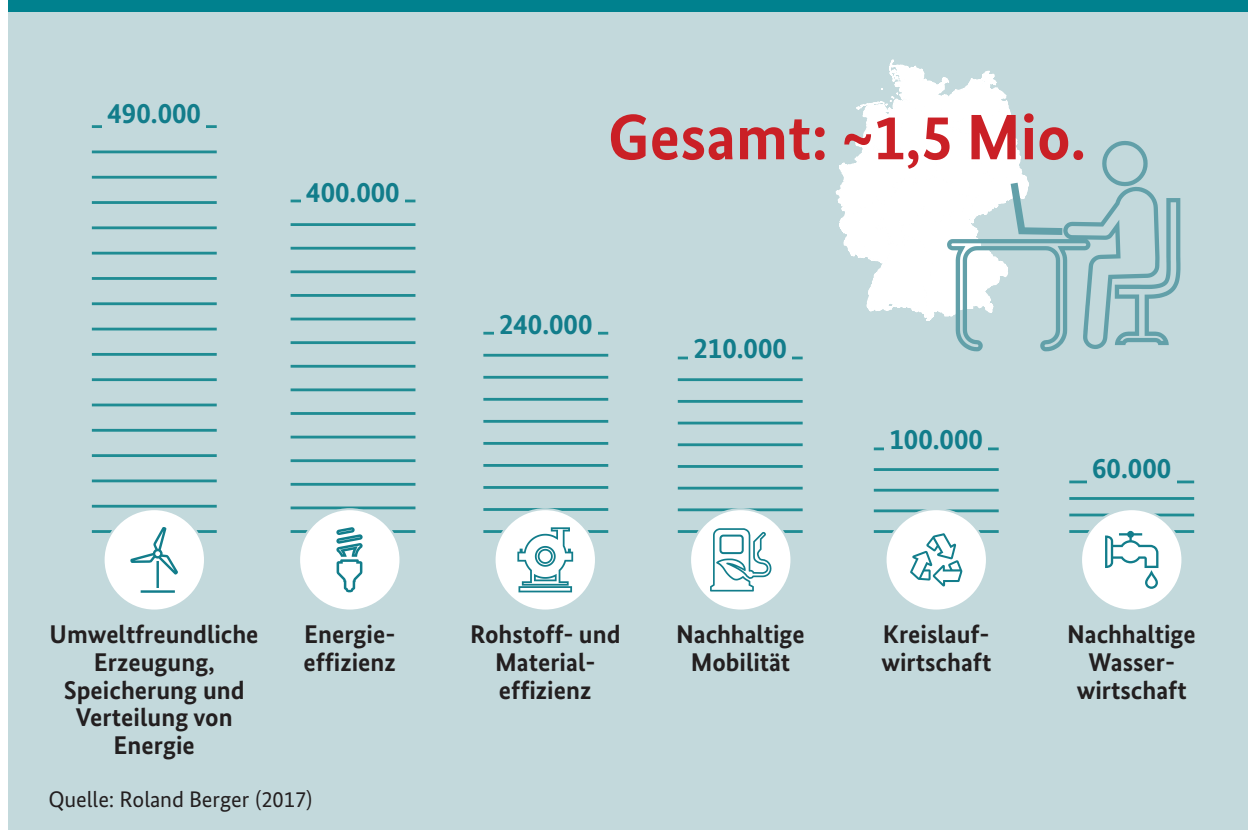
Ein Maßstab für die zentrale makroökonomische Rolle, die die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz am Standort Deutschland spielt, sind die Beschäftigtenzahlen in dieser Branche. In den sechs GreenTech-Leitmärkten waren in Deutschland im Jahr 2016 rund 1,5 Millionen Beschäftigte tätig (siehe Abbildung 46). Diese Zahl umfasst ausschließlich Beschäftigte, die in Unternehmen der jeweiligen Leitmärkte arbeiten.

Die Ermittlung dieser Beschäftigtenzahlen basiert zum einen auf der bereits in den vorangehenden Abschnitten dargestellten Marktanalyse für Deutschland. Zum anderen wurden die Ergebnisse der Befragung von 2.650 Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz herangezogen.

In der Marktanalyse werden für jeden der sechs Leitmärkte für 2016 die Marktgröße und das voraussichtliche Wachstum bis 2025 berechnet. Die Grundlage dafür bildet die Analyse von über 120 einzelnen Technologielinien, die dem Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zugerechnet werden.

Die Ergebnisse der Unternehmensbefragung beinhalten unter anderem Angaben der Teilnehmer zu ihren Tätigkeitsschwerpunkten (entlang der sechs Leitmärkte) sowie zum Umsatz und den Beschäftigtenzahlen mit den jeweiligen Wachstumserwartungen. Daraus lässt sich für jeden Leitmarkt die Kennzahl „durchschnittlicher Umsatz pro Beschäftigter“ errechnen. Die Kombination dieser beiden Analysen macht es möglich, anhand einer Hochrechnung die Anzahl der Beschäftigten im Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zu ermitteln.

Abbildung 46: Beschäftigte in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland 2016



Dienstleistungsintensität in der GreenTech-Branche

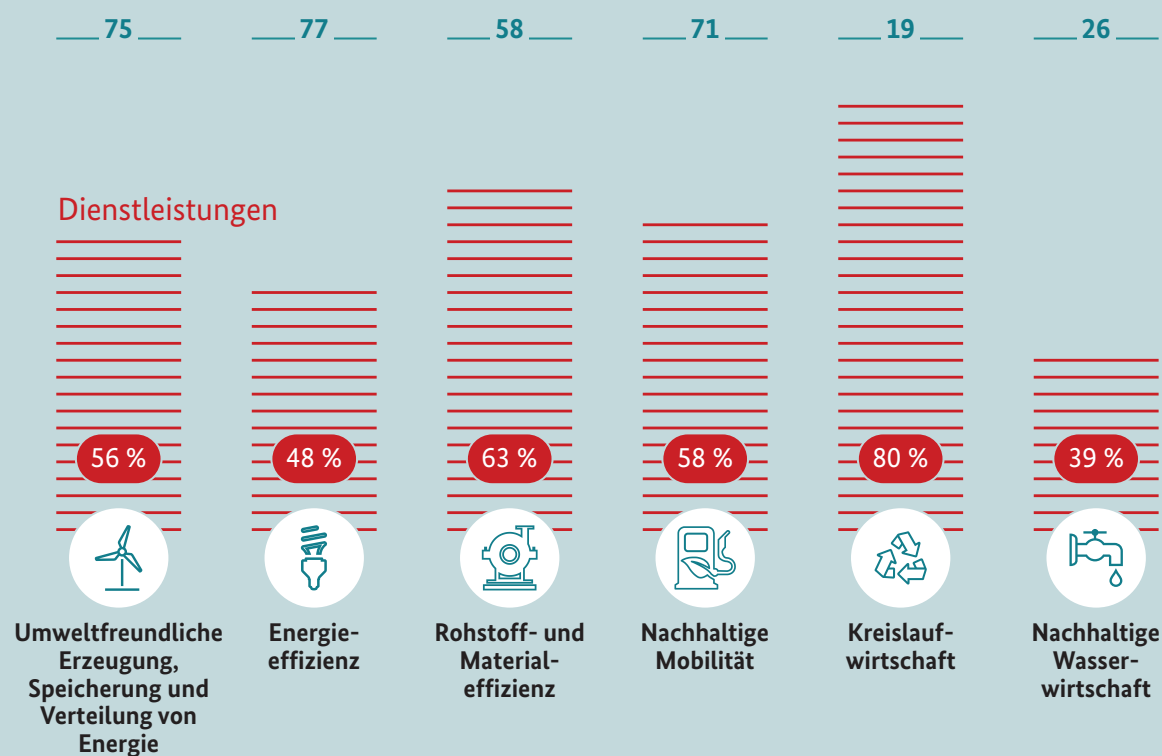
Die sogenannte Tertiärisierung, der strukturelle Wandel von einer Industriegesellschaft hin zur Dienstleistungsgesellschaft, hat längst auch die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz erfasst. Dieser Trend spiegelt sich in der zunehmenden Dienstleistungsintensität der sechs GreenTech-Leitmärkte wider.

Die Dienstleistungsintensität bildet den Beitrag der Dienstleistungen am gesamten Marktvolumen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ab. Die „grünen Services“ übernehmen einen wichtigen Part als Treiber für den Wandel in Richtung nachhaltiges Wirtschaften. Berät beispielsweise ein Energiecontractor Kunden bei der Planung, Finanzierung und dem Betrieb von Energieanlagen, trägt er zur Verbesserung der Energieeffizienz und damit zur Senkung der CO₂-Emissionen bei. GreenTech-Dienstleister können durch die Stimulation der Nachfrage die Marktvolumina

erhöhen; ein Beispiel dafür sind Projektentwickler, die für die Realisierung ihrer Planungen auf „grüne“ Technologien setzen. Umwelt-Dienstleistungen fördern die Adaption bestehender und die Entwicklung neuer „grüner“ Geschäftsmodelle. Als Beispiel lassen sich Elektrotankstellen anführen, die Akkus von Elektroautos auf verschiedene Arten laden.

Abbildung 47 zeigt neben dem gesamten Marktvolumen eines Leitmarkts, das sich aus Produktion, Anlagenbau und Dienstleistungen zusammensetzt, die sogenannte Dienstleistungsintensität jedes Leitmarkts. Sie wird als Anteil der Dienstleistungen am Marktvolumen des jeweiligen Leitmarkts angegeben. Auffällig ist die mit 80 Prozent immens hohe Dienstleistungsintensität der Kreislaufwirtschaft. Sie lässt sich mit dem besonders hohen Dienstleistungsanteil im Marktsegment Abfallsammlung, -transport und -trennung erklären. Die Abfallsammlung und der Abfalltransport erfolgen meistens nach wie vor dezentral und nicht automatisiert.

Abbildung 47: Marktvolumen der Umwelttechnik-Dienstleistungen und Dienstleistungsintensität auf Leitmarktebene Deutschland 2016 (in Milliarden Euro, Dienstleistungsintensität in Prozent)



Quelle: Roland Berger (2017)

5

GreenTech-Anbieter direkt: Einblicke in eine Wachstumsbranche

Lagebericht aus erster Hand

Wie ist die Stimmung der deutschen Anbieter von Umwelttechnik und Ressourceneffizienz? Antworten liefert ein facettenreiches Portrait dieses Wirtschaftszweigs, das im Wesentlichen auf einer Online-Befragung von Unternehmen basiert. Die Ergebnisse bestätigen die starke Rolle des Mittelstands, die Innovationsstärke und die internationale Ausrichtung der GreenTech-Branche in Deutschland.



Auf einen Blick

Die GreenTech-Branche in Deutschland ist stark mittelständisch geprägt: Rund 90 Prozent ihrer Akteure sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Im Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie sind vergleichsweise viele mittlere und große Unternehmen aktiv.

Auch bei der Beschäftigtenzahl zeigt sich, die wichtige Rolle der KMU in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz: Rund 44 Prozent der Unternehmen dieser Querschnittsbranche beschäftigen bis zu zehn Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Über ein Viertel der GreenTech-Unternehmen hat mehr als 50 Beschäftigte, lediglich sechs Prozent der Firmen haben mehr als 500 Beschäftigte.

Nach wie vor betrachten die deutschen Anbieter von Umwelttechnik und Ressourceneffizienz Europa

und China als die wichtigsten internationalen Absatzmärkte. Die Unternehmen erwarten jedoch, dass Russlands Bedeutung als Bestimmungsland für „GreenTech made in Germany“ zunehmen wird. Auch Brasilien, Indien und China sowie der Nahe Osten, Afrika und Nordamerika werden eine zunehmend wichtige Rolle als Exportmärkte spielen.

Die Kompetenzen der deutschen Unternehmen bei der Robotik, bei der digitalen Produktion, bei virtuellen Systemen und bei Systemlösungen werden sich auf den internationalen GreenTech-Märkten als wesentlicher Erfolgsfaktor erweisen, denn Innovationen in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz werden immer stärker durch Systementwicklungen und weniger durch Einzelinnovationen getrieben.

In diesem Kapitel wird ein Portrait der GreenTech-Branche skizziert, um die Anbieterseite der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland abzubilden. Diese Perspektive ergänzt die Ausführungen in Kapitel 4, das die Nachfrageseite auf den internationalen und nationalen Märkten in den Fokus stellt.

Das Branchenportrait basiert im Wesentlichen auf der Auswertung einer web-basierten Unternehmensbefragung, die im Auftrag des damaligen Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im Zeitraum Juli bis November 2016 erfolgte. Die

Antworten im Online-Fragebogen sind in die Datenbank eingeflossen, auf die sich das in diesem Kapitel präsentierte Branchenportrait stützt. Die Datenbank umfasst mehr als 2.500 Unternehmensprofile.

In dieses Branchenprofil sind Merkmale und Trends eingearbeitet, die aus den Ergebnissen der Unternehmensbefragung abgeleitet wurden: Umsatzstruktur, Mitarbeiterstruktur, Anteil der Ausgaben für Forschung und Entwicklung am Umsatz (FuE-Quote), Leistungsangebot, Beurteilung der Geschäftslage und der Geschäftserwartung.

Die Akteure der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz im Blick: Umsatz, Beschäftigung, Portfolio, Innovationen

Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland ist stark mittelständisch geprägt: Rund 90 Prozent der GreenTech-Akteure sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Zu dieser Kategorie werden nach der Definition des Instituts für Mittelstandsforschung Bonn Unternehmen gerechnet, die einen Jahresumsatz von bis zu 50 Millionen Euro erwirtschaften und nicht mehr als 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter beschäftigen.¹ Am Umsatzkriterium gemessen,

stellen KMU bei weitem den größten Anteil unter den deutschen Akteuren der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Mit dieser Verteilung der Unternehmen auf die Umsatzgrößenklassen unterscheidet sich die Struktur der GreenTech-Branche nicht wesentlich vom Gesamtbild der deutschen Wirtschaft: Der Anteil der Unternehmen, die einen Jahresumsatz von bis zu 50 Millionen Euro erwirtschaften, an der Unternehmenslandschaft in Deutschland liegt bei 99 Prozent.²

¹ Siehe Institut für Mittelstandsforschung (2017).

² Errechnet nach Angaben des Statistischen Bundesamts. Siehe Statistisches Bundesamt (2017b).

Umsatz: Status quo und Erwartungen

Etwa ein Viertel aller GreenTech-Unternehmen in Deutschland erzielt einen Jahresumsatz zwischen einer Million und fünf Millionen Euro (siehe Abbildung 48). Der Anteil der Unternehmen, die einen Jahresumsatz in der Größenklasse zwischen einer Million Euro und 50 Millionen Euro erreichen, beziffert sich auf 47 Prozent. Wie Abbildung 48 illustriert, fallen 43 Prozent der GreenTech-Akteure in die Kategorie der Kleinunternehmen mit einem Jahresumsatz unterhalb der 1-Millionen-Marke.

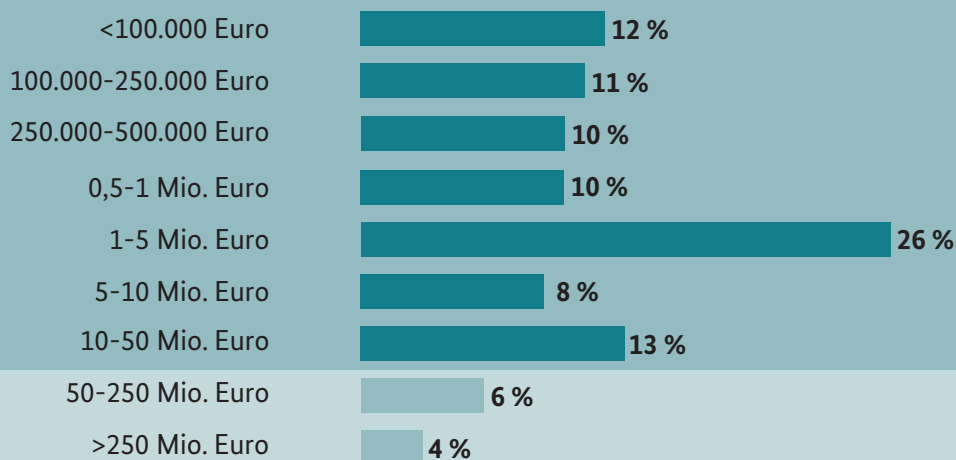
Als wesentliche Kennzahl für die Branchenanalyse gilt der Umsatz, den die einzelnen Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz erwirtschaften. Im Durchschnitt liegt der Jahresumsatz eines deutschen GreenTech-Unternehmens bei 25 Millionen

Euro. Die Darstellung in Abbildung 49 ermöglicht, den Umsatz der einzelnen Unternehmen differenziert nach Leitmarktfokus zu betrachten. Leitmarktfokus heißt in diesem Kontext, dass die Unternehmen bei der Befragung angegeben haben, in welchem Leitmarkt sie den größten Anteil ihres Umsatzes erwirtschaften.

Durchschnittlich erwirtschafteten Unternehmen, die als Leitmarktfokus Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie angegeben haben, einen Jahresumsatz von 30 Millionen Euro – und damit einen deutlich höheren Wert als die Unternehmen mit Fokus in anderen GreenTech-Leitmärkten. Diese Abweichung nach oben ist der Struktur des Leitmarktes geschuldet: In der Umweltfreundlichen Erzeugung, Speicherung und Verteilung sind mehr mittlere und große Unternehmen aktiv als in den anderen Leitmärkten.

Abbildung 48: Verteilung der Unternehmen nach Umsatzgröße (Anzahl der Nennungen in Prozent)

Kleine und mittlere Unternehmen



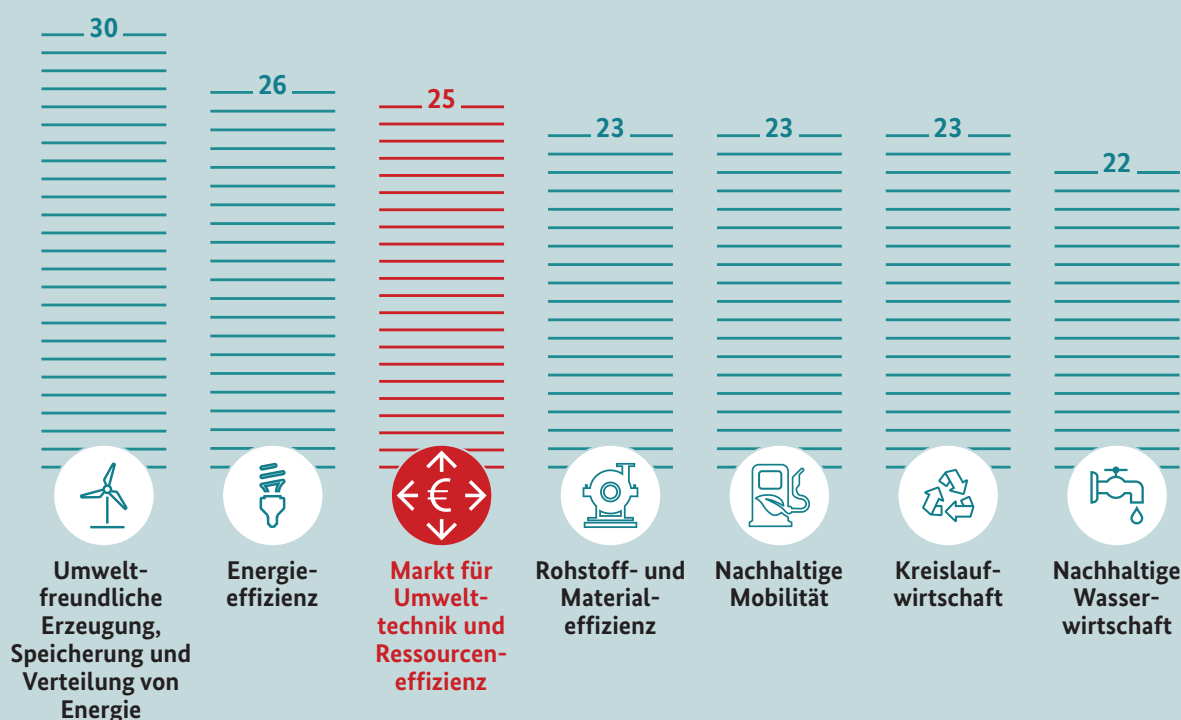
Quelle: Unternehmensbefragung (2.469 Antworten), Roland Berger (2017)

Um ein authentisches Stimmungsbild der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz einzufangen, wurden die Branchen-Akteure gefragt, wie sie die Umsatzentwicklung für die nächsten Jahre einschätzen. GreenTech-Unternehmen in Deutschland rechnen bis 2021 mit einem durchschnittlichen jährlichen Umsatzwachstum von 9,8 Prozent (siehe Abbildung 50).

Die höchste Wachstumsdynamik erwarten Unternehmen mit Leitmarktfokus Nachhaltige Mobilität: Sie rechnen bis 2021 im Durchschnitt mit einem jährli-

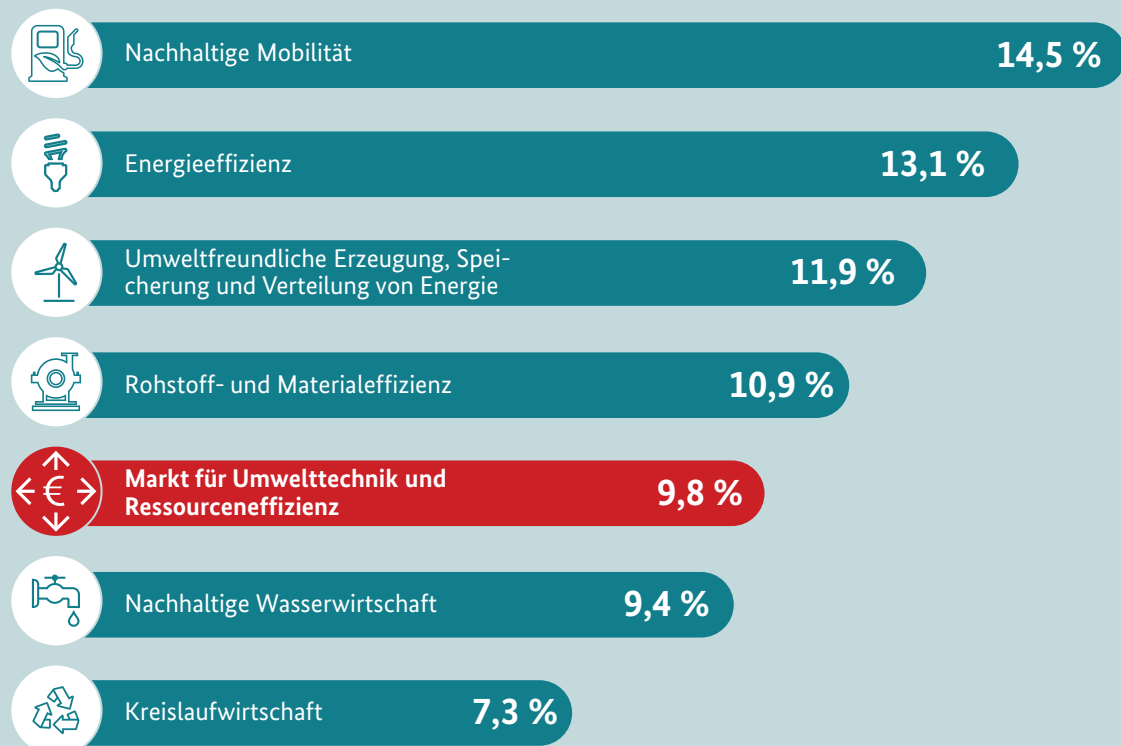
chen Umsatzwachstum von 14,5 Prozent. Auch die Unternehmen mit Leitmarktfokus Energieeffizienz haben hohe Erwartungen: Im Durchschnitt erwarten sie bis 2021 ein jährliches Umsatzwachstum von 13,1 Prozent. Eher zurückhaltend in Hinblick auf die Dynamik ihres Leitmarktes geben sich die Unternehmen mit Leitmarktfokus Kreislaufwirtschaft. Sie rechnen mit einem jährlichen Umsatzwachstum von 7,3 Prozent. Diese Einschätzung spiegelt die bereits ausgeprägte Marktreife der Kreislaufwirtschaft in Deutschland wider.

Abbildung 49: Durchschnittlicher Jahresumsatz pro Unternehmen nach Leitmarktfokus (in Millionen Euro)



Quelle: Unternehmensbefragung (1.977 Antworten), Roland Berger (2017)

Abbildung 50: Durchschnittlich erwartetes jährliches Umsatzwachstum bis 2021 nach Leitmarktfokus (in Prozent)



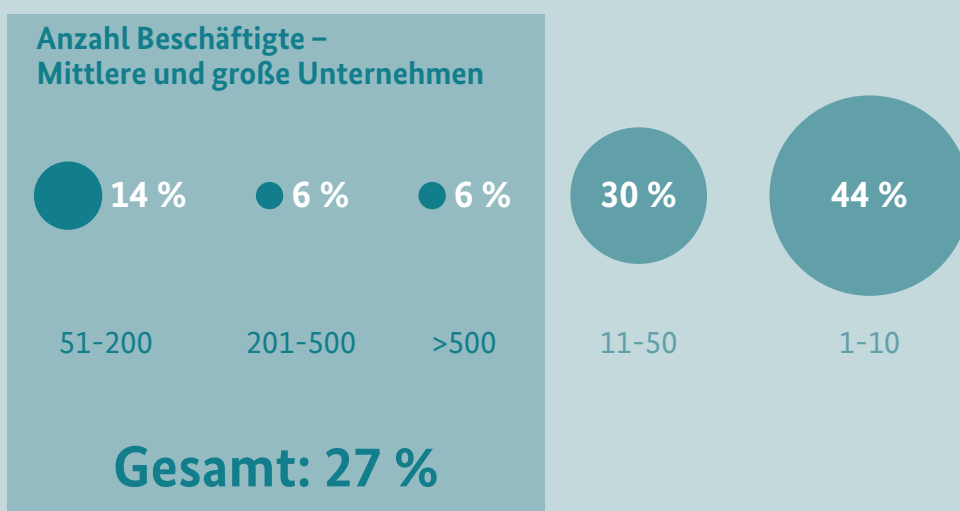
Quelle: Unternehmensbefragung (1.977 Antworten), Roland Berger (2017)

Beschäftigtenzahl: Status quo und Planung

Ein wesentliches Strukturmerkmal, um das Profil der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zu zeichnen, ist die Verteilung der GreenTech-Unternehmen nach Mitarbeiterzahl. Rund 44 Prozent der Unternehmen dieser Querschnittsbranche beschäftigen bis zu zehn Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (siehe Abbildung

51). Daran zeigt sich, dass kleine Unternehmen in der GreenTech-Branche zahlreich vertreten sind; insbesondere die Anbieter von Ingenieurs- oder Beratungsdienstleistungen haben in der Regel nur wenige Angestellte. Über ein Viertel der GreenTech-Unternehmen haben mehr als 50 Beschäftigte, lediglich sechs Prozent der Unternehmen weisen eine Belegschaftsgröße von mehr als 500 Beschäftigten auf.

Abbildung 51: Verteilung der Unternehmen nach Mitarbeiterzahl (Anzahl der Nennungen in Prozent)



Quelle: Unternehmensbefragung (2.584 Antworten), Roland Berger (2017)

Neben der Einschätzung des Umsatzwachstums ist auch die weitere Entwicklung der Mitarbeiterzahlen ein Indikator, anhand dessen sich ein Stimmungsbild der GreenTech-Akteure zeichnen lässt. Deshalb wurde in der Unternehmensbefragung auch die künftige Entwicklung der Beschäftigtenzahl thematisiert. In der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz erwarten die Unternehmen bis 2021 insgesamt ein Wachstum der Mitarbeiterzahl von jährlich durchschnittlich 6,7 Prozent (siehe Abbildung 52).³ Wie schon bei der Umsatzentwicklung haben die Unternehmen mit Leitmarktfokus Nachhaltige Mobilität auch bei der Beschäftigungsentwicklung die größten Erwartungen innerhalb der GreenTech-Branche: Sie gehen davon aus, dass die Mitarbeiterzahl jahresdurchschnittlich um 20 Prozent wächst. Dagegen fallen die Erwartungen der Unternehmen mit Leitmarktfokus Kreislaufwirtschaft wesentlich geringer aus: Sie rechnen bis 2021 mit einem Wachstum der Mitarbeiterzahl von jahresdurchschnittlich 5,8 Prozent.

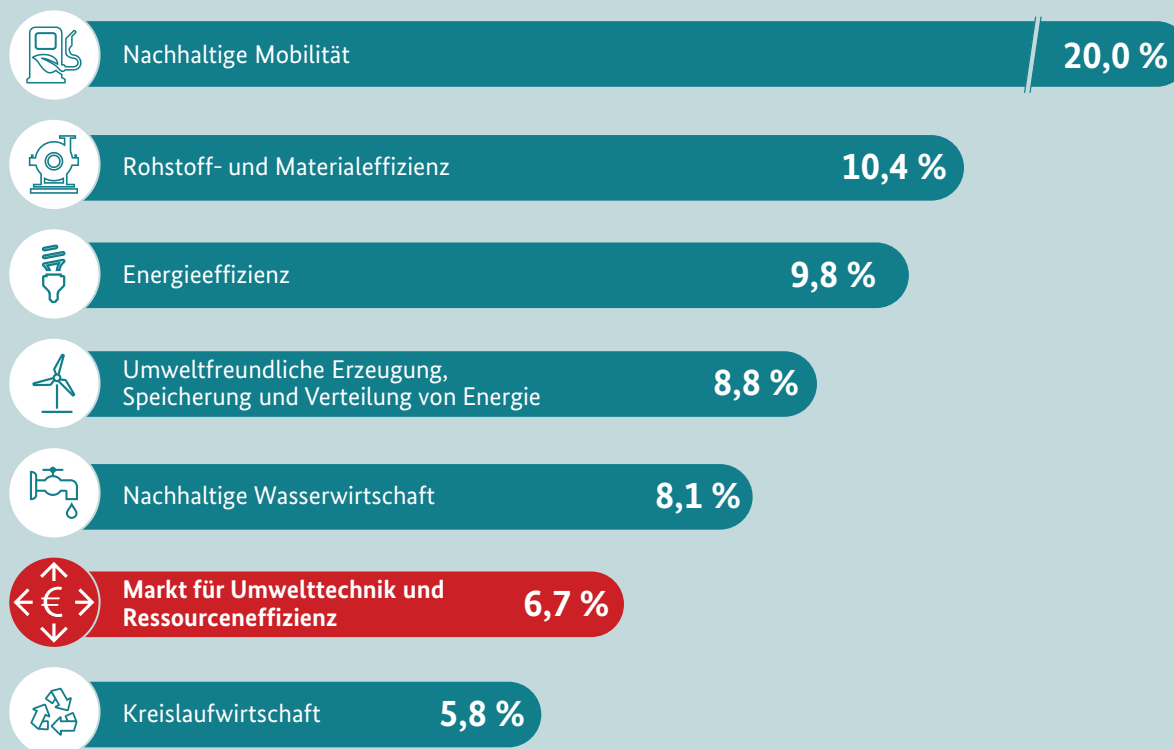
Die unterschiedlichen Einschätzungen der Unternehmen mit Schwerpunkten in der Nachhaltigen Mobilität und in der Kreislaufwirtschaft entsprechen dem Stimmungsbild, das sich bereits bei den Umsatzerwartungen gezeigt hat und die völlig verschiedenen Ausgangssituationen in diesen beiden Leitmärkten widerspiegelt: Die Akteure im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität rechnen mit einem Wachstumsschub, der maßgeblich durch die Expansion alternativer Antriebstechnologien mit Elektromobilität als Schwerpunkt ausgelöst wird. Die Dynamik in diesem Leitmarkt wird zusätzlich durch neue Player verstärkt, die neben den etablierten Akteuren der Automobilindustrie innovative Mobilitätslösungen anbieten, beispielsweise Google im Bereich autonomes Fahren oder Tesla im Batteriebau. Diese Gemengelage sorgt durch neue Angebote für eine Expansion des Leitmarktes und wirkt als Innovationstreiber. Bei der Kreislaufwirtschaft handelt es sich dagegen um ein Segment mit ausgeprägter Marktreife, in dem sich aktuell kaum neue internati-

³ Nicht nach Umsätzen gewichtet.

onale Akteure engagieren – was die Dynamik dieses Leitmarktes und die Innovationsfreude eher hemmt. Diese unterschiedlichen Gegebenheiten in den beiden Leitmärkten zeigen sich auch an der Forschungs- und

Entwicklungsquote (siehe Abbildung 54). Dieser Gradmesser der Innovationsstärke liegt in der Nachhaltigen Mobilität bei 3,4 Prozent und in der Kreislaufwirtschaft bei 2,4 Prozent.

Abbildung 52: Durchschnittlich erwartetes jährliches Wachstum der Mitarbeiteranzahl bis 2021 nach Leitmarktfokus (in Prozent)



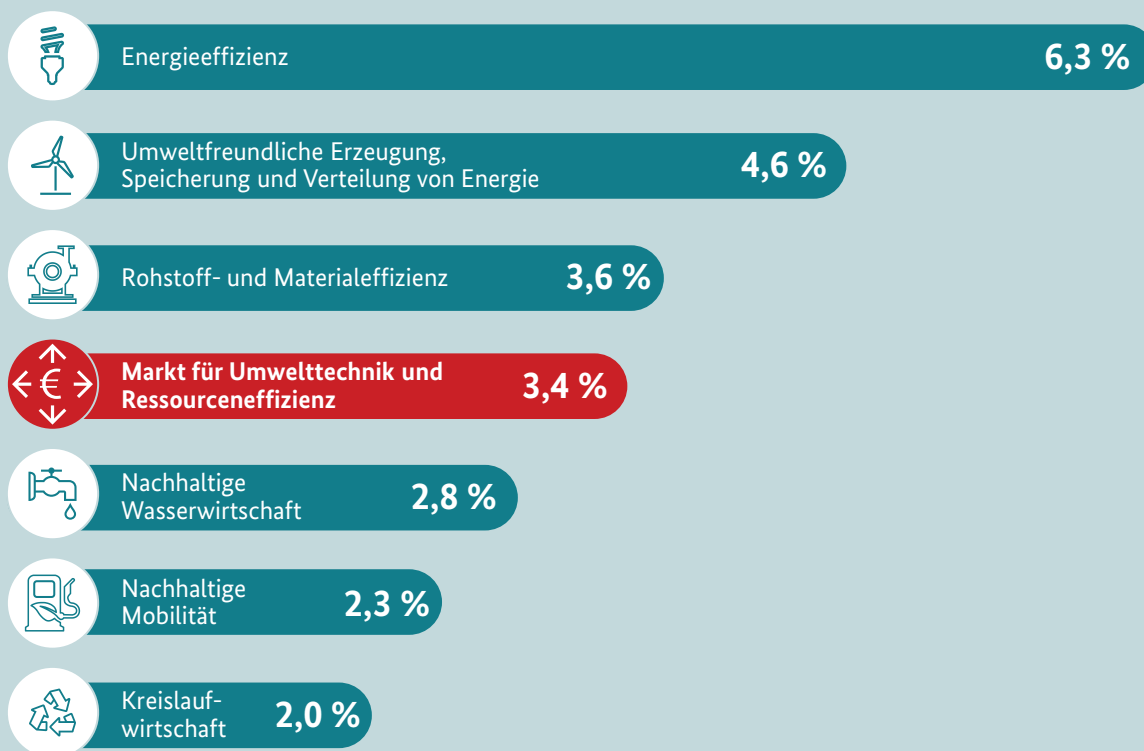
Quelle: Unternehmensbefragung (2.135 Antworten), Roland Berger (2017)

Produktivität: Im Aufwärtstrend

Im Zeitraum von 2016 und 2021 rechnen die deutschen GreenTech-Anbieter damit, ihre Produktivität im Durchschnitt aller Leitmärkte jährlich um 3,4 Prozent⁴ zu verbessern (siehe Abbildung 53). Die Produktivität

wird anhand der Relation von Umsatz und Beschäftigtenzahl dargestellt. Aus den Einschätzungen der Unternehmen in Bezug auf die Entwicklung von Umsatz und Beschäftigung wurden für die sechs Leitmärkte die Erwartungen des Produktivitätswachstums abgeleitet.

Abbildung 53: Durchschnittliches jährliches Produktivitätswachstum bis 2021 nach Leitmarktfokus (in Prozent)



Quelle: Unternehmensbefragung (1.824 Antworten), Roland Berger (2017)

Ausgaben für Forschung und Entwicklung

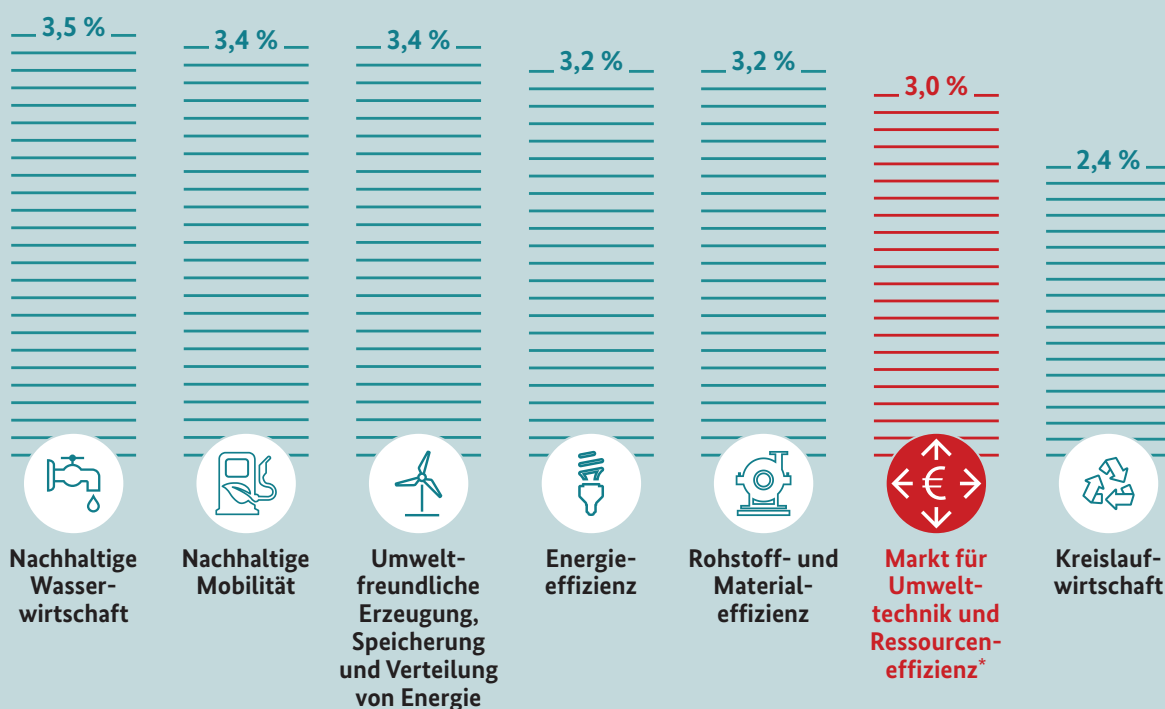
Je nach Leitmarkt investieren die deutschen GreenTech-Unternehmen zwischen 2,4 Prozent und 3,5 Prozent ihres Umsatzes in Forschung und Entwicklung (FuE). Im Durchschnitt der GreenTech-Unternehmen liegt die FuE-Quote bei 3,0 Prozent (siehe Abbildung 54). Die FuE-Quote gibt den Anteil der Forschungs- und Entwicklungsausgaben am Gesamtumsatz an. Da die FuE-Aktivitäten wichtige Impulse für Produktivität und Wachstum setzen, kann die FuE-Quote als ein Indikator für die dynamische Entwicklung interpretiert werden. Zur Einordnung der durchschnittlichen FuE-Quote der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Höhe von 3,0 Prozent ist es hilfreich und sinnvoll, den Blick auf die Gesamtwirtschaft beziehungsweise auf andere Wirtschaftszweige zu richten: Nach der Klassifizierung der OECD zählt die GreenTech-Branche zum Segment Medium-Hightech. In dieser Kategorie verortet die OECD Branchen, deren durchschnittliche FuE-Quote zwischen zwei und fünf Prozent liegt. Dazu gehören beispielsweise der Maschinenbau, der Fahrzeugbau und die Elektroindustrie. Branchen mit

einer FuE-Quote von mindestens fünf Prozent zählt die OECD zur Spitzentechnologie, eine FuE-Quote zwischen 0,5 und zwei Prozent charakterisiert die Kategorie Medium-Low-Tech. Leicht abweichend von dieser Klassifizierung gibt es für Deutschland folgende Definition: Zur Spitzentechnologie werden Branchen mit einer FuE-Quote von über sieben Prozent gerechnet, in die Kategorie hochwertige Technologie fallen Branchen mit einer FuE-Quote zwischen 2,5 und sieben Prozent. Dieses Schema sollte jedoch nicht missverstanden werden: Die FuE-Quote ist nicht als generelles Qualitätsurteil für die Innovationskraft einer Branche zu interpretieren. Auch in Medium-Low-Tech-Branchen gibt es erfolgreiche Unternehmen mit einer hohen Forschungsintensität.⁵

Eine nach Leitmarktfokus differenzierte Betrachtung der FuE-Quote zeigt, dass die Unternehmen mit Schwerpunkt in der Nachhaltigen Wasserwirtschaft mit 3,5 Prozent die höchste durchschnittliche FuE-Quote der sechs GreenTech-Leitmärkte aufweisen. Die Kreislaufwirtschaft ist mit einer durchschnittlichen FuE-Quote von 2,4 Prozent der einzige Leitmarkt, der unterhalb des Branchendurchschnitts von drei Prozent bleibt.

⁵ Siehe Hüther, Michael (2015).

Abbildung 54: Durchschnittliche FuE-Quote pro Unternehmen nach Leitmarktfokus (in Prozent)



* Im Durchschnitt sind auch Unternehmen berücksichtigt, die keinen, mehrere oder einen anderen Leitmarktfokus haben.

Quelle: Unternehmensbefragung (1.760 Antworten), Roland Berger (2017)

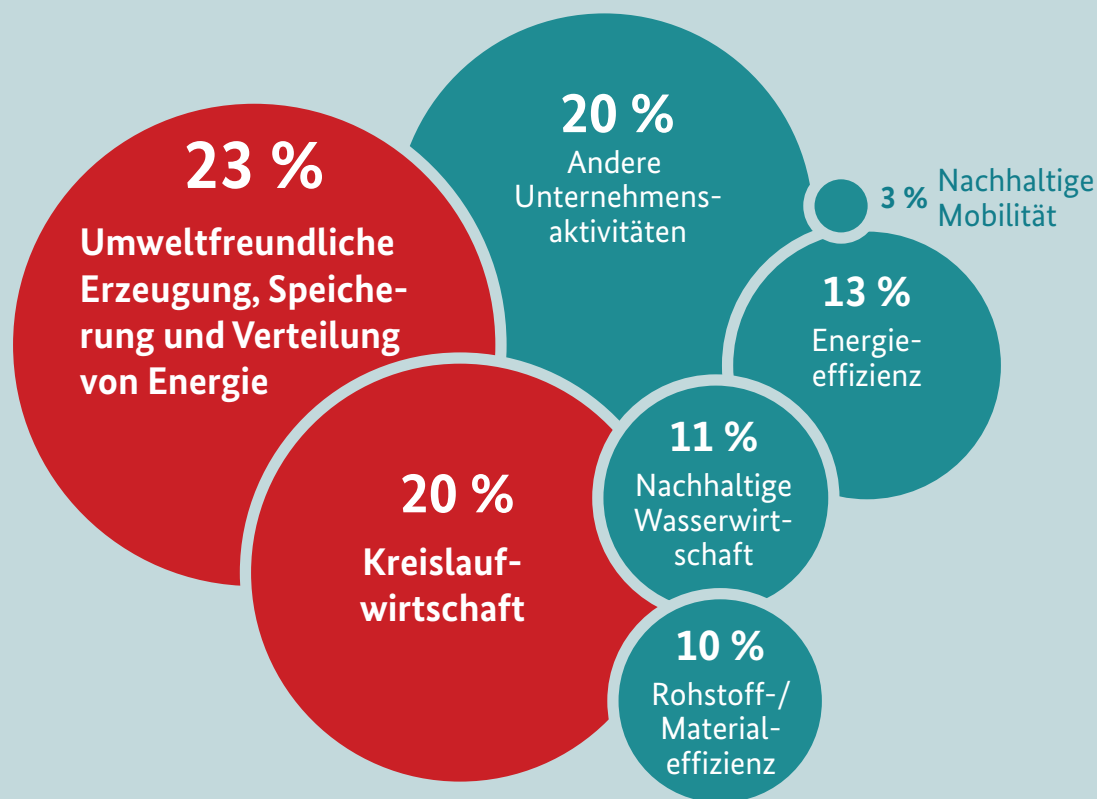
Portfolio der GreenTech-Anbieter: Starke Rolle wissensintensiver Dienstleistungen

Für die Betrachtung der Angebotsstruktur in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist es wichtig zu erfahren, in welchem Leitmarkt die deutschen GreenTech-Anbieter den größten Teil ihrer Umsätze erwirtschaften. Dieser Aspekt war Teil der Unternehmensbefragung. Dabei hat sich gezeigt, dass 43 Prozent des Umsatzvolumens aller Befragungsteilnehmer in den Leitmärkten Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie und Kreislaufwirtschaft erwirtschaftet werden (siehe Abbildung 55). Das geringste Umsatzvolumen verzeichnen die Leitmärkte Rohstoff- und Materialeffizienz (10 Prozent) und Nachhaltige Mobilität (drei Prozent).

Die Ergebnisse der Befragung zur Positionierung entlang der Wertschöpfungskette unterstreichen die Innovationskraft der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz.

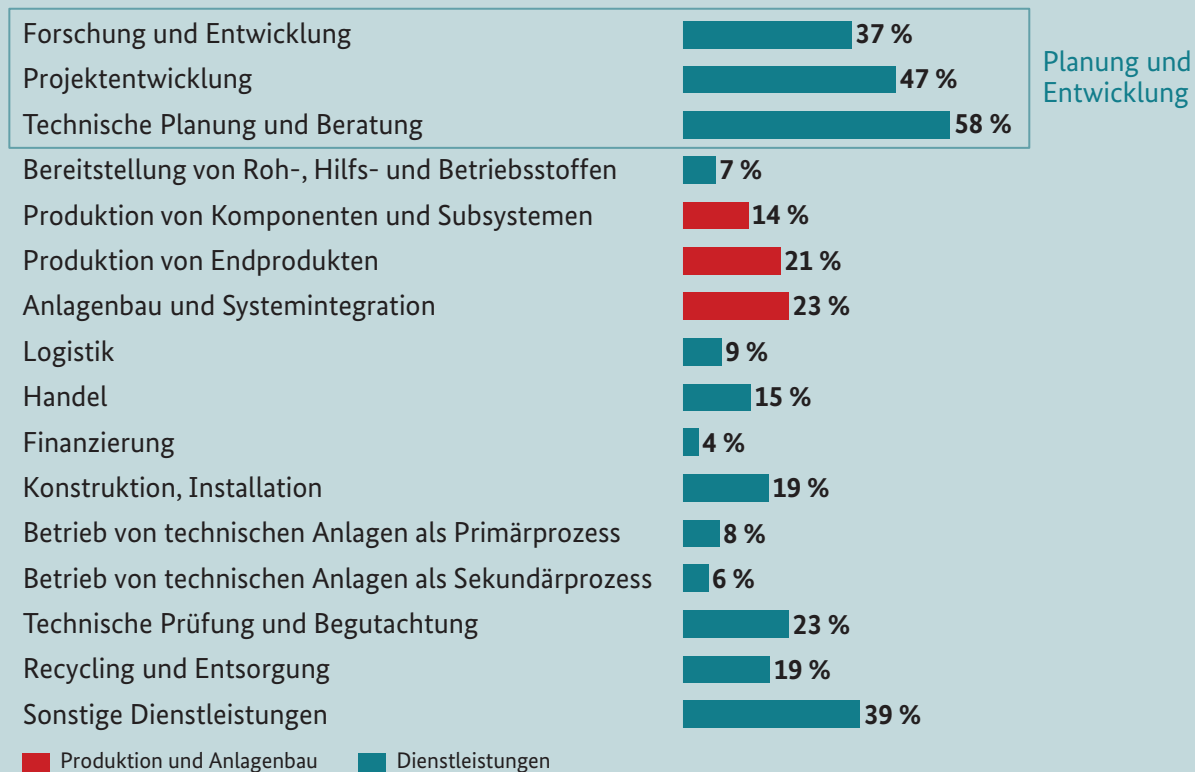
Mehr als ein Drittel der befragten Unternehmen bietet Dienstleistungen im Bereich Forschung und Entwicklung an. Daran zeigt sich ein weiteres typisches Merkmal, das die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz als wissensintensive und technologieorientierte Branche ausweist.

Die GreenTech-Akteure, die sich an der Unternehmensbefragung beteiligt haben, verteilen sich entlang der gesamten Wertschöpfungskette (siehe Abbildung 56). Bei den Nennungen der Leistungsangebote hat eine überwiegende Zahl der Unternehmen Dienstleistungen angegeben; auf Produktion und Anlagenbau entfallen weniger Nennungen. Im Angebotsportfolio besonders stark vertreten ist die Wertschöpfungsstufe Planung und Entwicklung mit den Kategorien Technische Planung und Beratung, Projektentwicklung sowie Forschung und Entwicklung. Dies ist ein Hinweis auf die hohe Anzahl an Ingenieur- und Beratungsbüros in der GreenTech-Branche.

Abbildung 55: Verteilung der Gesamtumsätze der Unternehmen auf die Leitmärkte⁶ (in Prozent)

Quelle: Unternehmensbefragung (2.703 Antworten), Roland Berger (2017)

Abbildung 56: Leistungsangebot der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette (Anzahl der Nennungen in Prozent)



Quelle: Unternehmensbefragung (2.703 Antworten), Roland Berger (2017)

6 Basis dieser Darstellung sind die Antworten der Unternehmen in den Online-Fragebögen der web-basierten Unternehmensbefragung.

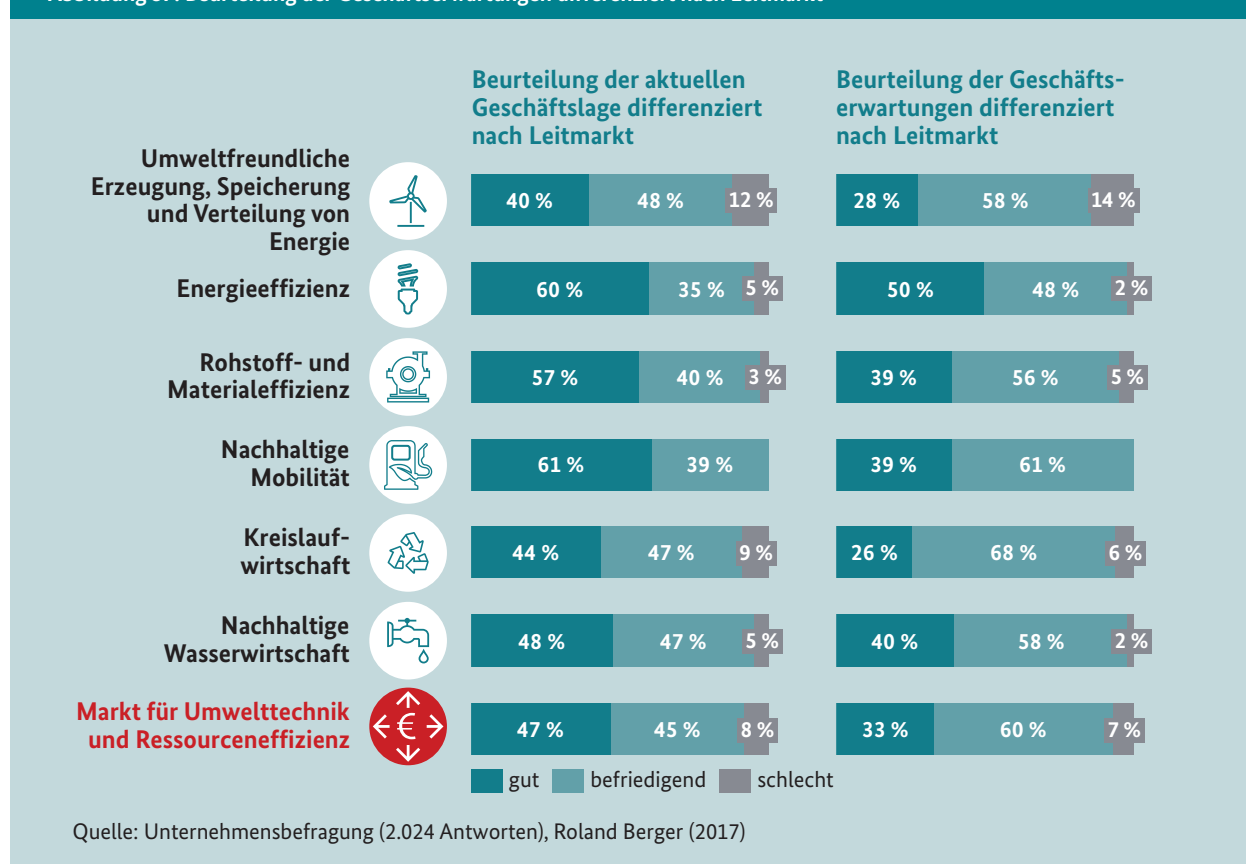
Die deutsche GreenTech-Branche: Beurteilung der Geschäftslage und der Geschäftserwartung

Das Stimmungsbild in der deutschen GreenTech-Branche fällt differenziert aus: Unabhängig von ihrer Leitmarktzugehörigkeit beurteilt knapp die Hälfte der befragten Unternehmen (47 Prozent) die aktuelle Geschäftslage als „gut“. Ein „Befriedigend“ vergeben 45 Prozent der Befragten, acht Prozent bezeichnen die Geschäftslage als „schlecht“ (siehe Abbildung 57).

Richtet sich der Blick aus der Gegenwart in die nahe Zukunft, geben sich die GreenTech-Akteure verhalten optimistisch: Ein Drittel der Unternehmen glaubt – unabhängig von der Leitmarktzugehörigkeit –, dass sich die Geschäftslage bis 2021 verbessern wird. 60 Prozent gehen von einer gleichbleibenden Geschäftslage aus; lediglich sechs Prozent der Befragten rechnen mit einer Verschlechterung (siehe Abbildung 57). Die positive Bewertung der aktuellen Situation sowie die

zuversichtliche Einschätzung der Perspektiven seitens der Unternehmen mit Leitmarktfokus Energieeffizienz korrespondiert mit der starken Gewichtung, die der Energieeffizienz im Kontext Klimaschutz eingeräumt wird. Auffällig ist, dass die Unternehmen mit Leitmarktfokus Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie den Status quo und die mittelfristige Entwicklung ihrer Geschäfte relativ zurückhaltend einschätzen. Diese Sichtweise reflektiert die Situation auf den internationalen Märkten, die von zunehmender Konkurrenz und Kostendruck geprägt ist. Nachdem die deutsche Photovoltaikindustrie in den letzten Jahren durch chinesische Wettbewerber Weltmarktanteile eingebüßt hat, gibt es nun Befürchtungen, dass im Segment Windkraft eine ähnliche Entwicklung droht.

Abbildung 57: Beurteilung der Geschäftserwartungen differenziert nach Leitmarkt



Im Rahmen der Branchenanalyse wird ein Geschäftsklimaindex errechnet, der als Stimmungskurve der deutschen GreenTech-Branche gelesen werden kann. Sowohl die Einschätzung der aktuellen Situation als auch die Erwartungen an die nahe Zukunft fließen in die Berechnung des Geschäftsklimaindex mit ein. Diese auf Jahresbasis berechnete Kennzahl ergibt sich aus den beiden Kategorien Geschäftslage („Beurteilung der aktuellen Geschäftslage“) und Geschäftserwartungen. Ein Gesamtindex von 100 bedeutet, dass alle Unternehmen die aktuelle Geschäftslage als „gut“ und die Geschäftserwartungen als „günstiger“ bewerten.

Der Geschäftsklimaindex in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz hat sich 2016 im Vergleich zu den Vorjahren deutlich abgekühlt. Bemerkenswert ist auch, dass die Geschäftsklimaindizes auf den GreenTech-Leitmärkten tendenziell hinter der Entwicklung des ifo-Geschäftsklimaindex für die Gesamtwirtschaft zurückbleiben.⁷ Angesichts der dynamischen Entwicklung der internationalen Märkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist diese eher pessimistische Haltung der deutschen GreenTech-Anbieter auf den ersten Blick erstaunlich. Dieser Skeptizismus lässt sich jedoch vor allem durch zwei Faktoren erklären: (1) Angesichts der zunehmenden Zahl ausländischer Wettbewerber, die ebenfalls um Anteile an den globalen GreenTech-Märkten kämpfen, sind viele der deutschen Akteure unsicher, ob und in welchem Umfang sie tatsächlich von der steigenden Nachfrage nach „grünen“ Produkten, Verfahren und Dienstleistungen profitieren. (2) Diverse politische Krisenherde und bewaffnete Konflikte (beispielsweise Syrien und Ostukraine) und auch die Krise in der Europäischen Union (Stichwort „Brexit“) erschüttern das Vertrauen, ob die internationale (Klimaschutz-) Politik in den nächsten Jahren zu einer steigenden Nachfrage nach GreenTech-Produkten führen wird. Dieses Phänomen betrifft jedoch nicht

ausschließlich Investitionen in Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Der Zusammenhang, dass Unsicherheit der Investitionsneigung von Unternehmen abträglich ist, zeigt sich auch in anderen Branchen: „Der Faktor Unsicherheit zieht sich in den letzten Jahren wie ein roter Faden durch das globale Wirtschafts- und Finanzmarktgeschehen“, so eine Studie von Deutsche Bank Research.⁸ Hinzu kommt, dass beim Geschäftsklimaindex der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz das subjektive Element der Erwartungen besonders stark zum Tragen kommt. Wenn man die Einschätzungen der GreenTech-Unternehmen in Bezug auf Umsatzentwicklung und Beschäftigtenzahl betrachtet (siehe Seite 99; 101) fällt das Stimmungsbild weniger trübe aus als es der Geschäftsklimaindex zunächst erwarten ließe.

Ein detaillierter Blick zeigt, dass die Geschäftsklimaindizes über alle GreenTech-Leitmärkte hinweg rückläufig sind. Im Durchschnitt aller Leitmärkte ist im Vergleich zu 2014 ein Rückgang um 14 Indexpunkte zu verzeichnen. Dies steht zunächst in einem gewissen Widerspruch zu den Erwartungen bezüglich der Umsatzentwicklung und steigenden Beschäftigtenzahlen (siehe Seite 99; 101). Eine Erklärung für diese Diskrepanz zwischen den Momentaufnahmen im Jahr 2014 und 2016 könnten veränderte politische Rahmenbedingungen sein. Beispielsweise hat sich die Förderlandschaft für regenerative Energiesysteme zwischenzeitlich durch die Reform des Erneuerbare-Energien-Gesetzes verändert. In großen europäischen Ländern ist es angesichts der angespannten Finanzsituation der öffentlichen Hand fraglich, ob es jemals zu einer Neuauflage der Konjunkturpakete kommen wird, die nach der Wirtschafts- und Finanzkrise 2008/2009 aufgelegt wurden. Diese Konjunkturprogramme umfassten viele Maßnahmen, die dem Aufbau einer klimafreundlichen Infrastruktur zugutegekommen sind.

7 Der ifo-Index wird seit 1972 regelmäßig erhoben und berechnet sich auf Basis der Geschäftslage und Geschäftserwartungen von rund 7.000 Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes, des Bauhauptgewerbes, des Großhandels und des Einzelhandels.

8 Deutsche Bank Research (2017), Seite 2.

Ansichten der deutschen GreenTech-Branche: Die geographische Verteilung der Unternehmen

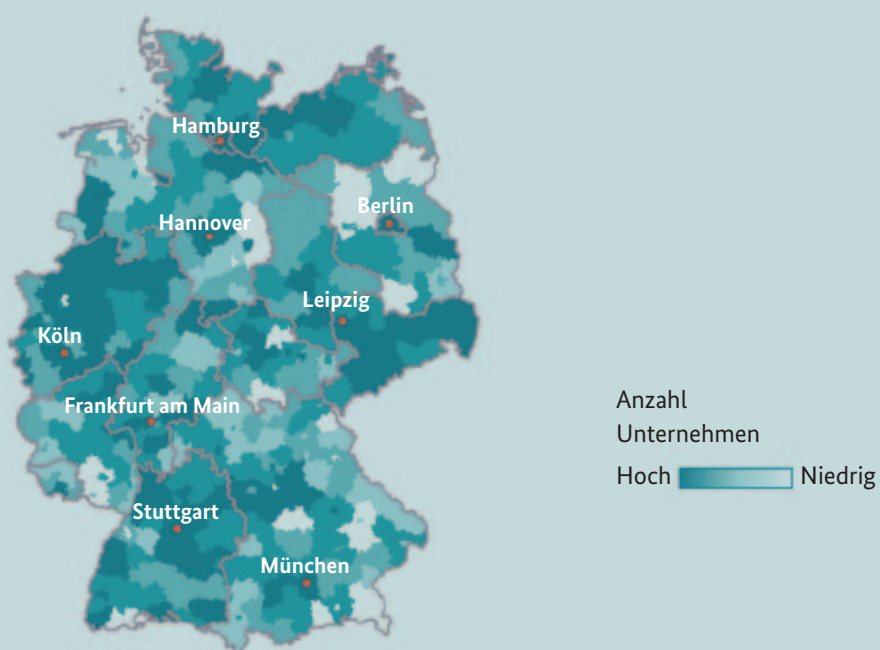
Die Erfassung der GreenTech-Akteure, die sich an der web-basierten Unternehmensbefragung beteiligt haben, deren wirtschaftlichen Kennzahlen und die Firmensitze ermöglichen eine Kartografierung der Branche. Diese Verortung der Unternehmen gibt einen Überblick über starke GreenTech-Regionen. In einer ersten Übersicht (siehe Karte 1) wird deutlich, dass die Unternehmen sich gleichmäßig in Deutschland verteilen. Dabei weisen vor allem Ballungsgebiete eine besondere Dichte von GreenTech-Unternehmen auf. Aber auch in eher ländlich geprägten Landkreisen sind Unternehmen aus der Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz beheimatet. So finden sich beispielsweise viele GreenTech-Unternehmen in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern.

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn man innerhalb der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ausschließlich die Unternehmen des produzierenden Gewerbes betrachtet: Hier weisen insbesondere die Landkreise mit einer hohen Industriedichte auch die meisten Unternehmen aus der GreenTech-Branche auf. Ganz vorne dabei sind hier die Regionen um München, Stuttgart, Hannover, Dresden und Chemnitz (siehe Karte 2).

Die Ausprägungen lassen sich noch besser erkennen, wenn das Umsatzvolumen der GreenTech-Unternehmen differenziert nach Landkreisen dargestellt wird. So zeigt sich eine Dezentralität vor allem im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft, der typischerweise von einer sehr hohen Dienstleistungsintensität geprägt ist. Im Gegensatz dazu sind große Konzernaktivitäten oder auch kleine Unternehmen des Leitmarktes Nachhaltige Mobilität vor allem um Produktionsstandorte der Autoindustrie angesiedelt oder in Gebieten mit einer hohen Bevölkerungsdichte, um Dienstleistungen wie Car Sharing oder Ladeinfrastruktur anzubieten.

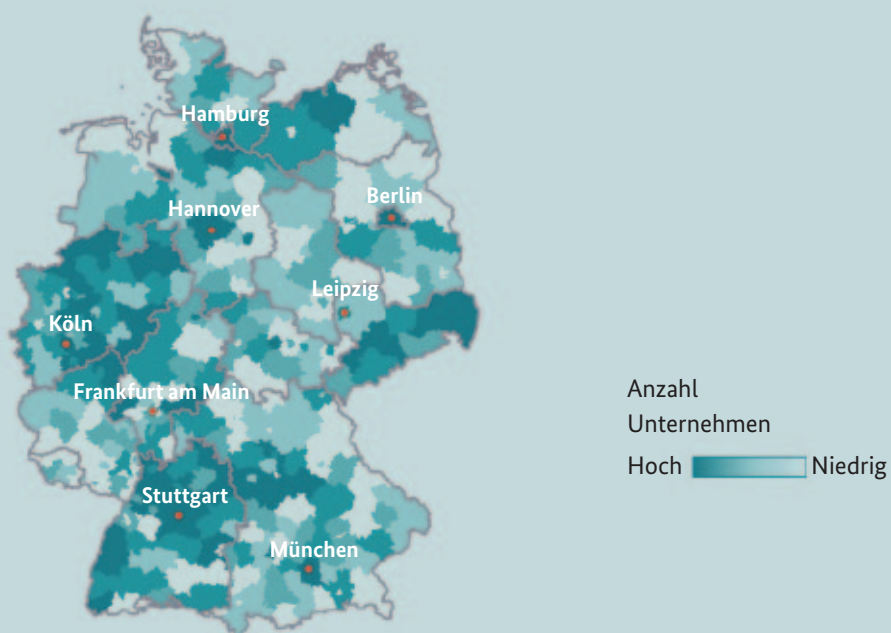
Sind GreenTech-Unternehmen deutlich stärker am Export ausgerichtet, handelt es sich in der Regel um innovationsstarke Akteure; diese Unternehmen konzentrieren sich häufig an starken Wissenschaftsstandorten mit großen Universitäten, Instituten oder Hochschulen. Innovative kleine Unternehmen, aber auch große Konzerne, benötigen für die internationale Wettbewerbsfähigkeit die Vernetzung von Forschung, Entwicklung und Produktion. Dies wird besonders in den Leitmärkten Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie sowie Nachhaltige Wasserwirtschaft deutlich.



Karte 1: Regionale Verteilung von Unternehmen im Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz auf Kreisebene⁹

Quelle: Unternehmensbefragung (2.701 Antworten), Roland Berger (2017)

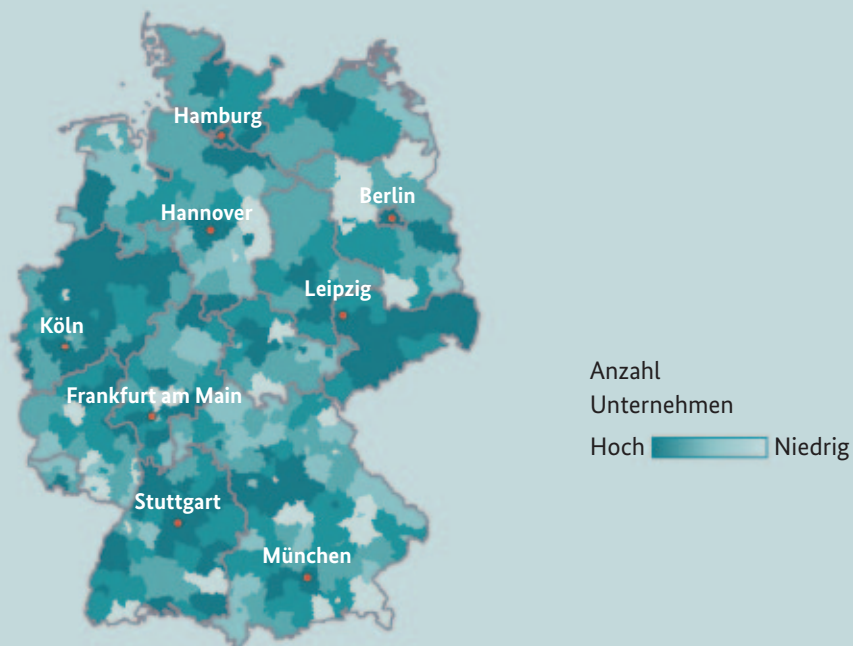
Karte 2: Regionale Verteilung von Unternehmen des produzierenden Gewerbes im Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz auf Kreisebene



Quelle: Unternehmensbefragung (1.021 Antworten), Roland Berger (2017)

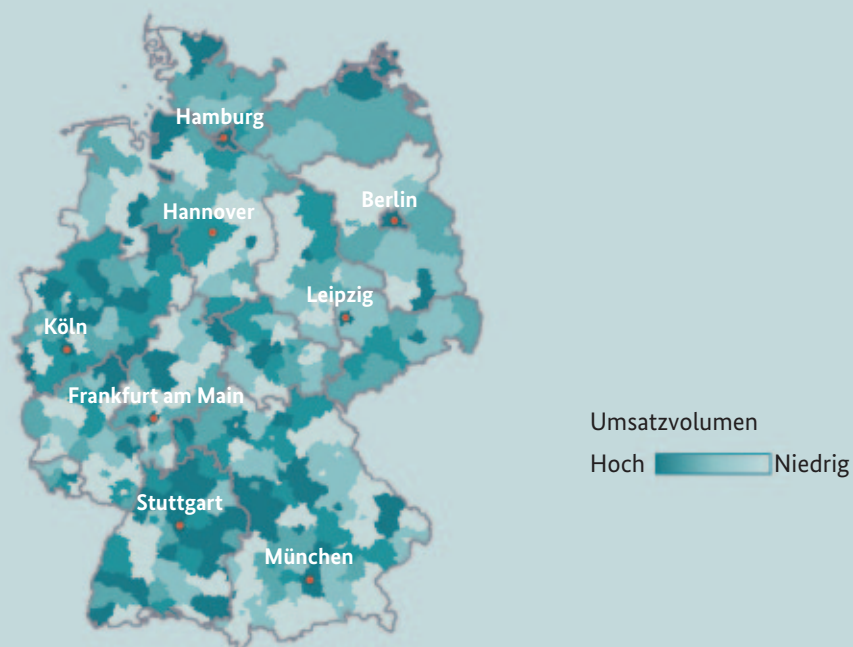
⁹ In einigen Bundesländern haben Gebietsreformen zu neuen Kreisdefinitionen geführt.

Karte 3: Regionale Verteilung von Dienstleistungsunternehmen im Markt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz auf Kreisebene



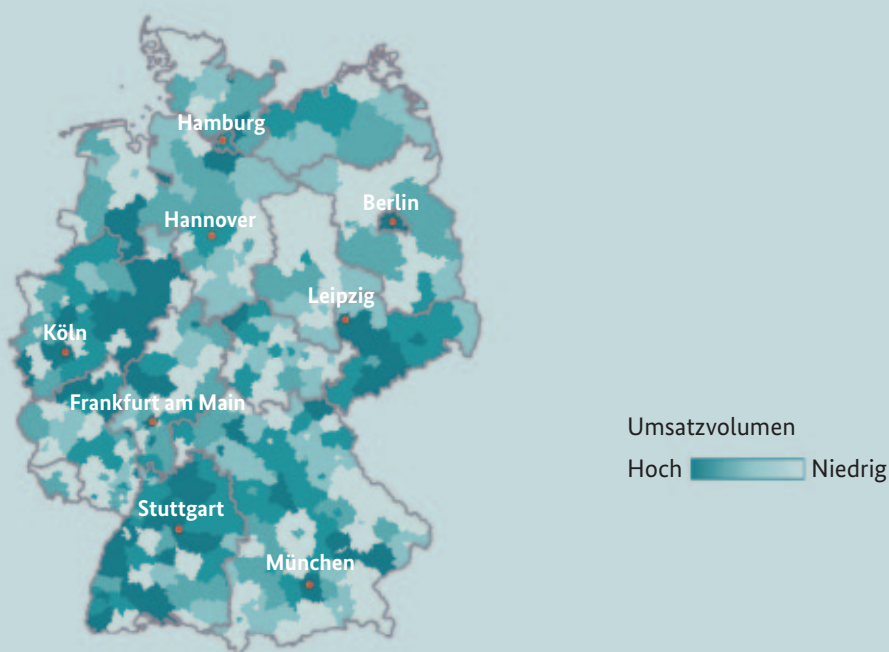
Quelle: Unternehmensbefragung (2.432 Antworten), Roland Berger (2017)

Karte 4: Regionale Verteilung des Umsatzvolumens im Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie auf Kreisebene



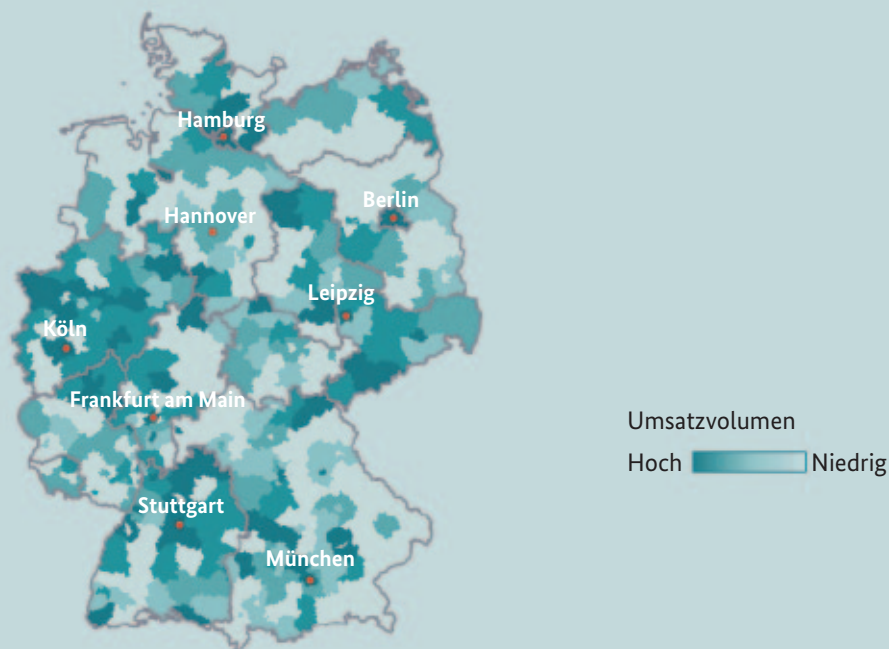
Quelle: Unternehmensbefragung (844 Antworten), Roland Berger (2017)

Karte 5: Regionale Verteilung des Umsatzvolumens im Leitmarkt Energieeffizienz auf Kreisebene



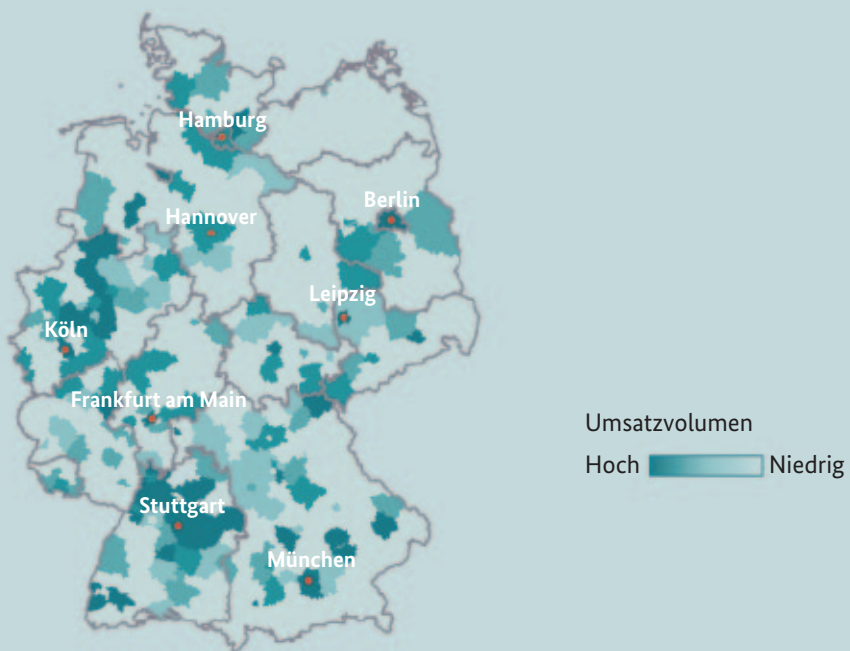
Quelle: Unternehmensbefragung (840 Antworten), Roland Berger (2017)

Karte 6: Regionale Verteilung des Umsatzvolumens im Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz auf Kreisebene



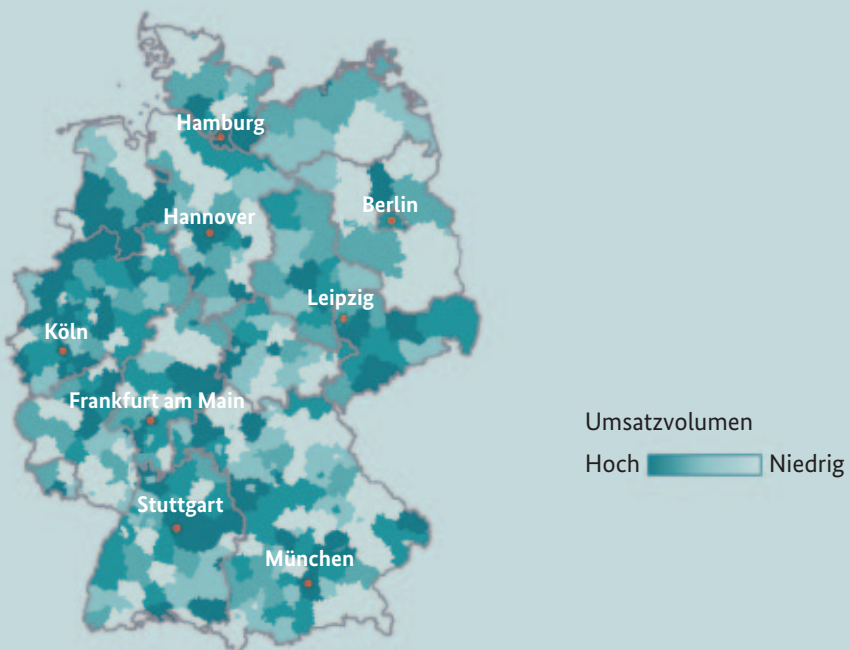
Quelle: Unternehmensbefragung (484 Antworten), Roland Berger (2017)

Karte 7: Regionale Verteilung des Umsatzvolumens im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität auf Kreisebene



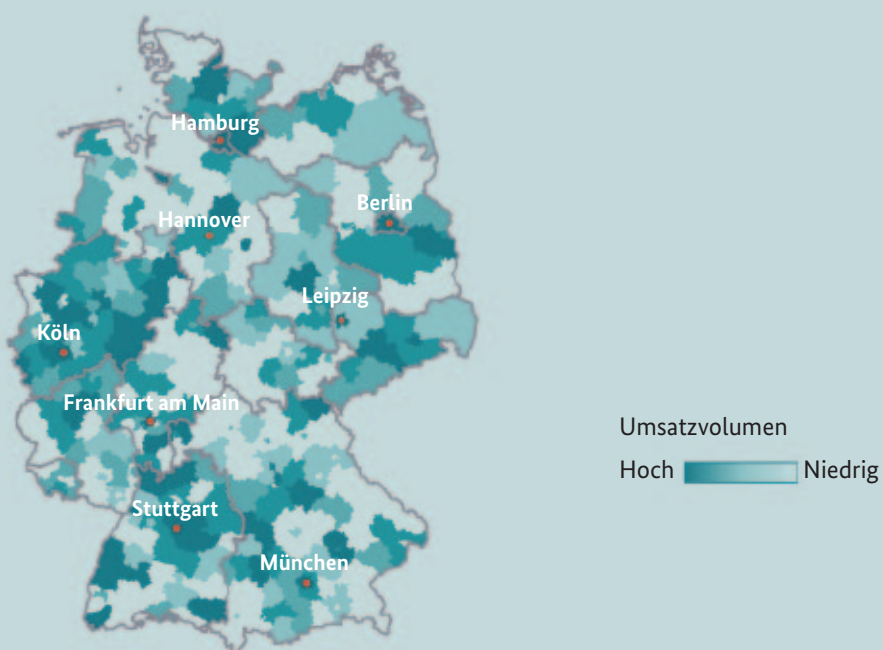
Quelle: Unternehmensbefragung (90 Antworten), Roland Berger (2017)

Karte 8: Regionale Verteilung des Umsatzvolumens im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft auf Kreisebene



Quelle: Unternehmensbefragung (771 Antworten), Roland Berger (2017)

Karte 9: Regionale Verteilung des Umsatzvolumens im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft auf Kreisebene



Quelle: Unternehmensbefragung (521 Antworten), Roland Berger (2017)



„GreenTech made in Germany“ auf Auslandsmärkten

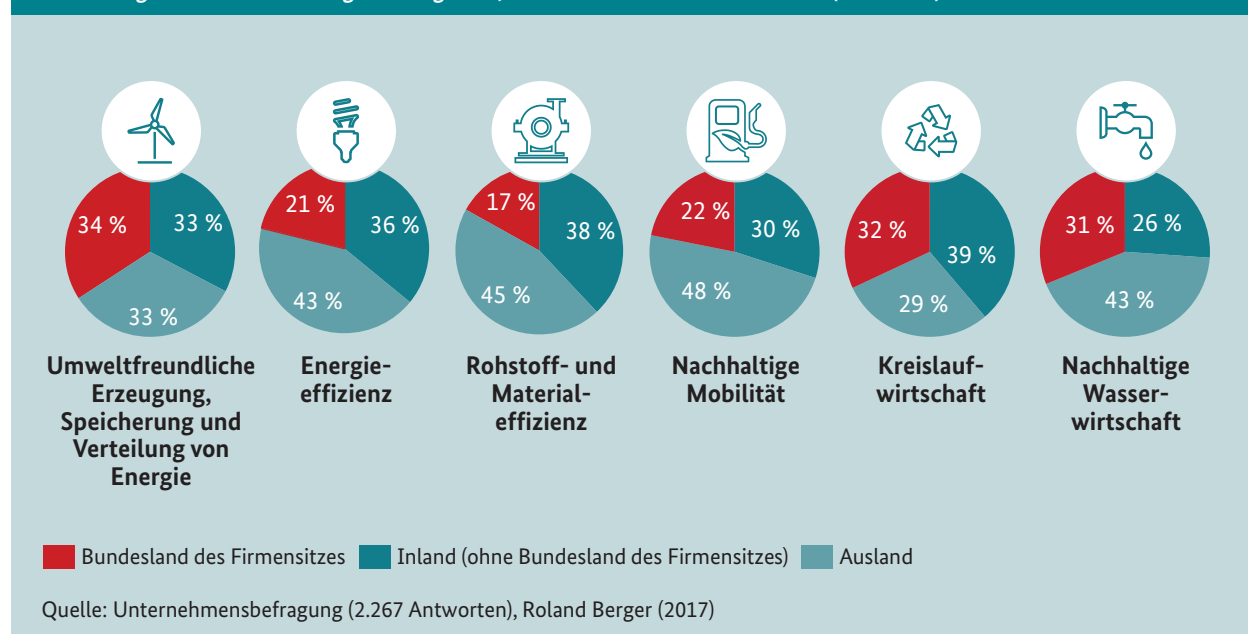
Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz „made in Germany“ sind auf den internationalen Märkten gefragt. Von der Basis eines starken Heimatmarktes aus haben sich deutsche GreenTech-Anbieter im Ausland gut positioniert. Abbildung 58 stellt differenziert nach Leitmarktfokus die regionale Umsatzverteilung von Unternehmen dar. Die Exportquote¹⁰ der einzelnen Leitmärkte umfasst eine Spanne von 29 Prozent bis 48 Prozent. Zur besseren Einordnung dieser Werte: Die Exportquote der deutschen Gesamtwirtschaft lag 2016 bei 38,5 Prozent.¹¹

In den Leitmärkten Nachhaltige Mobilität und Rohstoff- und Materialeffizienz fällt der Anteil der im Ausland realisierten Umsätze mit 48 Prozent beziehungsweise 45 Prozent am höchsten aus. Dies weist auf eine starke Exportorientierung der Unternehmen mit dem jeweiligen Leitmarktfokus hin.

Die im Inland erwirtschafteten Umsätze lassen sich differenzieren nach Aktivitäten innerhalb und außerhalb des Bundeslandes des Firmensitzes der Unternehmen. Anhand dieser Unterscheidung wird deutlich, dass viele deutsche GreenTech-Anbieter nach wie vor eine starke regionale Orientierung aufweisen.

Bei Unternehmen mit Leitmarktfokus Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie ist der Anteil der Umsätze, die im Bundesland des Firmensitzes erwirtschaftet werden, mit 34 Prozent etwas höher als in den anderen Leitmärkten. Dies kann als Indikator für die zunehmende Bedeutung der dezentralen Energieversorgung gedeutet werden. In dem Umsatzanteil von 32 Prozent, den Unternehmen mit Leitmarktfokus Kreislaufwirtschaft im eigenen Bundesland realisieren, spiegelt sich der besonders hohe Grad regionaler Wertschöpfung und Kundenbindung wider.

Abbildung 58: Umsatzverteilung nach Regionen, differenziert nach Leitmarktfokus (in Prozent)



¹⁰ Exportquote bezeichnet den Anteil des Umsatzes, der im Ausland erwirtschaftet wird.

¹¹ Siehe Statistisches Bundesamt (2017c).

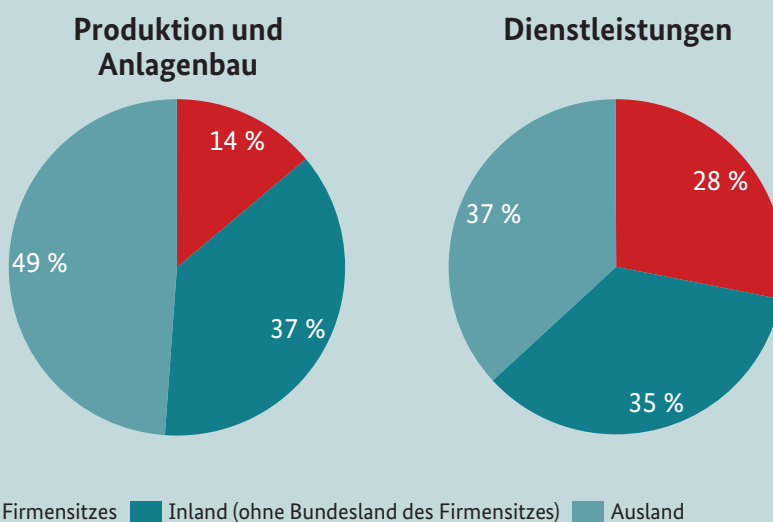
Abbildung 59 zeigt eine Gegenüberstellung der regionalen Verteilung der Umsätze von Dienstleistungsunternehmen einerseits und Unternehmen aus Produktion und Anlagenbau andererseits. GreenTech-Unternehmen, die ausschließlich Dienstleistungen anbieten, erwirtschaften 37 Prozent ihrer Umsätze im Ausland. Bei Unternehmen aus dem Segment Produktion und Anlagenbau liegt die Exportquote bei 49 Prozent. Diesem Trend folgend, weisen die Dienstleister eine wesentlich stärkere regionale Orientierung auf: Sie erzielen 28 Prozent ihrer Umsätze im Bundesland des Firmensitzes; dieser Anteil fällt doppelt so hoch aus wie bei den Unternehmen aus Produktion und Anlagenbau.

Welchen internationalen Absatzmärkten messen deutsche GreenTech-Anbieter aktuell und in Zukunft die größte Bedeutung bei? Diese Frage liefert wichtige

Anhaltspunkte für Prognosen zum weiteren Internationalisierungsprozess der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland. Die Antworten, die sich aus der Auswertung der Unternehmensdaten ergeben haben, werden in den Abbildungen 60 und 61 visualisiert.

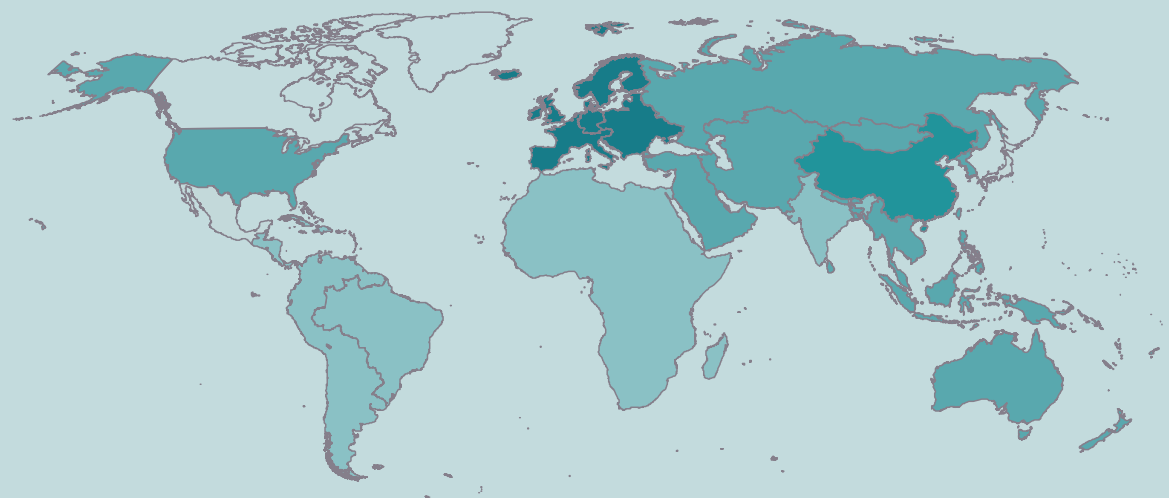
Nach wie vor betrachten die Unternehmen Europa und China als die wichtigsten internationalen Absatzmärkte für die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Bis 2025, so die Erwartung der Unternehmen, wird Russland als Absatzmarkt mehr Bedeutung erlangen. Auch Brasilien, Indien und China sowie der Nahe Osten, Afrika und Nordamerika werden eine zunehmend wichtige Rolle als Exportländer für „GreenTech made in Germany“ spielen.

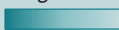
Abbildung 59: Umsatzverteilung nach Regionen von produzierenden Unternehmen und Dienstleistern (in Prozent)



Quelle: Unternehmensbefragung (2.212 Antworten), Roland Berger (2017)

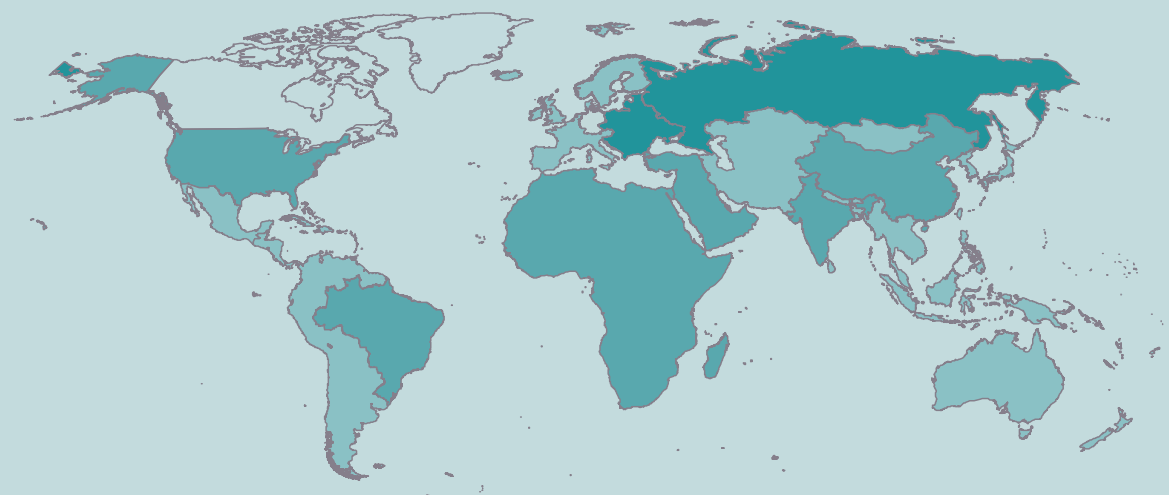
Abbildung 60: Bedeutung internationaler Absatzmärkte im Jahr 2016 aus Sicht der befragten Unternehmen

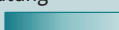


Bedeutung
Hoch  Niedrig

Quelle: Unternehmensbefragung (2.560 Antworten), Roland Berger (2017)

Abbildung 61: Erwarteter Bedeutungszuwachs internationaler Absatzmärkte bis 2025 aus Sicht der befragten Unternehmen



Bedeutung
Hoch  Niedrig

Quelle: Unternehmensbefragung (2.560 Antworten), Roland Berger (2017)

Die Abbildungen 62 und 63 geben einen Überblick, welchen fünf Technologielinien in einzelnen Ländern

und Regionen besonders hohe Exportchancen zugeschrieben werden.

Abbildung 62: „Top 5“-Technologielinien nach Auslandsmarkt und Attraktivität mit Leitmarktzuzuordnung

Brasilien

- 1 Verbundwerkstoffe 
- 2 Energieeffiziente Beleuchtung 
- 3 Verfahren in der chemischen Industrie 
- 4 Energieeffizienz bei der Verarbeitung von Steinen und Erden 
- 5 Biotechnologie 

Kanada

- 1 Biotechnologie 
- 2 Energieeffiziente Beleuchtung 
- 3 Regenerativ erzeugter Wasserstoff 
- 4 Bioethanol 
- 5 Elektrische Antriebe 

China

- 1 Elektronische Speicherung von Energie 
- 2 Hybridantriebe 
- 3 Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung und -verteilung 
- 4 Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren 
- 5 Mess-, Steuer- und Regeltechnik 

Mexiko

- 1 Verbundwerkstoffe 
- 2 Energieeffizienz bei der Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln 
- 3 Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren 
- 4 Energieeffizienz bei der Papier- und Pappeherstellung 
- 5 Energieeffiziente Beleuchtung 

Quelle: Unternehmensbefragung (2.560 Antworten), Roland Berger (2017)

Abbildung 63: „Top 5“-Technologielinien nach Regionen und Attraktivität mit Leitmarktzuzuordnung

Indien

- 1 Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren 
- 2 Verbundwerkstoffe 
- 3 Nachwachsende Rohstoffe als Feedstocks für die chemische Industrie 
- 4 Energieeffizienz in der Zementindustrie 
- 5 Herstellung von Geräten der Elektrizitätserzeugung und -verteilung 

Russland

- 1 Wassereffizienztechnologien in der Landwirtschaft 
- 2 Neuartige Sanitärsysteme (NASS) 
- 3 Verbundwerkstoffe 
- 4 Energieeffizienz in der Zementindustrie 
- 5 Wassereffizienztechnologien im häuslichen Bereich 

Japan

- 1 Biokunststoffe 
- 2 Energieeffiziente Beleuchtung 
- 3 Wassereffizienztechnologien in der Landwirtschaft 
- 4 Effizienzsteigerung von Verbrennungsmotoren 
- 5 Energieeffizienz bei der Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln 

USA

- 1 Verbundwerkstoffe 
- 2 Nanotechnologie 
- 3 Bioethanol 
- 4 Neuartige Sanitärsysteme (NASS) 
- 5 Energieeffizienz bei der Herstellung von Nahrungs- und Genussmitteln 

Quelle: Unternehmensbefragung (2.560 Antworten), Roland Berger (2017)

Exkurs: Industrie-Kompetenz und Profilierung als Anbieter von Systemlösungen stärkt die Position auf Auslandsmärkten

Rund um den Globus werden in den nächsten Jahren Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zunehmend gefragt sein (siehe Kapitel 4). Dieser Expansionskurs der GreenTech-Märkte wird maßgeblich von der internationalen Klimapolitik beeinflusst: Um die Zielvorgaben aus dem Pariser Klimaschutzabkommen zu erreichen, sind die Vertragsstaaten verpflichtet, auf nationaler Ebene ambitionierte Pläne für die Treibhausgasreduktion zu beschließen und umzusetzen.

Die deutschen Akteure haben gute Chancen, von der global wachsenden Nachfrage auf den Märkten der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zu profitieren. Die Minderung der Treibhausgasemissionen wird nur gelingen, wenn weltweit die Energieeffizienz verbessert wird und die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft durch den Ausbau erneuerbarer Energien weitere Fortschritte macht. In beiden Handlungsfeldern verfügen die GreenTech-Anbieter in Deutschland über Erfahrung, Know-how und ein umfassendes Angebotsportfolio.

Für die Energieeffizienz ist die Senkung des Energieverbrauchs in Industrie und Gewerbe ein entscheidender Hebel. Insbesondere Schwellenländer, die sich in der Phase der nachholenden Industrialisierung befinden, haben einen großen Bedarf an energieeffizienten Maschinen und Anlagen. In Industriestaaten werden bestehende Produktionsanlagen „nachgerüstet“, um den steigenden Anforderungen an die Energieeffizienz zu genügen.

Dieses Nachfrageprofil passt hervorragend zu den Stärken der deutschen Wirtschaft im Auslandsgeschäft. Grundsätzlich genießen Produkte „made in Germany“ eine hohe Wertschätzung auf den internationalen Märkten. In Branchen wie der Automobilindustrie, der Chemieindustrie, der Elektrotechnik sowie dem Maschinen- und Anlagenbau nimmt Deutschland weltweit eine führende Position ein. Die Industrie erwirtschaftet 22,5 Prozent der Bruttowertschöpfung in Deutschland; die Exportquote liegt bei 50 Prozent.¹²

Vor dem Hintergrund einer starken Industrie hat sich der Maschinen- und Anlagenbau in Deutschland zum „Technologietreiber“ entwickelt.¹³ Deutschland hält den Titel „Exportweltmeister im Maschinenbau“; in 18 von 31 Maschinenbauzweigen haben deutsche Anbieter die größten Anteile am Wellexport.

Im Großanlagenbau besetzen deutsche Anbieter international eine Spitzenstellung: 87 Prozent ihrer Produktion (Kraftwerke, Elektro-, Chemie-, Baustoffanlagen, Hütten) gehen in den Export: „Deutsche Anlagenbauer sind erste Adressen, wenn selbst ganze Länder auf (Re-) Industrialisierung setzen. Qualität, Zuverlässigkeit, Service, Effizienz und Umweltfreundlichkeit sind wichtige Assets der Deutschen.“¹⁴

Aus dieser Position heraus sind deutsche Anbieter bestens gerüstet, um auf den internationalen Märkten die Technologien zu liefern, die die großen Herausforderungen der Industrie – Energieeffizienz, Umweltschutz und Digitalisierung – bewältigen. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Prozessautomatisierung. In diesem Technologiefeld sind deutsche Unternehmen sehr gut aufgestellt: „Deutschland dominiert die Automatisierungstechnik, revolutioniert die Robotik und ist Spitze in der digitalen Produktion. Zudem ist Deutschland führend im Zukunftsmarkt virtuelle Systeme und offeriert ständig neue Lösungen für hochkomplexe und gleichwohl effiziente Produktionssysteme. Überdies liefert Deutschland auch die Software für hochpräzise Fertigungssteuerung.“¹⁵

Angesichts der Notwendigkeit der Dekarbonisierung stehen viele Länder vor der Herausforderung, ihre Energieversorgung klimafreundlich zu gestalten. Die Erfahrungen, die Deutschland in der Umbruchphase der Energiewirtschaft gesammelt hat, können sich als wertvoll erweisen: „Gelingt das Vorhaben, könnte es Blaupause/Muster für andere Länder werden.“¹⁶ Der technische Fortschritt bei der Stromerzeugung aus regenerativer Energie, die Integration volatiler erneuerbarer Energieträger ins Netz sowie die Kopplung von Strom-, Wärme- und Mobilitätslösungen verschaffen deutschen Anbietern auf den internationalen Märkten einen Know-how- und Erfahrungsvorsprung.

¹² Siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017f).

¹³ Deutsche Bank Research (2016), Seite 8.

¹⁴ Ebenda, Seite 8.

¹⁵ Ebenda.

¹⁶ Ebenda, Seite 9.

Grundsätzlich bieten Schwellenländer für Produkte, Verfahren und Dienstleistungen der Leitmärkte Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie sowie Energieeffizienz gute Perspektiven für deutsche Anbieter. Gerade in Schwellenländern besteht die Möglichkeit zum „Leapfrogging“; das bedeutet allgemein, dass bestimmte Stufen eines Entwicklungsprozesses übersprungen werden. Im Kontext Energieversorgung kann Leapfrogging heißen, dass ein Land gleich auf dezentrale (Teil-)Systeme setzt und kein zentralisiertes konventionelles Energienetz aufbaut. Im Kontext Industrialisierung kann Leapfrogging bedeuten, dass Greenfield-Anlagen von vornherein unter dem Aspekt der energie- und materialeffizienten Prozessautomatisierung geplant werden.

Deutschen Unternehmen wird eine hohe Kompetenz bei Systemlösungen attestiert.¹⁷ Diese Stärke wird sich auch auf den internationalen GreenTech-Märkten als wesentlicher Erfolgsfaktor erweisen, denn Innovationen in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz werden immer stärker durch Systementwicklungen und weniger durch Einzelinnovationen getrieben. Systemlösungen sind in der Regel besser geeignet, die komplexen Herausforderungen des Klima- und Umweltschutzes zu bewältigen. Einzelkomponenten werden zu Systemen verknüpft, um ganzheitliche Lösungen zu erreichen. Beispielsweise bleibt der Wirkungsgrad einzelner Solarzellen durch physikalische und technische Verluste beschränkt. Bei alleinstehenden Photovoltaikanlagen gibt es eine zeitliche Diskrepanz zwischen Stromerzeugung und Strombedarf, und die Netzintegration erweist sich aufgrund der geringen Leistung ebenfalls als schwierig. Jede dieser Komponenten weist also Defizite auf, die sich nur durch erheblichen Forschungs- und Investitionsaufwand verringern lassen. Wenn man jedoch den Fokus auf das Gesamtsystem aus Erzeugung, Speicherung und Nutzung von Strom legt, ergeben sich weitaus größere Verbesserungspotenziale als in der Einzelbetrachtung.

Die Digitalisierung gilt als Enabler der systemischen Lösungen. Es ist zu erwarten, dass die Digitalisierung enorme Schubkräfte für die Systembildung in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz entfesselt.

| 17 Siehe acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. (2013), Seite 5.



6

Neue Potenziale: Digitalisierung in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

Chancen und Risiken des digitalen Wandels

Längst hat der Megatrend Digitalisierung auch die GreenTech-Branche erfasst: Die Unternehmen werden von neuen Wettbewerbern und neuen Geschäftsmodellen herausgefordert und müssen sich auf Märkten behaupten, die sich durch die digitale Transformation in den nächsten Jahren stark verändern werden.

Auf einen Blick

Die Digitalisierung wird den Expansionskurs der GreenTech-Branche weiter beschleunigen: So kann die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz im Jahr 2025 mit einem zusätzlichen Marktvolumen von mehr als 20 Milliarden Euro rechnen. Digitale Daten, Automatisierung, digitale Kundenschnittstellen und Vernetzung verstärken Investitionen in „grüne“ Produkte, Verfahren und Dienstleistungen, die maßgeblich Umweltbelastungen vermeiden oder vermindern: Allein in Deutschland wird die digitale Transformation der Umwelttechnik im Jahr 2025 rund 50 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente ersparen.

Vor allem fünf digitale Systeme haben große Relevanz innerhalb der GreenTech-Branche und ein erhebliches

Umweltentlastungspotenzial: Connected Energy, Building Information Network, Industrie 4.0, Urban Connected Mobility und Smart Grid.

Damit die Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz von der digitalen Transformation profitieren, müssen sie sich aber den neuen Spielregeln anpassen, die der Übergang ins digitale Zeitalter mit sich bringt: Neue disruptive Geschäftsmodelle verdrängen alte Geschäftsmodelle; traditionelle Unternehmensstrukturen werden flexibler; virtuelle Plattformen diktieren ein verändertes Marktdesign; neue Wettbewerber treten in die Stufen der Wertschöpfungskette ein; der Netzwerkeffekt etabliert sich als neuer Wettbewerbsvorteil.

Die digitale Transformation im Überblick

„Megatrends sind gewaltige Verschiebungen, die unsere Gesellschaft wirklich verändern.“ So erklärt John Naisbitt, der intellektuelle Vater des Megatrend-Konzepts, was kurzlebig gehypte Begriffe und Megatrends unterscheidet.¹ Zu dieser Kategorie werden Phänomene wie Klimawandel, Globalisierung, demografischer Wandel, Urbanisierung sowie Digitalisierung gezählt. Diese – sich wechselseitig beeinflussenden – Entwicklungen werden nicht nur die Welt von heute prägen, sondern auch die gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen künftiger Generationen. Insofern beeinflussen Megatrends auch maßgeblich das Umfeld von Unternehmen.

Die Digitalisierung gilt als Megatrend und Innovations-treiber. Sie betrifft alle gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Lebensbereiche. Auf allen Stufen der Wertschöpfungskette treffen Unternehmen auf vernetzte Systeme und arbeiten mit Tools und Praktiken, die auf Informations- und Kommunikationstechnologie basieren. Damit wandelt sich deren Rolle: Digitale Techniken sind nicht länger rein unterstützende Werkzeuge, sondern verändern Geschäftsmodelle und Prozesse

von Unternehmen grundlegend. Der digitale Wandel betrifft – wenn auch in unterschiedlicher Intensität – alle Branchen und Unternehmen, ob Konzerne oder Mittelständler. Wie tiefgreifend die Auswirkungen der Digitalisierung sein können, zeigt sich an Pionierbranchen wie Medien (Bedeutungsverlust der Printmedien), Musikindustrie (volldigitalisierte Produkte und Vertriebswege) oder Einzelhandel (Online-Shopping).

Derzeit finden sich in der einschlägigen Literatur noch keine verbindlichen Definitionen, was genau unter dem Label der digitalen Transformation zu fassen ist.² Den Ausführungen auf den nächsten Seiten liegt folgendes Verständnis zugrunde: „Digitale Transformation verstehen wir als durchgängige Vernetzung aller Wirtschaftsbereiche und als Anpassung der Akteure an die neuen Gegebenheiten der digitalen Ökonomie. Entscheidungen in vernetzten Systemen umfassen Datenaustausch und -analyse, Berechnung und Bewertung von Optionen sowie Initiierung von Handlungen und Einleitung von Konsequenzen. Diese neuen Werkzeuge werden viele etablierte Geschäftsmodelle und Wertschöpfungsprozesse grundlegend verändern.“³

1 Naisbitt, John (2015), Seite 5.

2 Siehe Schalmo, Daniel/Rusnjak, Andreas (2017), Seite 3.

3 Roland Berger Strategy Consultants GmbH/Bundesverband der deutschen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015), Seite 6.

Die Digitalisierung wird auch zu Veränderungen in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz führen. Dieses Kapitel setzt sich mit den Chancen und Risiken der digitalen Transformation für die GreenTech-Akteure auseinander.

Die vier Hebel der digitalen Transformation

Im Zuge der Verfügbarkeit digitaler Daten, der Automatisierung von Fertigungsprozessen, der Vernetzung und der Herausbildung digitaler Kundenschnittstellen kommt es zur Transformation von Geschäftsmodellen und zur Neugliederung ganzer Branchen. Diese vier Hebel der Digitalisierung beeinflussen auch in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz das Marktgefüge (siehe Abbildung 64).

Digitale Daten

Das weltweit generierte Datenvolumen verdoppelt sich alle zwei Jahre – bis 2020 soll es jährlich 40 Zettabytes erreichen. Zur Illustration der Größenordnung: Bei einem Zettabyte stehen 21 Nullen hinter der 1. Aber es geht nicht nur um die Vermehrung oder die schiere Menge von Daten, sondern auch um die qualitativen Aspekte Geschwindigkeit und Vielfalt. Noch nie war es möglich, in kurzer Zeit eine so große Menge unterschiedlicher Daten zu analysieren. Durch die Erfassung,

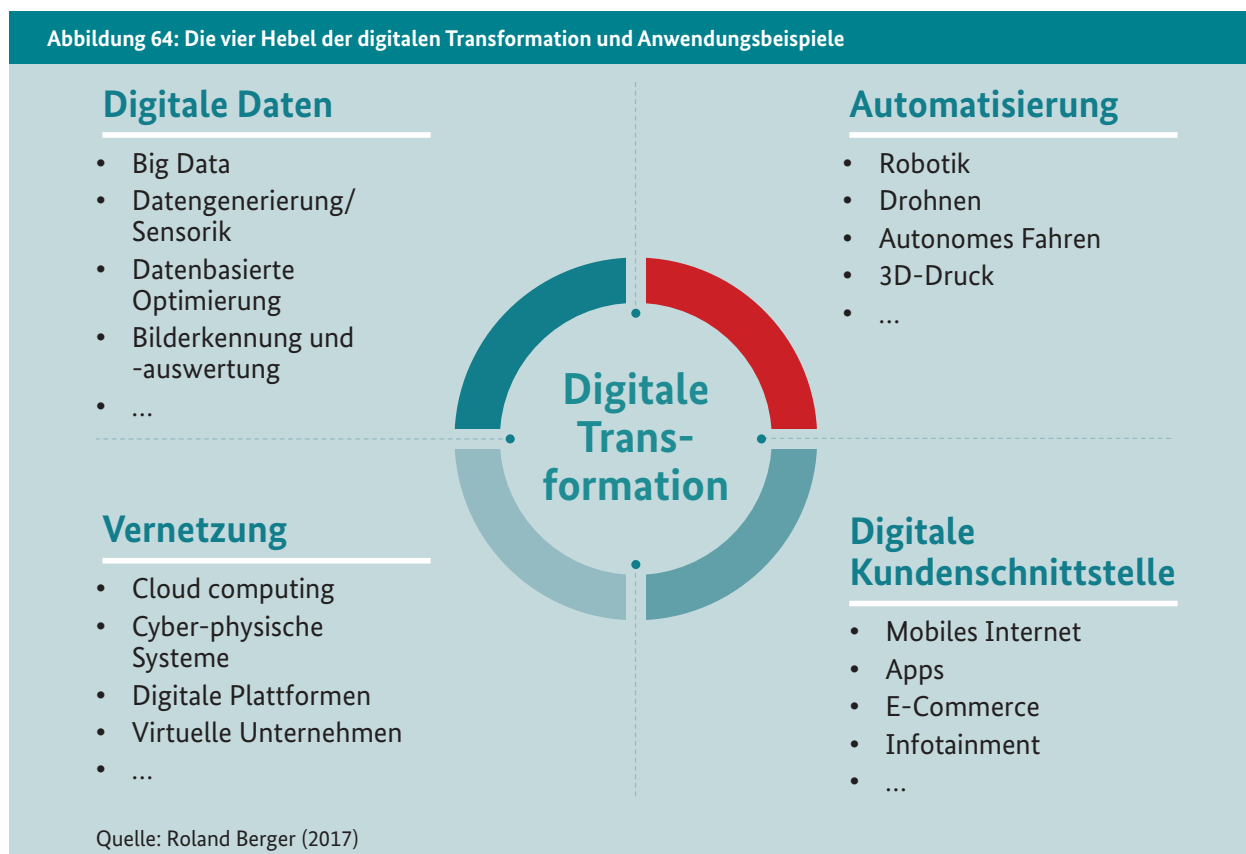
Verarbeitung und Auswertung von digitalisierten Messdaten lassen sich Vorhersagen treffen und Empfehlungen abgeben. So entstehen in der GreenTech-Branche immer neue Anwendungsbereiche für die Nutzung von Sensoren und digitalen Daten, wie Beispiele zeigen. Die Cassantec AG nutzt Big Data, um anhand von Sensordaten die Abläufe in Windparks zu analysieren. Auf Basis dieser Daten werden durch eine Reihe mathematischer Methoden Risikoprofile, Zustandstrend und Restlebensdauer der Windenergieanlagen ermittelt. Auf dieser Basis lassen sich Wartung und Instandhaltung besser planen („Predictive Maintenance“).

Die Analyse digitaler Daten kommt auch in der Wasserwirtschaft zum Einsatz: Die Kisters AG unterstützt Wasserversorger, den operationellen Betrieb zu optimieren und damit zu einem effizienten Umgang mit der Ressource Wasser beizutragen. Die Analyse der Daten ermöglicht unter anderem eine zielgerichtete Erstellung von Pumpwerkeinsatzplänen, eine verfeinerte Planung von Speicherkapazitäten sowie die Überwachung des Energieeinsatzes.

Automatisierung

Bereits ab den 1970er Jahren wurden Elektronik und Informationstechnologien eingesetzt, um Produktionsprozesse zu automatisieren. Insofern ist die Automatisierung kein neuer Trend. Allerdings hat sie durch

Abbildung 64: Die vier Hebel der digitalen Transformation und Anwendungsbeispiele



die digitale Transformation eine neue Qualität erreicht. Durch die Verbindung von Maschinen und modernster Informations- und Kommunikationstechnologie entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und sich selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke. Eine Schlüsselrolle spielen dabei Cyber Physical Systems (CPS): Ein CPS besteht aus einem Prozessor, der via Internet mit anderen CPS kommunizieren kann, sowie aus Sensoren zur Wahrnehmung der Umwelt und Aktoren zur Beeinflussung der Umwelt. Cyber-Physische Systeme sind die technologische Basis für die Kombination von IT mit der physikalischen Welt und spielen damit einen wesentlichen Part in der „smarten Fabrik“, Stichwort Industrie 4.0.

Ein Beispiel für die neuen Potenziale der Automatisierung zur Verbesserung der Energieeffizienz bieten die integrierten Energiemanagement-Technologien, die die Division Digital Factory der Siemens AG entwickelt hat. Speicherprogrammierbare Steuerungen versetzen Maschinen und Anlagen in die Lage, den Grad ihrer Energieeffizienz zu kommunizieren. Dementsprechend agiert die Steuerungseinheit und dirigiert auf Basis der erhaltenen Informationen die Produktionsanlage.

Digitale Kundenschnittstelle

Internetseiten, Software, Apps oder soziale Netzwerke dienen Unternehmen als digitale Schnittstellen zu ihren Kunden und eröffnen neue Chancen, verstärkt individualisierte Produkte und Dienstleistungen anzubieten sowie die Interaktion mit den Marktteilnehmern zu intensivieren. Diese Vorteile nutzen Anbieter wie die GreenPocket GmbH. Das Kölner Unternehmen entwickelt Software-Lösungen für Smart Metering und Smarthome, mit deren Hilfe private Haushalte und kommerzielle Nutzer ihre Energieeffizienz deutlich verbessern können. Die Anwender der GreenPocket-Software erhalten visuell aufbereitete Daten ihres Energieverbrauchs auf unterschiedliche Geräte wie Tablet, Smartphone oder PC.

Vernetzung

Vernetzung im Kontext der Digitalisierung bezieht sich auf die Infrastruktur für den Datenaustausch. Das kann die Kommunikation zwischen Maschinen sein (machine-to-machine; m2m), bei der in der Regel gleiche Datentypen ausgetauscht werden, oder der Austausch von Daten unterschiedlicher Formate für diverse Anwendungen und Nutzer, etwa über die Cloud. Ein Beispiel der Vernetzung aus dem Leitmarkt Nachhaltige Mobilität ist „Moovel“. Diese App verknüpft die Angebote des Car-Sharing-Anbieters Car2go, des Startups Mytaxi, der Deutschen Bahn und des Nahverkehrs in

vielen Regionen. Durch diese Vernetzung entsteht ein eigenes digitales Ökosystem im Bereich Mobilität.

Die genannten Beispiele machen bereits deutlich, dass bei digitalen grünen Technologien und Geschäftsmodellen alle vier Hebel der digitalen Transformation angesetzt werden. Gerade durch dieses Zusammenspiel entwickelt die Digitalisierung ihre Dynamik und Innovationskraft.

Digitale Systeme verändern den Markt

Die Digitalisierung mit ihren vier Hebeln fungiert immer stärker als Enabler („Ermöglicher“) der Systembildung. Digitale Systeme bestehen aus einer sich selbst organisierenden digitalen Infrastruktur und schaffen so eine Umgebung für vernetzte Organisationen und Geräte, in der diese zusammenarbeiten sowie Wissen und Informationen austauschen können. Damit unterstützen digitale Systeme die Entwicklung von offenen und adaptiven Technologien sowie evolutionären und disruptiven Geschäftsmodellen.

Allerdings versuchen rein digitale Unternehmen wie Alphabet (Google), Apple, Microsoft oder Amazon ihre digitalen Systeme zu schließen, um sich Wettbewerbsvorteile zu sichern. Dies verhindert allerdings auch, dass sich die Technologien und Komponenten gegenseitig befruchten. Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz können von den rein digitalen Playern im ersten Schritt lernen und profitieren. Sie zeigen, welche Chancen in der Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle stecken: Die Tech-Giganten entwickeln neuartige Geschäftsmodelle, haben innovative Unternehmensstrukturen, probieren neue Strategien, reizen die Möglichkeiten der Digitalisierung radikal aus und zeigen eindrucksvoll, welche Möglichkeiten in der Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle stecken. In Analysen über die Erfolgsrezepte von Alphabet, Amazon, Facebook etc. fallen immer wieder die Schlagworte „Disruption“, „Plattform“ und „Netzwerkeffekt“. Diese sollen an den Beispielen von Amazon und Alphabet kurz skizziert werden.

Amazon zeichnet sich vor allem durch zwei Besonderheiten aus. Das Unternehmen ist konsequent selbst-disruptiv und nutzt seine immense Marktmacht als dominierender Plattform-Anbieter im Online-Handel. Amazon hat als zentrale Plattform eine Marktmacht entwickelt, die eine Sog- und Druckwirkung entfaltet. Einerseits werden kleine Unternehmen, Startups, Verlage und Einzelpersonen (über Marketplace) auf die Plattform gesogen, da sie die exzellente Chancen bietet, Kunden aus aller Welt einfach und schnell zu erreichen.

Abbildung 65: Amazon als zentrale Plattform mit Sog- und Druckwirkung



Kunden werden dabei auch selbst zu Verkäufern auf dem Marketplace und geben digitale Daten durch ihr Einkaufsverhalten und ihre Bewertungen ab. Amazon nutzt dies, um seine Auswahl zu selektieren, zu vergrößern sowie zur Verbesserung des Services. Damit wird die Plattform für Kunden und Unternehmen immer attraktiver.

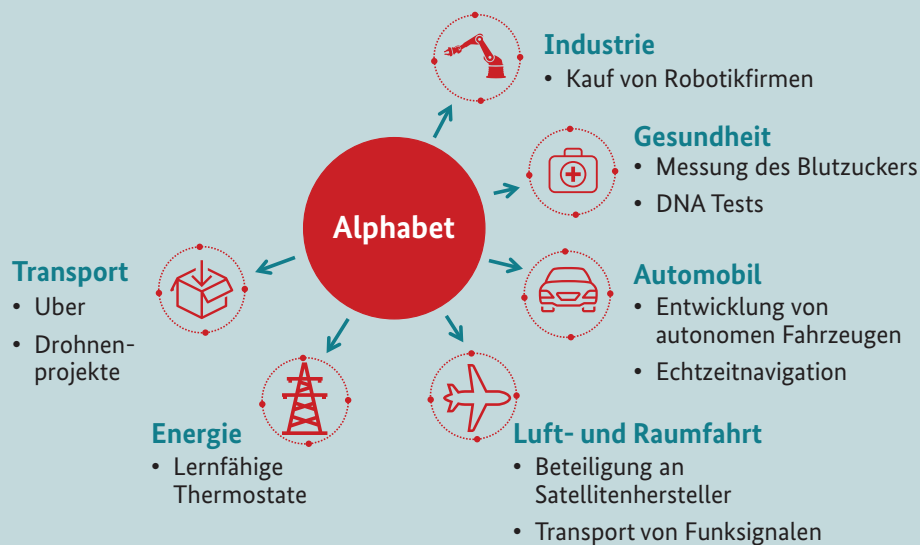
Die erfolgreiche Plattformbildung führt dazu, dass Amazon die Kundenschnittstelle besetzt und damit anderen Unternehmen den Weg zum Kunden versperrt. So errichtet Amazon eine virtuelle Barriere, die etablierte Akteure daran hindert, direkt mit den Kunden zu interagieren (siehe Abbildung 65). Dadurch entsteht eine Druckwirkung auf Zwischenhändler und Lieferdienste.

Alphabet zeichnet sich nicht nur durch seine großen Erfolge als Suchmaschine aus. Als digitales System ist es vor allem deshalb spannend, weil es die Entschlossenheit zeigt, die digitale Transformation in vollkommen fremden Märkten und Branchen voranzutreiben. Viele Kunden kennen Alphabet als Google-Suchmaschine und Anbieter von Online-Dienstleistungen. Dabei weiß Alphabet seine Vorteile und digitalen Erfahrungen, etwa den Umgang mit Daten und Optimierungsalgorithmen, konsequent zu nutzen und versucht, dieses Wissen in andere Branchen zu transferieren (siehe Abbildung 66).

So hat Alphabet produzierende Unternehmen im Bereich Hausautomatisierung erworben und beteiligt sich an der Herstellung von Autos, Drohnen und Satelliten. Viele Engagements basieren darauf, mit der Kombination von Wissen und technologischem Know-how bestehende Geschäftsmodelle zu transformieren. Dabei ließ sich Alphabet nicht nur durch strategische Planung leiten. Produkte und Angebote wurden auch nach dem Trial-and-Error-Verfahren erprobt. Nachdem sich Dienste wie Google Buzz, Google Labs oder Google Desktops nicht als erfolgreich und profitabel erwiesen hatten, wurden sie wieder eingestellt.

Anders als pure digitale Player wie Google, sind viele Unternehmen noch in der analogen Ära gegründet worden und nun mit der Herausforderung konfrontiert, in ihren Organisationen den digitalen Wandel aktiv zu gestalten. Dabei sind sie durchaus in Zugzwang, da die Digitalisierung die Spielregeln auf den Märkten verändert. Auf diese Weise geht von digitalen Systemen je nach Branche ein mehr oder weniger starker Druck aus, die Geschäftsmodelle an die digitalen Rahmenbedingungen anzupassen. Diese Transformation etablierter Geschäftsmodelle soll am Beispiel des Hamburger Hafens dargestellt werden.

Abbildung 66: Ausgewählte industrielle Projekte und Beteiligungen von Google



Quelle: Roland Berger (2017)

Beispiel Hamburger Hafen

Mit einer Fläche von 7.200 Hektar liegt der Hamburger Hafen tief im Binnenland und nahe des Hamburger Stadtzentrums. Dieses geografische Handicap beschränkt den Spielraum für Erweiterungen – 2016 wurden im Hamburger Hafen rund 8,9 Millionen Standardcontainer (TEU) umgeschlagen, im Jahr 2025 könnten es laut einer Potenzialanalyse 25 Millionen Standardcontainer sein.⁴ Dieses Wachstumsziel lässt sich nicht allein durch eine Ausdehnung des Hafensareals realisieren. Deshalb greift die Hamburg Port Authority (HPA), die Betreibergesellschaft, zu anderen Hebeln, um auf Expansionskurs zu steuern: Die Effizienz des Hafens als wichtiger Teil der Lieferkette soll durch den Einsatz intelligenter Lösungen („smartPORT

logistics“) für den Verkehrs- und Warenfluss verbessert werden. „Wir können die Nutzung der Verkehrswege optimieren und zum Beispiel die Containerschiffe mit optimaler Geschwindigkeit durch den Hafen leiten“, erklärt Sebastian Saxe, Chief Digital Officer.⁵ Im Fokus von smartPORT logistics stehen die Teilbereiche Infrastruktur, Verkehrs- und Warenströme.⁶

Das 2013 gestartete Projekt smartPORT logistics basiert im Kern auf einer Verknüpfung und Auswertung unterschiedlicher Daten über die Cloud. Rund 800 Sensoren auf dem Hafengelände liefern 100 Messwerte in der Sekunde, etwa Pegelstände, Schiffspositionen, das Gewicht von Lkw etc. So weiß die zentrale Leitstelle zu jeder Zeit, was sich auf einem Schiff befindet und



⁴ Siehe Hamburg Port Authority (2017a).

⁵ Google Deutschland (Hrsg.) (2017), Seite 7.

⁶ Siehe Hamburg Port Authority (2017b).

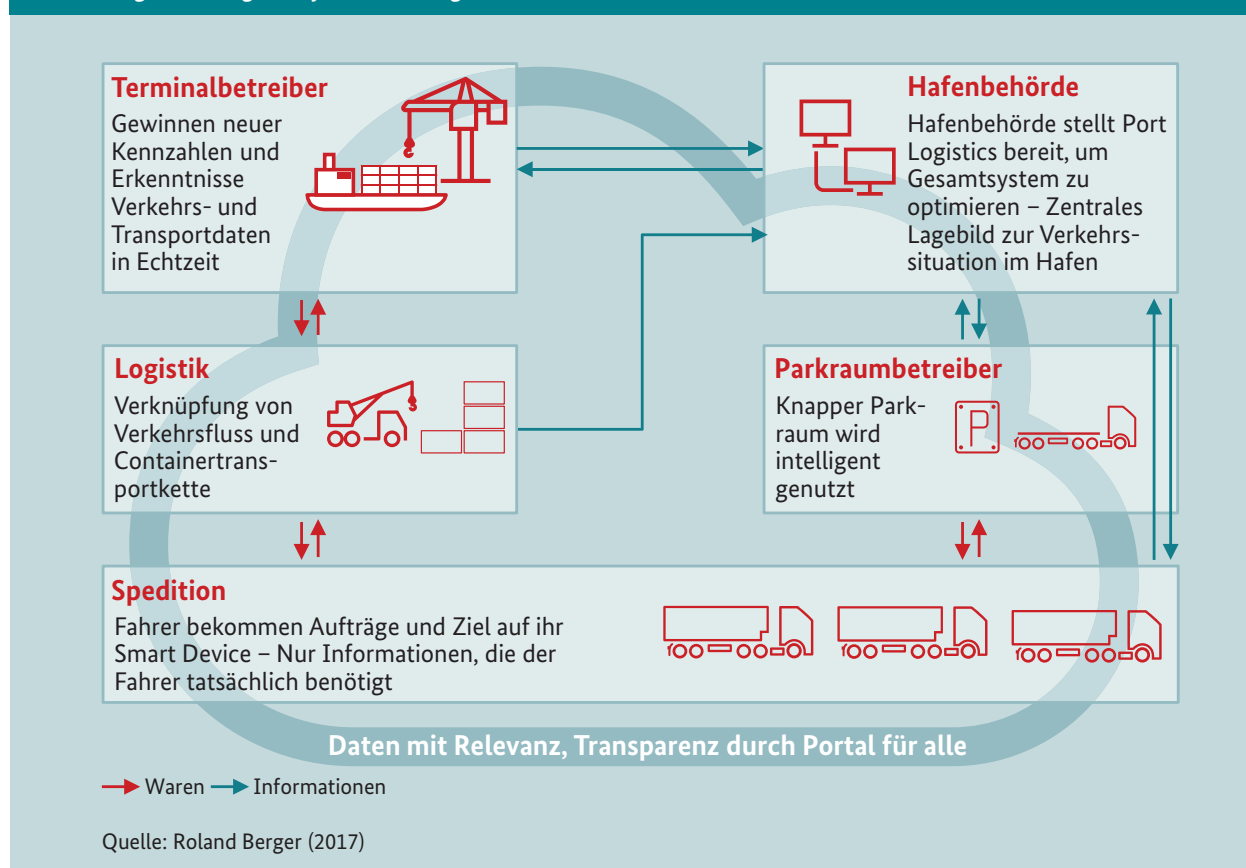
welche Route es plant. Auf dem Hafenareal sind pro Tag circa 40.000 Lkw unterwegs, die es zu koordinieren gilt. Für diese Herausforderung wird die in Kooperation mit T-Systems und SAP entwickelte cloudbasierte smart-PORT-Logistik eingesetzt.

Durch eine Leitwarte vernetzt, besitzt jedes Fahrzeug ein mobiles Endgerät und erhält Informationen über das Verkehrsmanagement. Eine schnelle Informationsbereitstellung ist dabei unabdingbar. Nur die Selektion und Priorisierung der aus der Datenflut generierten Informationen machen es möglich, die Fahrer und Spediteure bei Ihrer Arbeit zu unterstützen. In diesem Informationssystem werden der Status des Fahrzeugs, aktuelle Wartezeiten an Be- und Entladezonen sowie Aufträge erfasst.

Langfristig sollen in einem intermodalen Port Traffic Center die Verkehrsinformationen aller Verkehrsträger, also Schiffs-, Bahn- und Straßenverkehr, verknüpft werden, sodass den Verkehrsteilnehmern und Logistik-Entscheidern alle relevanten Informationen zur Verkehrslage im Hamburger Hafen in Echtzeit zur Verfügung stehen.

So soll die Digitalisierung die Steuerung von Verkehrs- und Warenströmen vereinfachen und optimieren. Diese Steigerung der Effizienz schafft für den Hamburger Hafen einen ökonomischen Mehrwert, bringt jedoch auch positive Effekte für die Umwelt: Die Verbesserung der Logistikprozesse führt zu einer Minderung der vom Verkehr ausgehenden Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgas.

Abbildung 67: Das digitale System Hamburger Hafen



Fünf Thesen zur digitalen Transformation

Die digitale Transformation mit den vier Hebeln – digitale Daten, Automatisierung, Vernetzung und digitaler Kundenzugang – verändert das Marktgefüge grundlegend und schafft die Basis für innovative Systeme. Damit die Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz von dieser Entwicklung profitieren, müssen sie sich den neuen Spielregeln anpassen, die der Übergang ins digitale Zeitalter mit sich bringt. Die wesentlichen Veränderungen werden in fünf Thesen dargestellt:

- These 1: Neue disruptive Geschäftsmodelle verdrängen alte Geschäftsmodelle
- These 2: Traditionelle Unternehmensstrukturen werden flexibler
- These 3: Virtuelle Plattformen diktieren ein verändertes Marktdesign
- These 4: Neue Wettbewerber treten in die Stufen der Wertschöpfungskette ein
- These 5: Der Netzwerkeffekt etabliert sich als neuer Wettbewerbsvorteil

Neue disruptive Geschäftsmodelle verdrängen alte Geschäftsmodelle

Das englische Verb „disrupt“ lässt sich im Deutschen mit „unterbrechen“ und „stören“ wiedergeben. Diese Übersetzung illustriert, worum es bei disruptiven Technologien und Geschäftsmodellen geht. Das Konzept der „disruptiven Innovation“ wurde von Clayton M. Christensen, Professor an der Harvard Business School, erstmals 1995 in seinem Buch *The Innovator's Dilemma* beschrieben.⁷ Der Begriff „disruptive Innovation“ steht dabei in Abgrenzung zur inkrementellen Innovation. Bisweilen werden mit derselben beziehungsweise ähnlicher Bedeutung auch die Begriffspaare revolutionäre und evolutionäre Innovation gegenübergestellt. Als disruptiv werden Innovationen bezeichnet, die die Spielregeln auf Märkten und in einzelnen Branchen von Grund auf verändern. Eng verknüpft mit der disruptiven Innovation ist das Phänomen des digitalen Darwinismus. „Der Begriff des digitalen Darwinismus beschreibt treffend den Prozess, in dem sich viele Unternehmen und Branchen – häufig ungefragt und teilweise auch unerwünscht – befinden.“⁸ Damit ist ein Auswahlprozess angesprochen, der sich einstellt, wenn Unternehmen oder Industriezweige mit sich verändernden Rahmenbedingungen konfrontiert werden.

Je nachdem, ob und in welchem Umfang die Anpassung gelingt, wird sich die Marktposition verbessern oder verschlechtern.

Häufig beginnen disruptive Innovationen in einer Branchennische.⁹ Ausgehend von neuen Technologien und Geschäftsmodellen werden Produkte und Dienstleistungen entwickelt, die zunächst nur wenige Nutzer ansprechen. Doch die Weiterentwicklung des Produkts, veränderte Kundeninteressen und -präferenzen und Kapitalspritzen durch Investoren stoßen eine disruptive Entwicklung an: Das neue Angebot verdrängt etablierte Unternehmen und ihre Produkte und dominiert in der Folge den Markt, der durch disruptive Innovationen meist vergrößert wird. Dabei erstreckt sich die disruptive Innovation immer nur über einen bestimmten Zeitraum.

So ist der Reifegrad der Disruption (siehe Abbildung 68) in den Märkten unterschiedlich ausgeprägt, zum Beispiel stehen Anbieter wie Netflix und iTunes erst am Anfang der Disruption im Markt für Kulturprodukte. Sie verkaufen Musik- und Filmdateien und greifen das etablierte Geschäftsmodell von Filmstudios, aber auch von TV-Sendern und Musiklabels, an. In der Telekommunikation werden dagegen Nachrichtendienste wie WhatsApp immer stärker genutzt und erweitern ihr Geschäftsmodell immer mehr in Richtung der Online-Telefonie. So sind beispielsweise bereits Konferenzgespräche über den Facebook Messenger möglich.

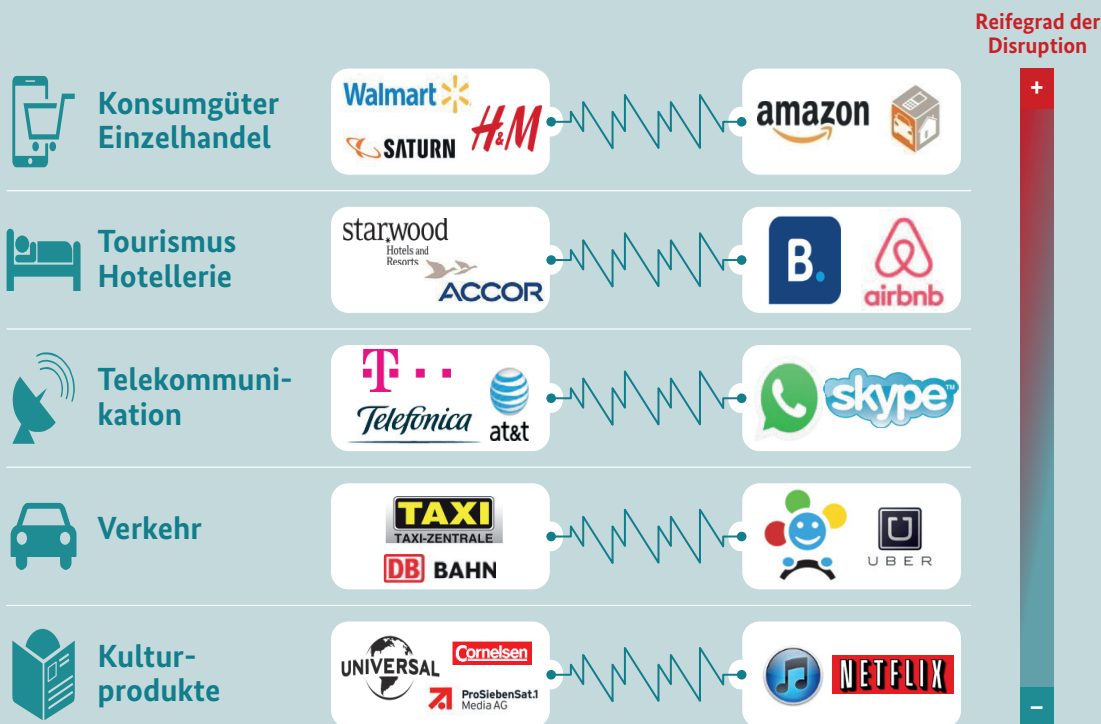
Flash-Speicher boten zunächst wenig Speicherplatz, waren relativ teuer und nicht sehr zuverlässig. Damit waren sie den traditionellen Festplatten deutlich unterlegen. Allerdings waren Flash-Speicher auch klein und mit einem geringen Stromverbrauch optimal für den Einsatz in mobilen Geräten wie Digitalkameras oder USB-Sticks geeignet. So wurden Flash-Speicher in immer mehr Geräten und Anwendungen eingesetzt. Dies förderte den Verkauf, die Produktion, aber auch die Entwicklung der Speicher, sodass diese immer günstiger und besser wurden. Heute ersetzen Flash-Speicher bereits klassische Festplatten, auch weil der Nutzer durch Cloud-Lösungen immer weniger physischen Speicherplatz auf Laptops benötigt und eher die hohe Geschwindigkeit der Speicher schätzt.

7 Christensen, Clayton M. (1997).

8 Kreutzer, Ralph T. (2017), Seite 34.

9 Siehe Fleig, Jürgen (2017).

Abbildung 68: Beispiele disruptiver Geschäftsmodelle unterschiedlichen Reifegrades



Quelle: Roland Berger (2017)

Traditionelle Unternehmensstrukturen werden flexibler

In vielen Branchen vereinfacht die Digitalisierung den Zugang zum Kunden und schafft damit die Voraussetzung für eine stärkere Kundenorientierung. Dieser Trend stellt Unternehmen vor neue Herausforderungen: Statt des traditionellen produktorientierten Herangehens müssen Unternehmen eine kundenorientierte, digitale Denkweise entwickeln. Dies erfordert die Bereitschaft zu kulturellen und strukturellen Veränderungen.

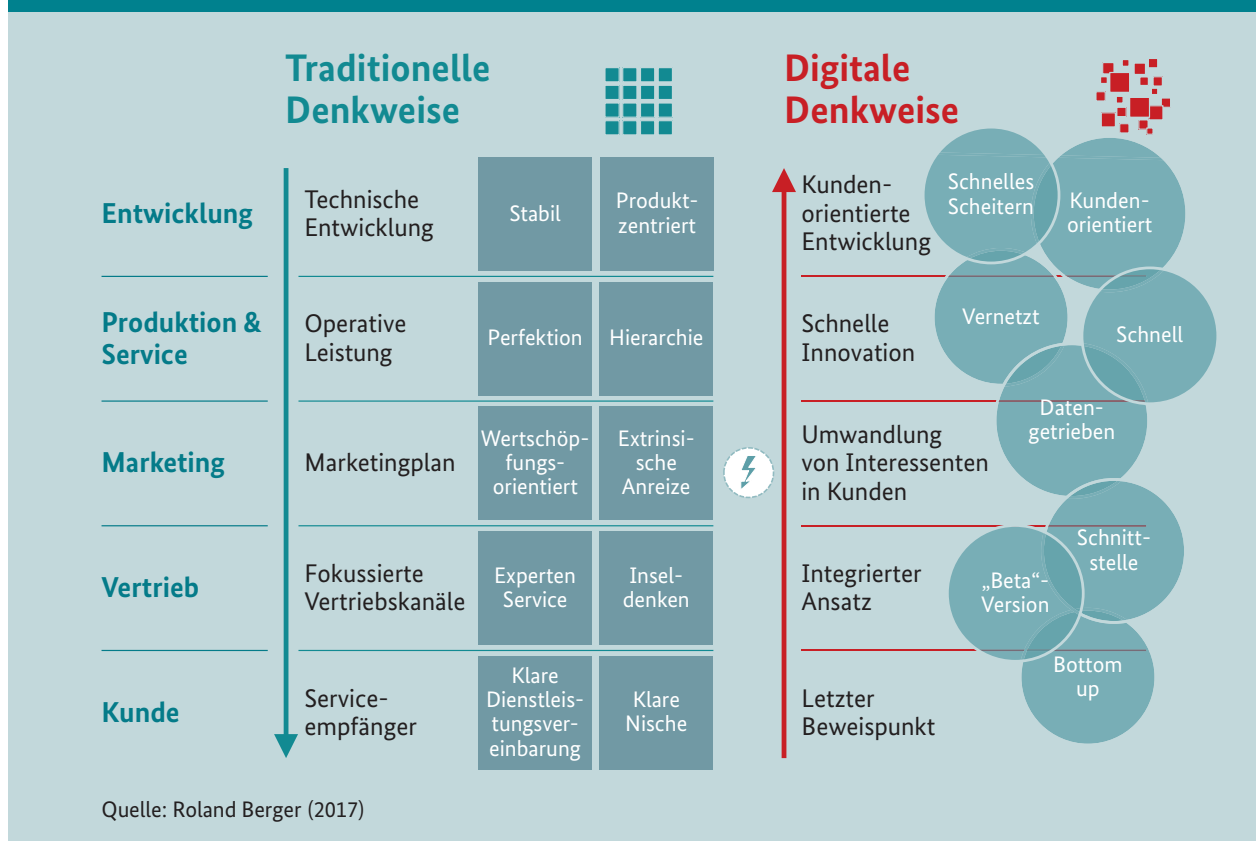
In Abbildung 69 werden die Unterschiede zwischen traditioneller und digitaler Denkweise bei unternehmerischen Entscheidungsprozessen gegenübergestellt. Deren Ausgangspunkt war früher die technische Produktentwicklung. Sie war die Basis, an der die weiteren Glieder der Wertschöpfungskette (operative Leistungserstellung, das Marketing, Vertrieb etc.) anknüpften. Die digitale Denkweise kehrt diese Perspektive um, indem sie vom Kunden und seinen (mutmaßlichen) Bedürfnissen ausgeht.

Um disruptiven Geschäftsmodellen, die das eigene Geschäftsmodell bedrohen, rechtzeitig etwas entgegenzusetzen und systemische Lösungen anzubieten, bilden Unternehmen zunehmend häufiger Allianzen. Um diese Teams aus verschiedenen Unternehmen zum Erfolg zu führen, benötigen alle beteiligten Unternehmen flexible Strukturen mit schnellen Entscheidungsprozessen.

Virtuelle Plattformen diktieren ein verändertes Marktdesign

Virtuelle Plattformen nutzen Vertriebsmöglichkeiten mit Produkten und Dienstleistungen von Fremdunternehmen. Sie besetzen die Schnittstelle zum Kunden und entwickeln sich zu einer wichtigen Verkaufsplattform für andere Unternehmen. Aufgrund dieser Stellung können sie anschließend Regeln für den Verkauf ableiten und verändern so das Marktdesign: Unternehmen agieren nur noch als Zulieferer und sind durch den fehlenden direkten Kundenzugang nicht mehr in der Lage, Daten für die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle zu generieren. Plattformen sind nicht nur Online-Marktplätze, sondern können auch Betriebssysteme oder Vergleichsportale sein.

Abbildung 69: Grundsätze und Werte – Gegenüberstellung von traditionell und digital geprägten Unternehmen



Alphabet zeigt mit seinem Betriebssystem Android, wie eine virtuelle Plattform die Spielregeln eines Marktes diktiert. App-Entwickler, die ihre Lösungen auf der Plattform anbieten wollen, müssen sich den Regeln des Plattformbetreibers unterwerfen. Sie müssen zahlreiche technische und inhaltliche Vorgaben von Android erfüllen, um überhaupt in die App-Stores aufgenommen zu werden. Und sie müssen die hohen Provisionen akzeptieren, die Google bei jedem Verkauf als Gebühr erhebt.¹⁰

Virtuelle Plattformen sind nicht nur bei Apple, Google oder Amazon zu finden. Auch Vergleichsplattformen wie Check24 verändern das Marktdesign in bestimmten Segmenten grundlegend, etwa im Strommarkt.¹¹ Kunden informieren sich nicht mehr bei Energieversorgungsunternehmen über Stromtarife, sondern vergleichen die Konditionen unterschiedlicher Anbieter auf der Plattform Check24. Auf diesem Portal können sie direkt den Tarif ihrer Wahl buchen. So verlieren die traditionellen Anbieter die Interaktion mit dem Kunden und damit den unmittelbaren Kontakt zu ihren Zielgruppen.

Neue Wettbewerber treten in die Stufen der Wertschöpfungskette

Sowohl Startups als auch etablierte Unternehmen können durch die Digitalisierung als neue Wettbewerber in bestehende Wertschöpfungsketten eintreten. Durch die Digitalisierung lernen Unternehmen ihre Kunden besser kennen und entwickeln ausgehend von deren Bedürfnissen neue Geschäftsmodelle. Dabei stellen sie fest, dass das Angebot branchenübergreifend ausgebaut werden muss. Die Unternehmen treten damit in den Wettbewerb auf neuen Märkten ein. Die dort bestehende Wertschöpfungskette etablierter Unternehmen wird unterbrochen oder teilweise durch den neuen Wettbewerber ersetzt. In vielen Fällen wird die Wertschöpfungskette dadurch kleiner. Um die Funktionen, den Mehrwert, das Produkt oder die Dienstleistung weiter anbieten zu können, erfolgt eine engere Vernetzung der Unternehmen.

¹⁰ Siehe Ramge, Thomas (2015).

¹¹ Siehe Lünendonk GmbH (2015).

Damit kann traditionellen Unternehmen nicht nur die Schnittstelle zum Kunden abhandeln kommen; möglicherweise wird auch die Wertschöpfungskette verändert. Dies wird im Bankensektor besonders deutlich. Dort agieren diversifizierte Unternehmen in bislang für sie vollkommen fremden Geschäftsfeldern unabhängig von ihrer Kerngeschäftstätigkeit. Apple Pay oder Google Wallet verändern den Zahlungsverkehr grundlegend, indem sie Bargeld, aber auch EC- oder Kreditkarten überflüssig machen. Telekommunikationsdienstleister wie die Deutsche Telekom bieten ebenfalls Lösungen für den Zahlungsverkehr an. Industriekonglomerate wie BMW oder VW bieten mit eigenen Krediten zur Finanzierung ihrer Produkte Finanzdienstleistungen an, die traditionellerweise von Banken übernommen wurden.

Auf der anderen Seite attackieren auch Startups die bisherigen Bastionen der Geldinstitute: Statt das komplette Bankengeschäft anzugreifen, fokussieren sich Startups auf einen speziellen Teil der Wertschöpfung. PayPal bietet komfortable Möglichkeiten, den Zahlungsverkehr in der digitalen Welt zu erledigen. Kickstarter oder Seedmatch verändern die Unternehmensfinanzierung, indem sie Kapital über Onlineplattformen einsammeln. Anbieter wie Auxmoney vermitteln Kredite von Privatpersonen an Privatpersonen und versuchen damit, die Banken in ihrer traditionellen Rolle als Kreditgeber anzugreifen.¹² Traditionelle Banken werden damit im besten Fall nur noch zum Mittler und verlieren den Kundenzugang und Teile der Wertschöpfung.¹³

Der Netzwerkeffekt etabliert sich als neuer Wettbewerbsvorteil

Netzwerkeffekte basieren auf der Grundlage, dass durch jeden neuen Kunden ein höherer Nutzen für alle Kunden entsteht. Mithilfe von Mehrwertdiensten und neuen Geschäftsmodellen rund um diese Netzwerke ergeben sich zwei Wettbewerbsvorteile: bessere Produkte und eine Barriere für Wettbewerber.

Die Produkte lassen sich durch die Vielzahl an Nutzern und deren Rückmeldungen, durch die Vernetzung der Geräte und das Sammeln von Daten immer weiter verbessern. Ausgehend von digitalen Daten ist auch die Entwicklung neuer Services für die Kunden denkbar. Facebook testet beispielsweise, ob neue Messenger funktionieren und weiß durch die Rückmeldung der Geräte seiner Kunden, welche Funktionen häufig genutzt werden. Diese Funktionen werden anschließend deutlich verbessert, um sich Wettbewerbsvorteile in der Produktentwicklung zu sichern.

Gleichzeitig wird die Eintrittsschwelle für Wettbewerber wesentlich erhöht. Kompatibilitätsprobleme zwischen verschiedenen Netzwerk-Plattformen sind keine Seltenheit. Für die Kunden ist es daher meistens bequemer, im vorhandenen Netzwerk zu bleiben. Apple-Nutzer gewöhnen sich beispielsweise schnell an eine kostenfreie iMessage-Funktion, die allerdings nur zwischen iPhones funktioniert. Damit ist es für Hersteller anderen Smartphones schwieriger, ihre Produkte in einer Gruppe von iPhone-Nutzern zu etablieren, dieses Phänomen ist auch als Lock-In Effekt bekannt.

¹² Siehe Roland Berger GmbH (Hrsg.) (2016a).

¹³ Siehe Roland Berger GmbH (Hrsg.) (2016b).

Entwicklungsmöglichkeiten der Digitalisierung in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

Einzelne Dienstleistungen und Produkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zu verbessern, wird immer schwieriger: Die Leitmärkte dieser Querschnittsbranche haben bereits eine fortgeschrittene Entwicklungsstufe erreicht. Umso wichtiger ist es, künftig verstärkt einen systemischen Ansatz zu verfolgen. Dabei werden Einzelkomponenten zu Systemen verknüpft, sodass ganzheitliche Lösungen entstehen. In diesem Kapitel werden exemplarisch fünf digitale Systeme betrachtet; sie alle haben große Relevanz innerhalb der GreenTech-Branche. Daran wird deutlich, wie die Digitalisierung positive Impulse für die Weiterentwicklung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz setzt, indem sie den systemischen Ansatz unterstützt und vorantreibt.

Verstärkter Systemansatz durch die Digitalisierung

Umwelttechnologien sind bereits auf einer fortgeschrittenen Entwicklungsstufe angekommen und lassen sich teilweise nur unter größten Investitions- und Forschungsanstrengungen weiterentwickeln. So ist etwa der absolute Wirkungsgrad von Solarzellen durch physikalische und technische Verluste beschränkt. Die monokristalline Siliziumtechnologie bleibt in der industriellen Fertigung seit Jahren in einem konstanten Wirkungsgradbereich. Bei alleinstehenden Photovoltaikanlagen fallen zudem Stromerzeugung und -bedarf meist zeitlich auseinander, und die Netzintegration ist aufgrund der geringen Leistung ebenfalls schwierig. Wenn jedoch das Gesamtsystem aus Stromerzeugung, -speicherung und -nutzung betrachtet wird, ergeben sich durchaus noch Verbesserungspotenziale.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auch in der Automobilindustrie. Das Potenzial bautechnischer Effizienzsteigerungen im Bereich der Verbrennungsmotoren ist fast ausgereizt. Bei alternativen Antrieben wie Elektrofahrzeugen würde es zu kurz greifen, nur den Motor oder das Fahrzeug neu zu denken, auch die Umgebung muss mit einbezogen werden. Dazu gehört eine Ladeinfrastruktur genauso wie innovative Kundenzugänge, um klima- und umweltverträgliche Mobilitätslösungen anbieten zu können.

Die Beispiele der Solarstromerzeugung und der Elektromobilität illustrieren die komplexen Herausforderungen des Klima- und Umweltschutzes, die mit Einzellösungen schwer zu meistern sind. Systemische Lösungen sind deshalb zunehmend gefragt. Die dabei

erforderliche technologie- und disziplinübergreifende Herangehensweise ist der DNA der GreenTech-Branche immanent, denn die Vernetzung und die Kooperation über die Grenzen einzelner Fachrichtungen hinweg zählen zu den typischen Merkmalen einer Querschnittsbranche wie der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz.

Nun entwickelt sich die Digitalisierung immer stärker zu einem Treiber der Systembildung: Die vier Hebel der Digitalisierung (Digitale Daten, Vernetzung, Automatisierung, digitaler Kundenzugang) schaffen die Grundlage für innovative Systeme, mit deren Hilfe Umwelt- und Klimaschutzziele erreichbar werden.

Die Digitalisierung erhöht dabei das Datenvolumen. Immer mehr Sensoren in Geräten und Anlagen sammeln Daten. Deren Menge nimmt nicht zuletzt dadurch zu, dass die Datenerfassung in immer kürzeren Zeiträumen und damit am Ende in Echtzeit erfolgt. In einem vernetzten System werden diese Daten zu einer Steuerungszentrale übertragen.

Einer der wichtigsten Hebel ist dabei die Vernetzung der einzelnen Systemkomponenten. Eine leistungsfähige Vernetzung (Breitband) macht den Datenaustausch und eine Steigerung des Übertragungsvolumens überhaupt erst möglich. Für die stationäre Übertragung großer Datenmengen ist eine Breitband-Anbindung zwingend notwendig. Gleichzeitig wird auch die mobile Verwendung von Datenübertragungen benötigt. Durch die Weiterentwicklung von LTE zu 5G ist eine mobile Übertragungsrate von 10.000 MBit/s in greifbarer Nähe gerückt. Zusätzlich können Techniken wie NFC (Near Field Communication), ein neuer Funkstandard zur Datenübertragung, zum Einsatz kommen, um eine einfache Kommunikation zwischen Sensoren in einem Gerät zu ermöglichen.

Ausgehend von dem schnelleren, präziseren und einfacheren Austausch zwischen Geräten können sich selbstorganisierende Systeme entwickelt werden. Diese können sowohl die Genauigkeit als auch die Geschwindigkeit der auszuführenden Arbeiten erhöhen und tragen damit gleichzeitig zur Reduktion von Betriebskosten bei. Einen entscheidenden Beitrag liefert dabei die Kombination von klassischer Technologie mit künstlicher Intelligenz. Die Automatisierung ist damit ein entscheidender Treiber für den systemischen Ansatz in der Umwelttechnologie.

Digitalisierung und Rebound-Effekte

Ein effizienter Einsatz von Energie, Rohstoffen und Wasser ist die Grundlage für den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen, wobei Kosteneinsparungen häufig ein willkommener Nebeneffekt sind. Zu den unerwünschten Folgen verbesserter Effizienz zählt der sogenannte Rebound-Effekt. Er „beschreibt die Differenz zwischen der theoretisch zu erwartenden Einsparung durch eine Effizienzmaßnahme und der tatsächlichen erreichten Einsparung“.¹⁴ Am Beispiel einer LED wird deutlich, wie ein Gerät mit höherer Energieeffizienz das Kauf- und Nutzungsverhalten beeinflussen kann: Wird eine herkömmliche Glühlampe durch eine LED ersetzt, würde der Stromverbrauch bei gleicher Leuchtleistung sinken. Wenn nun jedoch zwei LED statt einer konventionellen Glühlampe installiert werden, entsteht der Rebound-Effekt (Mehrnutzung). Auch intensivere Nutzung (Einsetzen einer LED mit mehr Leuchtkraft) oder die häufigere Nutzung (die Lampe brennt länger) sind Spielarten des Rebound-Effekts.

Es wird zwischen direkten und indirekten Rebound-Effekten unterschieden. Beim direkten Rebound-Effekt wird „von dem effizienteren Gut oder der Dienstleistung [...] nach der Effizienzsteigerung mehr, häufiger oder intensiver konsumiert und damit ein Teil der Energieeinsparungen unmittelbar kompensiert“, so die Definition des Umweltbundesamts.¹⁵

Direkte Rebound-Effekte sind denkbar, wenn die energieeffizienten Lösungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz nicht dem Bedarf angepasst genutzt werden. Wird zum Beispiel eine Produktionsanlage nicht dann eingeschaltet, wenn ein digital vernetztes System es empfiehlt, können natürlich auch die Effizienzpotenziale nicht realisiert werden. Auch die verstärkte Nutzung von Car Sharing statt öffentlicher Transportmittel, die noch energieeffizienter wären, kann zu direkten Rebound-Effekten führen. Ebenso ist der steigende Energiebedarf durch die vermehrte Nutzung von elektronischen Geräten im Rahmen der Digitalisierung den direkten Rebound-Effekten zuzuordnen. Einerseits schaffen digitale Angebote überhaupt erst die Voraussetzungen für energieeffiziente Lösungen, andererseits tragen sie auch zu einer Steigerung des Ressourcenverbrauchs bei (siehe dazu auch die Info-Box „Obsoleszenz“, Seite 81).

Die Digitalisierung kann auch zu indirekten Rebound-Effekten führen, sowohl auf der mikro- als auch auf der makroökonomischen Ebene. So haben etwa die Nutzer von energieeffizienten Gebäudelösungen durch ihre Einsparungen beim Energieverbrauch mehr Geld zur Verfügung, das sie anderweitig ausgeben können – etwa für Fernreisen per Flugzeug mit einem entsprechend hohen CO₂-Fußabdruck. Für Unternehmen bieten die Einsparpotenziale durch Effizienzsteigerungen beim Energie- und Materialverbrauch die Chance, zusätzliche Investitionen in Sachgüter oder die Ausweitung der Produktion zu tätigen – was wiederum zu einem erhöhten Energieaufwand führen kann, wenn dadurch nicht andere Produktarten oder Produkte anderer Hersteller verdrängt werden. Auf makroökonomischer Ebene können Effizienzsteigerungen die Produktivität insgesamt erhöhen und so zu einem stärkeren Wirtschaftswachstum beitragen, was wiederum den gesamtwirtschaftlichen Energieaufwand steigern kann. Zudem kann ein sinkender Energieverbrauch durch Energieeffizienz auch zu sinkenden Marktpreisen für Energie führen, was wiederum eine erhöhte Nachfrage nach der günstigen Energie durch andere Akteure nach sich ziehen kann.¹⁶ Es ist sogar möglich, dass die Rebound-Effekte die Verbrauchsreduzierung aufheben und übersteigen (sogenanntes „Backfire“).

Die empirische Abschätzung von Rebound-Effekten hängt von den verwendeten Methoden und einbezogenen Effekten ab. Eine Abgrenzung von Wachstums- und Strukturwandeleffekten erscheint besonders schwierig. Dementsprechend ist die Bandbreite der Effekteinschätzungen in den unterschiedlichen Studien sehr groß. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind die Art der genutzten Produkte und Dienstleistungen, die Sättigung mit Gütern oder die Höhe der Einkommen. Beobachtungen zeigen etwa, dass in Ländern mit hohem Einkommen die direkten Rebound-Effekte vergleichsweise geringer ausfallen als in Entwicklungsländern, wo das zusätzliche Einkommen häufig direkt für weiteren Konsum und damit auch zur Steigerung der Lebensqualität verwendet wird. Schätzungen für Rebound-Effekte bei der Raumerwärmung schwanken zwischen 10 und 30 Prozent der veranschlagten Einsparpotenziale. Im Bereich des Verkehrs deuten Studien daraufhin, dass die Rebound-Effekte etwa bei 20 Prozent liegen. Der konkrete Umfang des jeweiligen Rebounds hängt jedoch stark von den spezifischen Rahmenbedingungen ab und lässt sich durch verschiedene Instrumente reduzieren.

14 Umweltbundesamt (2016f), Seite 4.

15 Ebenda.

16 Siehe Umweltbundesamt (2014).



Die Digitalisierung bietet neue Ansätze, Rebound-Effekten entgegenzuwirken: Dematerialisierung, Information und Automatisierung. Die Dematerialisierung vieler Produkte und Prozesse im Zuge der Digitalisierung kann zu Rebound-Effekten führen, die sich jedoch vor allem in der digitalen Welt manifestieren.¹⁷ Beispielhaft dafür kann die Musikindustrie stehen: Zwar sind Anzahl und Varianz der verkauften Musiktitel durch die Digitalisierung gestiegen, allerdings sind physische Tonträger wie die CD nahezu obsolet geworden.

Zudem bieten digitale Daten und der digitale Kundenzugang die Chance, Rebound-Effekte viel besser zu verstehen als bisher und damit wirksame Lösungsansätze und effektive sparsame Verhaltensmöglichkeiten zu entwickeln. Durch die spielerische Funktionsweise von Apps, durch die Verbindung in sozialen Netzwerken oder durch die visuelle Aufbereitung von Daten können dank der Digitalisierung wirksame Anreize gesetzt werden, um Rebound-Effekte zu mindern.

Aber auch die Automatisierung in den systemischen Lösungen der digitalen Umwelttechnologie erleichtert zunehmend die effiziente Steuerung. Viele Anlagen können digitale Daten selbst verarbeiten und so zu einer Eigen- beziehungsweise Prozessoptimierung führen. Durch diese vorprogrammierte Optimierung lassen sich direkte Rebound-Effekte nahezu ausschließen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Rebound-Effekte als potenzielle Hemmnisse bei der Erzielung von Einsparpotenzialen stets in Betracht gezogen werden müssen. Nichtsdestotrotz können sie genauso wenig wie die Effizienzpotenziale isoliert betrachtet werden, sondern sind in einen weit größeren Kontext eingebettet. Die Digitalisierung birgt ein vielversprechendes Potenzial, um Rebound-Effekte zu verhindern oder zumindest deutlich zu mindern. Dieses Potenzial basiert auf mehreren Faktoren: Erkenntnisse aus digitalen Daten, Automatisierung von Systemlösungen mit der aktiven Verhinderung von Fehlerquellen sowie der Möglichkeit, über den digitalen Kundenzugang vollkommen neue Arten der Interaktion mit dem Nutzer zu erzielen.¹⁸

¹⁷ Siehe Patrignani, N./Kavathatzopoulos, I. (2016).

¹⁸ Siehe Deutscher Bundestag (2014).

Digitale Systeme mit Relevanz für die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz

Die Digitalisierung entwickelt sich zunehmend zu einem Enabler („Ermöglicher“) der Systembildung. Dabei schaffen die vier Hebel der Digitalisierung (digitale Daten, Automatisierung, digitale Kundenschnittstelle, Vernetzung) die Grundlage für innovative digitale Systeme. Gleichzeitig entwickeln sich neue Produkte und Dienstleistungen sowie innovative Nutzungsmöglichkeiten für bestehende Komponenten. Die digitalen Systeme, die auf den folgenden Seiten vorgestellt werden, haben als Gemeinsamkeit ein erhebliches Umweltentlastungspotenzial. Umweltentlastungspotenzial wird als Umweltentlastungswirkung aufgefasst, die durch den Gebrauch, die Anwendung beziehungsweise Inanspruchnahme eines Produktes, Verfahrens oder einer Dienstleistung realisiert wird. Beispielsweise haben erneuerbare Energien grundsätzlich ein hohes Umweltentlastungspotenzial bezogen auf den Klimaschutz.

Konkret gehen die folgenden Abschnitte auf fünf digitale Systeme ein: Connected Energy, Connected Information Network, Industrie 4.0, Urban Connected Mobility und Smart Grid. Zu jedem dieser digitalen Systeme werden die spezifischen Inhalte definiert, etablierte und neue Unternehmen und Geschäftsmodelle vorgestellt sowie unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten bewertet.

Connected Energy

Gebäude haben in Deutschland einen Anteil von etwa 40 Prozent am gesamten Endenergieverbrauch, sei es durch das Heizen oder Kühlen von Räumen oder den direkten Stromverbrauch von Geräten.¹⁹ Die Verbesserung der Energieeffizienz von Immobilien ist deshalb ein wesentlicher Beitrag, um den Energieverbrauch zu senken und damit die Treibhausgasemissionen zu mindern. Ein wichtiger Hebel ist dabei das Energiemanagement, und zwar nicht nur von Wohngebäuden, Stichwort „Smart Home“, sondern auch in der Industrie sowie im Bereich Gewerbe, Handel und Dienstleistungen. Durch technologische Fortschritte haben Gebäude inzwischen ihre Rolle als reine Konsumenten von Energie verändert und können auch Energie in Form von Strom und Wärme gewinnen. Immobilien haben sich also zu Energie-„Prosumern“ gewandelt. Dies und die zunehmende Vernetzung ermöglichen den Aufbau des digitalen Systems Connected Energy (siehe Abbildung 70).

Das digitale System Connected Energy umfasst dabei die Einzelkomponenten von Stromerzeugern, Stromspeichern und Stromverbrauchern bis hin zur Wechselwirkung mit Nutzern, Mobilität und Energieversorgern (blaue Elemente, siehe Abbildung 70). Für die Erzeugung von Strom und Wärme kommen beispielsweise Solar-, Windkraft- und Geothermieranlagen infrage. Der erzeugte Strom kann entweder in einen Speicher geladen oder direkt verbraucht werden. Um den Eigenverbrauch zu optimieren, stehen energieeffiziente Systeme zur Verfügung. So nutzen beispielsweise Wärmepumpen und Klimaanlage heute schon interne Thermostate oder lassen sich zeitlich vom Nutzer programmieren.

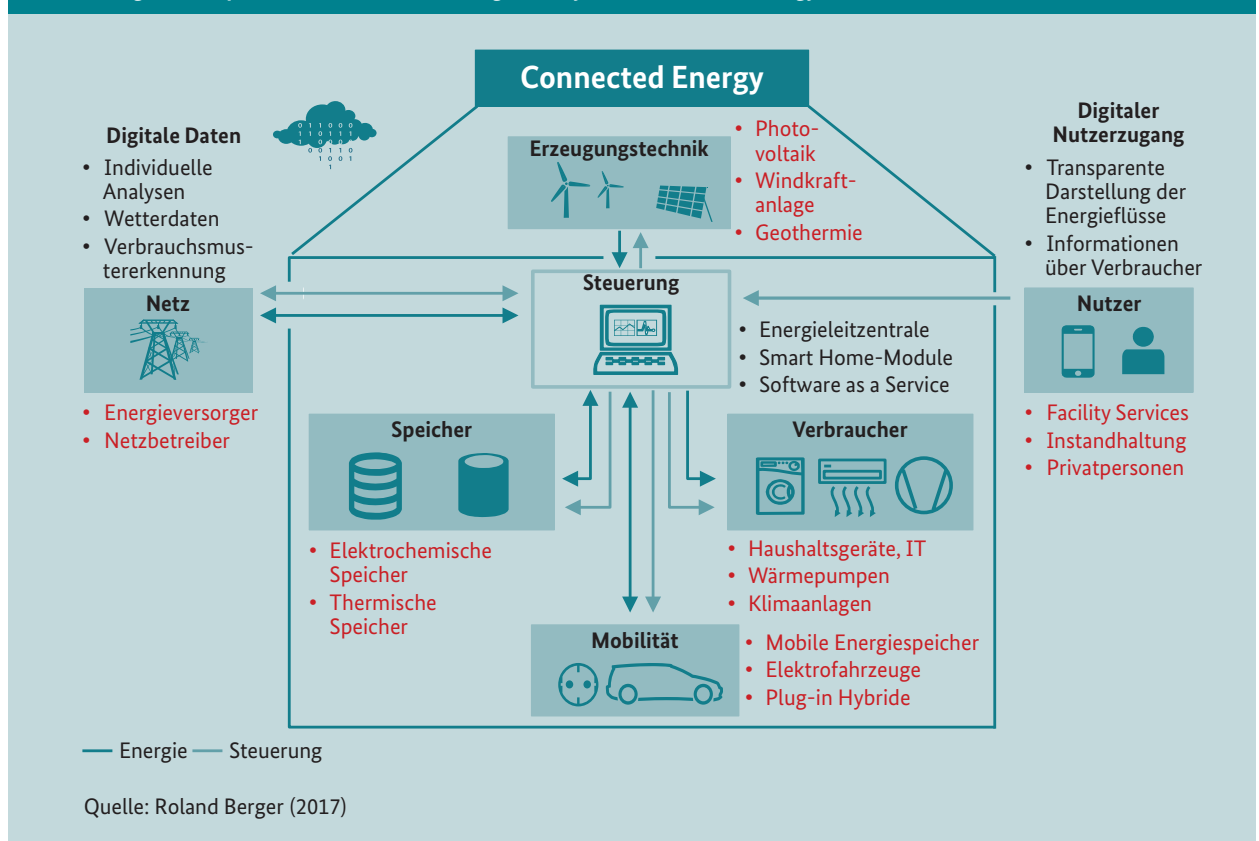
Kann die Energie weder selbst verbraucht noch gespeichert werden, besteht durch die Anbindung an das Stromnetz die Möglichkeit, den Strom am Markt zu verkaufen. Durch die digitale Transformation werden die Verknüpfung der Einzelkomponenten und ihre Steuerung weiter verstärkt (graue Elemente, siehe Abbildung 70). Dabei sind die vier Hebel der digitalen Transformation die Grundlage des Systems.

Die Vernetzung aller Komponenten kombiniert die intelligente Erzeugung, Speicherung und den intelligenten Verbrauch von Strom. Vernetzte Photovoltaikanlagen in Kombination mit Energiespeichern tragen dazu bei, dass umweltfreundliche Energie effektiv eingesetzt werden kann. Dabei sorgen mit dem Strommarkt verknüpfte Speicher nicht nur dafür, dass die Energie dann zur Verfügung steht, wenn sie gebraucht wird, sondern auch für eine Verbesserung des Lastenmanagements und die Optimierung der Netzanbindung. Es wird automatisch entschieden, ob Strom in das Netz eingespeist wird, mobile und stationäre Speicher genutzt werden oder ob ein sofortiger Verbrauch sinnvoll ist.

Digitale Daten helfen, die Verbrauchsgewohnheiten der Nutzer zu erfassen, das Energiemanagement zu optimieren und so Einsparungen im Energieverbrauch zu realisieren. Durch Wetterdaten und Verbrauchsmustererkennung kann die Wärmesteuerung so angepasst werden, dass die thermischen Speicher genau dann geladen sind, wenn die Energie auch benötigt wird. Wird aufgrund des Wetters und der Nutzungsgewohnheiten nicht mit Heizbedarf gerechnet, kann die Energie anderweitig genutzt werden.

¹⁹ Siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014).

Abbildung 70: Komponenten und Aufbau des digitalen Systems Connected Energy



Die Automatisierung führt dazu, dass eine Selbststeuerung von Energieflüssen möglich wird. Eine manuelle Bedienung von Wärmepumpen, Ventilen, Klimaanlage oder Lüftungsmechanismen – etwa das Öffnen von Fenstern – ist nicht mehr nötig. Die Automatisierung vereinfacht und erschließt zusätzliche Energieeinsparpotenziale.

Der digitale Nutzerzugang ermöglicht es, Informationen über die Energiesysteme des Gebäudes zu erhalten. Die Informationen schaffen Transparenz und Bewusstsein für einen verantwortungsvollen Umgang mit Energie und vermeiden durch die Darstellung des gesamten Energieverbrauchs die Fokussierung auf anlagenbeschränkte Optimierungen.

Unternehmen innerhalb des digitalen Systems

Das Zusammenspiel einer Vielzahl von Komponenten im System Connected Energy erfordert völlig unterschiedliche Kompetenzen der beteiligten Akteure (siehe Abbildung 71). Speichertechnologien werden etwa von Vaillant und LIACON Batteries angeboten, während Lösungen zur Steuerung und Vernetzung der einzelnen Komponenten zu den Kompetenzen von Southern Electric oder homee gehört. Unternehmen wie Buderus oder Viessmann bieten Verbrauchsgeräte an, IBC Solar stellt Photovoltaik-Systeme her, während Ebee wiederum intelligente Ladeinfrastruktur entwickelt. Viele Unternehmen fokussieren sich somit auf Sub-Segmente und setzen auf Wettbewerbsvorteile durch Spezialisierung und Detailkenntnisse.



Neben der großen Zahl von Akteuren im System Connected Energy sticht die Heterogenität der Unternehmenstypen hervor. Unternehmen unterschiedlicher Branchen treffen aufeinander und finden sich in einer neuen Konkurrenzsituation wieder. Autohersteller wie BMW oder Daimler wollen ein neues Geschäftsfeld rund um Speichertechnologien aufbauen und planen, gebrauchte und neue Batterien von Elektrofahrzeugen als Batteriespeicher für Eigenheime und Gewerbe anzubieten. Tech-Giganten wie Apple und Google dringen mit ihren Produkten HomeKit und Nest in den Markt für ein vernetztes Zuhause, während IT-Dienstleister wie die Deutsche Telekom oder CISCO durch Kommunikationslösungen für Steuerungsgeräte neue

Positionen einnehmen. Traditionelle Energieversorger bieten Steuerungs- und Vernetzungsmöglichkeiten an und agieren so parallel zu Entwicklern von virtuellen Kraftwerken. Die unterschiedlichen Hintergründe der Unternehmen sind Treiber für die Digitalisierung im System Connected Energy.

Startups besetzen dabei die Schlüsselpositionen der Digitalisierung und übernehmen häufig die Vernetzung oder Datenverwaltung. Sie nutzen somit das Potenzial der bereits existierenden Geräte. Indem sie diese Schnittstellen besetzen, sind diese Unternehmen auch ohne die Entwicklung explizit neuer Technologien wesentliche Ermöglicher der Digitalisierung.

Abbildung 71: Digitales System Connected Energy – Segmentierung und Unternehmensbeispiele



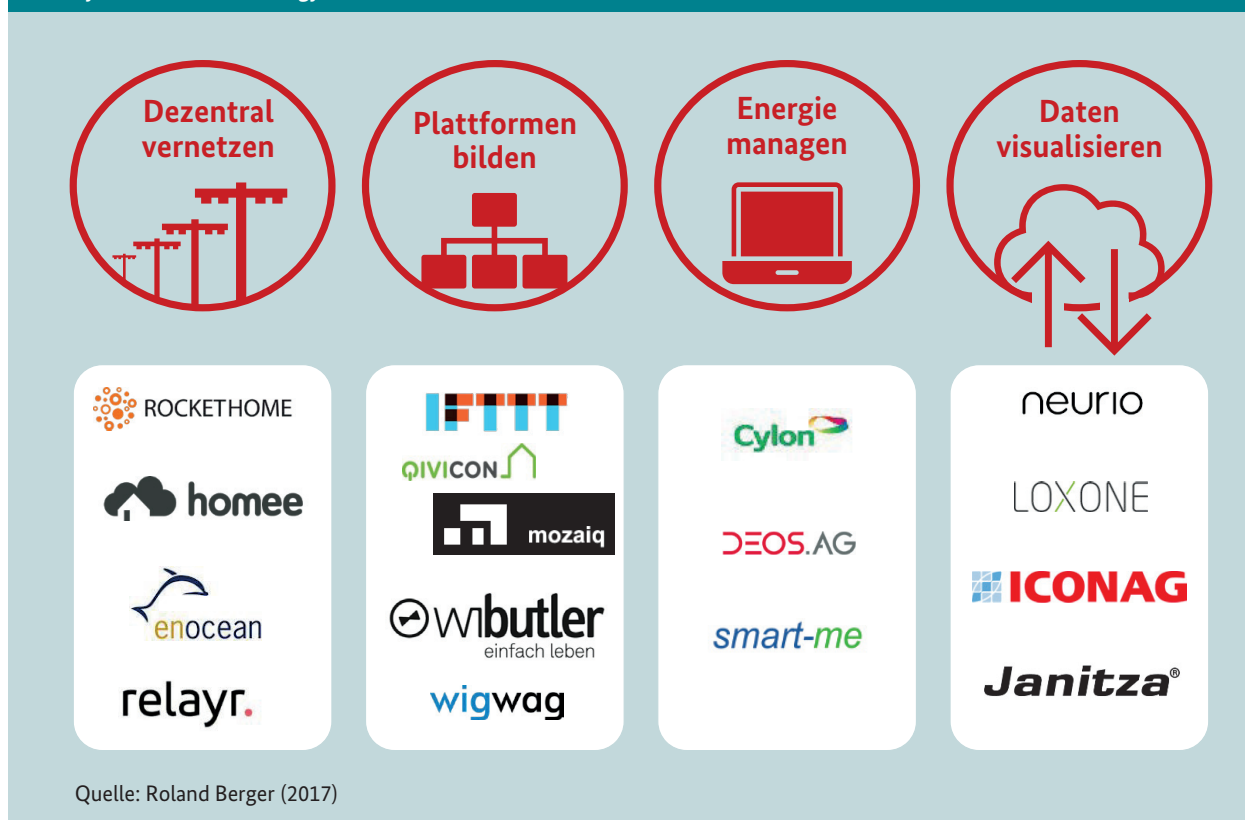
Neue Geschäftsmodelle

Entlang der digitalen Systeme entstehen kontinuierlich neue Geschäftsmodelle, die sowohl von etablierten Unternehmen als auch von Startups besetzt werden. Sie leisten einen signifikanten Beitrag zum Aufbau der digitalen Systeme und beschleunigen deren Weiterentwicklung. Im Folgenden haben wir exemplarisch Unternehmen mit innovativen Geschäftsmodellen in vier Kategorien geclustert: dezentrale Vernetzung, Plattformen schaffen, Verbrauch managen und Daten visualisieren (siehe Abbildung 72).

Die dezentrale Vernetzung ist die Grundlage dafür, dass Komponenten im System Connected Energy mittels Übertragungstechnik interagieren können. Das Funktechnologie-Unternehmen EnOcean bietet batterielose Funklösungen (Schalter und Sensoren) an.²⁰ Dahinter steckt die Idee der Nutzung von Energiezustandsänderungen: Vorgänge wie das Drücken eines Schalters, eine Änderung der Temperatur oder der Beleuchtung erzeugen die benötigte Energie für die Übertragung von Funksignalen. EnOceans Produkte kommen primär in der Gebäudeautomation und in der Machine-to-

²⁰ Siehe EnOcean GmbH (2017).

Abbildung 72: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Connected Energy



machine-Kommunikation zum Einsatz. Die Vision des Unternehmens ist es, winzige Funkmodule zu entwickeln, die direkt in Maschinenteile eingegossen werden können.

Das Geschäftsmodell der Plattformen nutzt vernetzbare Sensoren und Geräte, um eine automatische Steuerung zu ermöglichen. Anbieter wie QIVICON bringen die unterschiedlichsten Geräte verschiedener Marken unter ein technisches Dach.²¹ Sie ermöglichen, marken- und geräteübergreifende Kombinationen zu steuern, zu kontrollieren und zu automatisieren. Zu den Partnerunternehmen von QIVICON gehören Energieversorger und diverse Hersteller von Geräten für Haushalt, Heim und Garten ebenso wie Telekommunikationsunternehmen und Anbieter von Sicherheitslösungen.

Das Energiemanagement für Gebäude wird von Unternehmen wie Cylon angeboten.²² Die Firma hat ein Energieüberwachungssystem entwickelt, Active Energy SaaS, das zusammen mit einem offenen System für

die Einbindung von Gebäudesteuerungsanlagen ein aktives Energiemanagement betreiben kann. Dabei beinhaltet das Toolkit eine Berichtsfunktion, die in Echtzeit Daten über Energienutzung und -verbrauch liefert. Es ist in der Lage, Erhöhungen des Stromverbrauchs gerätespezifisch festzustellen.

Die visuelle Datenaufbereitung ist eine elementare Voraussetzung, um die Vielzahl von Daten für den Endnutzer und die Steuerung verständlich und überhaupt möglich zu machen. Das Unternehmen ICONAG begegnet dieser Herausforderung mit vier Produkten im Bereich der Visualisierung: dem Visualisierungs-Editor, der Alarmaufbereitung, digitalen Zeitschaltuhren und graphischen Datenloggern.²³ Mit dem Visualisierungeditor stellt die Firma eine Software zur Verfügung, die eine Visualisierung von Datenpunkten in einer Baumstruktur ermöglicht. Gleichzeitig kann sich der Nutzer von einer Symbol-Bibliothek bedienen, um eine individuelle Bediensoftware auf Touch-Panels, Notebooks oder mobilen Anwendungen zu entwerfen.

²¹ Siehe Deutsche Telekom AG (2017).

²² Siehe Cylon (2017).

²³ Siehe ICONAG Leittechnik GmbH (2017).

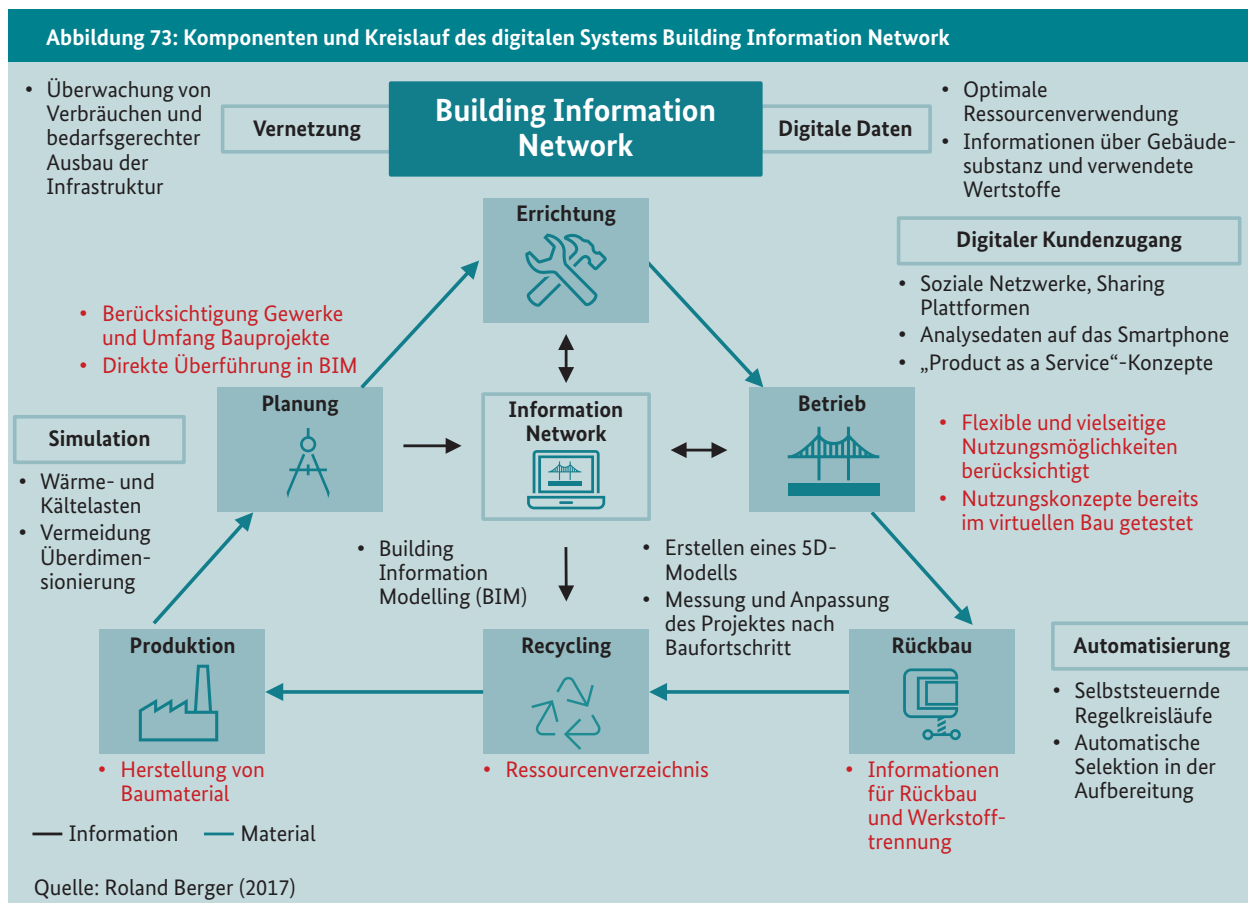
Building Information Network

Bei Betrachtung der Materialströme wird deutlich, wie immens hoch der weltweite Ressourcenverbrauch im Bausektor ist: Etwa die Hälfte der gesamten Rohstoffentnahmen weltweit fließt in das Bauwesen. Von den mineralischen Rohstoffen sind es sogar 80 Prozent.²⁴ Gebäude werden aber nicht nur errichtet, sondern auch wieder abgerissen: Auf die Demontage entfallen rund 50 Prozent der globalen Abfallmengen. Die gebaute Infrastruktur hat damit einen signifikanten Einfluss auf die Entwicklung des Umwelt- und Ressourcenschutzes.

Auch in Deutschland hat die Baubranche einen erheblichen Anteil am Rohstoff- und Materialverbrauch. Jährlich werden etwa 535 Millionen Tonnen mineralische Rohstoffe für die Produktion von Baustoffen und Bauprodukten verwendet, davon etwa zwei Drittel Feldsteine und Kiese, knapp ein Viertel Sande; der Rest entfällt auf Kalk, Gips und andere Kategorien.²⁵

Von den rund 400 Millionen Tonnen Abfallaufkommen, die die Statistik für Deutschland ausweist, entfällt mit 209 Millionen Tonnen über die Hälfte auf Bau- und Abbruchabfälle. Deren Recyclingquote liegt bei 88 Prozent, jedoch wird davon nur gut ein Drittel einer hochwertigen Wiederverwendung zugeführt.²⁶ Ein Großteil des aufbereiteten Bauabfalls wird zur Verfüllung im Straßenbau und im Deponiebau genutzt.²⁷ Es handelt sich hierbei fast ausschließlich um ein Downcycling, also die Umwandlung des Ausgangsprodukts zu einem qualitativ schlechteren Endprodukt.

Der Weg zu einer Reduktion des Ressourcenverbrauchs im Bausektor führt über die Verbesserung der Ressourceneffizienz. Wesentlich ist dabei, die Ressourcenproduktivität über den gesamten Lebenszyklus hinweg zu erhöhen, also von der Planung über die Produktion und Auswahl der Baustoffe bis hin zum Betrieb und Rückbau beziehungsweise Recycling der gebauten Infrastruktur.



²⁴ Siehe SERI Nachhaltigkeitsforschung und -kommunikations GmbH (2012).

²⁵ Siehe Umweltbundesamt (2016a), Seite 14.

²⁶ Siehe Statistisches Bundesamt (2017d).

²⁷ Siehe Knappe, Florian / Lansche, Jens (2010).

Eine wirkungsvolle Steigerung der Ressourceneffizienz erfordert eine engere Vernetzung entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Bausektor sowie eine systematische Erfassung und Verknüpfung der relevanten Daten auf jeder einzelnen Wertschöpfungsstufe. Die Digitalisierung liefert dazu die notwendigen Voraussetzungen und ermöglicht den Aufbau eines digitalen Systems Building Information Network.

Die Digitalisierung innerhalb dieses Systems wird primär durch die Vernetzung der verschiedenen Akteure sowie deren Produkte und Dienstleistungen getrieben. Daten aus Planung, Baustoffproduktion, Errichtung, Betrieb und Recycling werden systematisch erfasst, ausgewertet und sämtlichen Akteuren aufbereitet zur Verfügung gestellt. Das digitale System Building Information Network wird damit zum digitalen Vernetzungssystem von Bauprozessen, das auf der datenbasierten Analyse des gesamten Immobilienlebenszyklus fußt (siehe Abbildung 73). Herzstück ist ein digitales Datenmodell und Abbild der Immobilie (cyber-physisches System). Ob Bauherr, Architekt, Tragwerksplaner, Baubehörden, Facility Manager, Bauunternehmen, Baustoffhersteller, Abbruch- oder Recyclingunternehmen: Im Idealfall haben alle Akteure entlang der Wertschöpfungskette Zugriff auf das zentrale 5D-Modell inklusive der Informations-Datenbanken und können damit arbeiten.

Mit dem durch die Digitalisierung getriebenen Ausbau des digitalen Systems Building Information Network ist ein signifikanter Beitrag zur Steigerung der Ressourceneffizienz im Baubereich verbunden. Dies wird besonders deutlich, wenn man den Rückbau von Gebäuden betrachtet. So liefert das digitale System Building Information Network umfangreiche Informationen über die verbauten Materialien und erleichtert somit bereits bei den Abbrucharbeiten die Identifikation und Selektion höherwertiger Rohstoffe. Zudem wird die gezielte Planung und Durchführung des Baustoff-Recyclings verbessert.

Der Anreiz zu einer Verbesserung der Ressourceneffizienz beginnt schon bei der Planung und Materialauswahl. Der Verzicht auf komplexe Verbundwerkstoffe, die besondere Berücksichtigung von rezyklierbaren Baumaterialien und demontierbaren Bauteilen schaffen die Voraussetzung für ein höherwertiges Recycling und eine weitere Erhöhung der Recyclingquote.²⁸

Zudem wird die Schadstofffreiheit zu einem relevanten und transparenten Auswahlkriterium für Baumaterialien. Die systematische ökologische Erfassung und Bewertung von Baustoffen forciert damit einen Umstieg auf Produkte und Rohstoffe, die das Ökosystem Erde mit einem geringeren ökologischen Fußabdruck belasten. Dazu gehören insbesondere der verstärkte Einsatz von Baumaterialien auf Basis nachwachsender Rohstoffe (zum Beispiel bei Farben, Lacken, Dämmstoffen) und die Wahl von Baumaterialien, bei deren Herstellung besonders material- und energieeffiziente Verfahren eingesetzt werden. Im Ergebnis lassen sich so nicht nur Kosten vermeiden, etwa für die Entsorgung von Sondermüll, sondern die gebaute Infrastruktur kann auch als Rohstofflager für zukünftige Projekte gestaltet werden. Dies wäre ein wichtiger Schritt, um den Cradle-to-Cradle-Ansatz in der Bau- und Immobilienwirtschaft umzusetzen.

Einen weiteren Hebel zur Steigerung der Ressourceneffizienz von Immobilien stellen Verbesserungen im Planungsprozess dar. Digitale Gebäudemodelle ermöglichen eine realitätsnahe Simulation der Betriebsphase und liefern im Ergebnis sehr detaillierte Aussagen beispielsweise zu den tatsächlichen Wärme- und Kältebelasten. Damit lassen sich Überdimensionierungen von baulichen und technischen Anlagen gezielt vermeiden beziehungsweise nachträglich teure und ineffiziente Nachrüstungen ausschließen.²⁹

Die Automatisierung erhöht in der Aufbereitung von Baustoffen den Anteil von recycelbaren Bestandteilen. Intelligente Robotik und Sensortechnik ermöglichen die effektive Sortierung und Verwertung. Die unterschiedlichen wiederverwertbaren Materialien können so schnell und zielgerecht identifiziert, getrennt und weiterverarbeitet werden.

Auch in der Betriebsphase bringt das digitale System Building Information Network Vorteile: Durch eine bedarfsgerechte Flächennutzung (digitale Flächennutzungsplanung), die Vermeidung von Leerständen und die risikobasierte Durchführung von Instandhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen an baulichen und technischen Anlagen (predictive and condition based maintenance) lassen sich Effizienzpotentiale realisieren.

28 Siehe Lacy, Peter / Rutqvist, Jakob / Buddemeier, Philipp (2015).

29 Siehe Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2015).

Unternehmen innerhalb des digitale Systems

Innerhalb des digitalen Systems Building Information Network wirken sämtliche Akteure entlang des Immobilienlebenszyklus mit (siehe Abbildung 74). Dazu zählen die etablierten Unternehmen, die durch die Erweiterung ihres Leistungsangebots die Möglichkeiten der Digitalisierung nutzen. In der Betriebsphase sind das insbesondere verbesserte Wartungsangebote (zum Beispiel durch remote control und predictive maintenance) oder erweiterte Energieeffizienzdienstleistungen der Facility-Management-Anbieter (Disaggregation von Energieverbrauch durch Big Data). In der Planungsphase greifen Ingenieurbüros zunehmend auf komplexe Datenmodelle bei der Berechnung und Simulation zurück. Ihr Beitrag im Sinne der Vernetzung und Integration beschränkt sich aber im Wesentlichen auf die eigene Wertschöpfungsstufe und führt eher zu einer vertikalen Vertiefung.

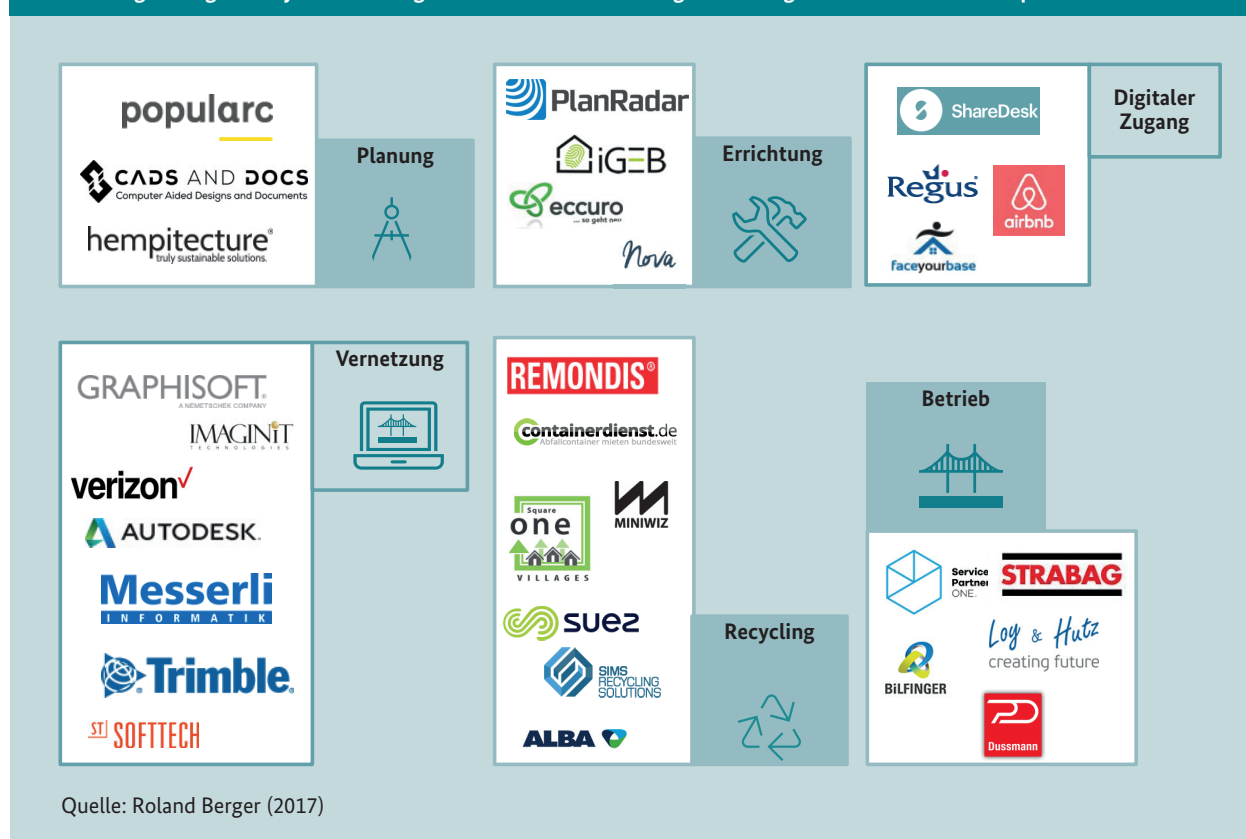
Neue Marktteilnehmer besetzen gezielt die Rolle des zentralen Datenmanagements und ermöglichen eine horizontale Vernetzung. Hier konkurrieren die Anbieter von Bausoftware (beispielsweise Softtech oder

Autodesk) mit branchenfremden Akteuren, etwa dem Telekommunikationsunternehmen Verizon oder der Geodaten-Firma Trimble.

Im Bereich Recycling sind die klassischen Dienstleister wie Remondis, Alba und Suez aktiv, die sich insbesondere auf die Aufbereitung herkömmlicher Bauabfälle fokussieren. Innovative Baustoffhersteller, die auf Basis unterschiedlicher Abfallfraktionen völlig neue Baustoffe herstellen, leisten einen wesentlichen Beitrag für ein höherwertiges Recycling; zu diesen Unternehmen zählt beispielsweise Miniwiz mit einem Wandbaumaterial („POLLI-Brick™“), das auf 100 Prozent recyceltem Kunststoff basiert.

Eine andere Gruppe von Startup-Unternehmen hat sich auf die elektronische Abbildung von komplexen und übergreifenden Prozessen in der Bauwirtschaft spezialisiert. Mit PlanRadar können beispielsweise Mängel an Gebäuden während der Bauphase digital erfasst und deren Behebung systematisch von der Initiierung bis hin zur Abnahme digital bearbeitet und verfolgt werden.³⁰

Abbildung 74: Digitales System Building Information Network - Segmentierung und Unternehmensbeispiele



30 Siehe DRS DefectRadar GmbH (2017).

Neue Geschäftsmodelle

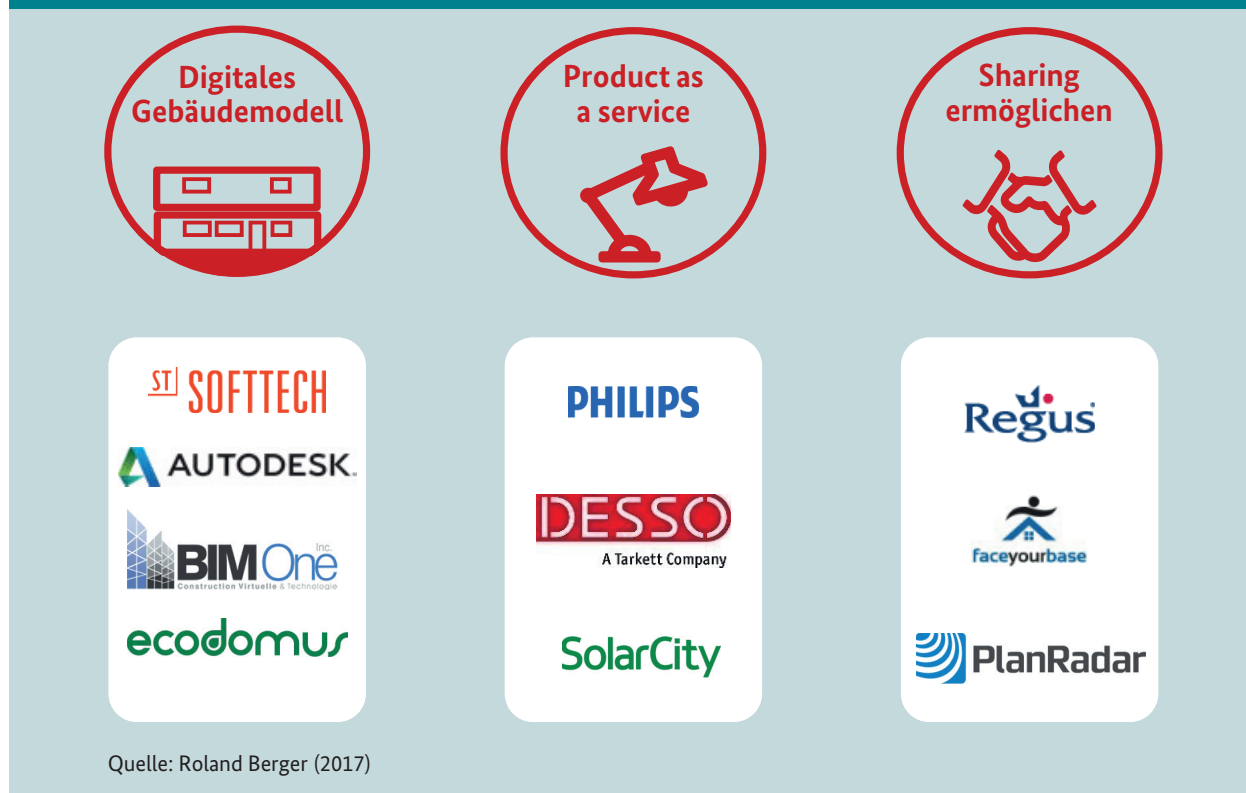
Die wachsende Zahl neuer Marktakteure bedingt auch eine Ausweitung des Leistungsangebots. Insbesondere durch die Entwicklung neuer digitaler Geschäftsmodelle wird die Vernetzung und Integration innerhalb des digitalen Systems Building Information Network weiter gefördert (siehe Abbildung 75). Beispielhaft lassen sich drei grundsätzlich verschiedene Ansätze beschreiben, die das Marktumfeld dominieren: digitale Gebäudemodelle als Ergebnis der Datenvernetzung, „Product as a Service“-Ansätze und innovative Sharing-Konzepte.

Durch die Vernetzung sämtlicher Daten entlang der Immobilienwertschöpfungskette ergeben sich neue Leistungsangebote, die sich mit der systematischen Erfassung, Aufbereitung und Bereitstellung dieser Daten beschäftigen. Unter dem Begriff des „Building Information Modelling“ werden dabei Lösungen entwickelt, die neben den dreidimensionalen Gebäudedaten auch noch die Dimension Zeit und Kosten ergänzen.³¹ In diese Datenmodelle werden auch sogenannte elektronische „Materialpässe“ integriert, die Informationen über Schadstoffbelastung und Wiederverwertbarkeit

beinhalten. Die Erlösmodelle reichen von der Bereitstellung und Pflege (Lizensierung) der Software über die grafische Aufbereitung der Datenmodelle bis hin zu Beratungs- und Planungsdienstleistungen im Zusammenhang mit dem Betrieb oder dem Rückbau der Immobilie.

In einem wirtschaftlichen Kreislaufansatz ist das Geschäftsmodell „Product as a service“ für viele Unternehmen eine vielversprechende Option, die vor allem durch die Digitalisierung ermöglicht wird. Produkte werden nicht mehr einmalig gekauft, sondern nur während der tatsächlichen Nutzung als Dienstleistung in Anspruch genommen. Beispielhaft dafür steht der „Light as a Service“-Ansatz von Philips, der bei der Beleuchtung des Flughafens Schiphol in Amsterdam zum Einsatz kommt.³² Während Philips Eigentümer der gesamten Ausstattung und Installationen bleibt, bezahlt Schiphol für die Nutzung. Dank digitaler Daten ist die verbrauchsgenaue Abrechnung möglich. Am Ende der Vertragslaufzeit kann die gesamte Ausstattung, zum Beispiel nach einem Upgrading, anderweitig wiederverwendet oder aber zielgerichtet recycelt werden – was die Rohstoff- und Materialeffizienz erheblich

Abbildung 75: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Building Information Network



³¹ Siehe Eastman, C. (Hrsg.) (2011).

³² Siehe Philips (2015).

verbessert. Für Philips entsteht durch das Geschäftsmodell „Product as a service“ zusätzlich eine in der Beschaffung günstige künftige Rohstoffquelle. Sharing-Plattformen nutzen die neuen Möglichkeiten des digitalen Nutzerzugangs. Diese umfassen die elektronische Kontaktanbahnung, beispielsweise zwischen Architekten und Bauherren oder zwischen Flächenanbietern und Flächennutzern. Zahlreiche Plattforman-

bieter nutzen dabei die Vorteile, die digitale Medien in puncto Flexibilität, Schnelligkeit und Aktualität bieten. Das Erlösmodell basiert im Wesentlichen auf einer Vermittlungsgebühr. Ein weiterer Ansatz ergibt sich durch die Abbildung elektronischer Arbeitsabläufe auf fachspezifischen Plattformen, die beispielsweise das Dokumentenmanagement in der Planungs- und Bauphase oder die Gewährleistungsverfolgung anbieten.

Industrie 4.0

Am Standort Deutschland spielt die Industrie nach wie vor eine wichtige Rolle: Industrieunternehmen erwirtschaften 22,5 Prozent der Bruttowertschöpfung in Deutschland; die Exportquote liegt bei 50 Prozent.³³ Die Industrie trägt gut ein Fünftel zu den gesamten Treibhausgasemissionen Deutschlands bei.³⁴ In diesem zentralen Sektor der deutschen Volkswirtschaft entfalten Ressourceneinsparungen demnach eine große Wirkung. Potenziale bestehen hier vor allem durch die Optimierung des Rohstoff- und Materialeinsatzes in der Produktion. Außerdem bestehen angesichts des hohen Energieverbrauchs der Industrie viele Chancen zur Steigerung der Energieeffizienz. Als international führender Industrieausrüster stellt Deutschland zudem Maschinen und Anlagen für die industrielle Fertigung in aller Welt her und ist damit besonders stark von den technologischen Trends in der Industrie betroffen.

Mit dem starken Automobilsektor ist ein treibender Faktor der deutschen Wirtschaft im industriellen Sektor angesiedelt. Viele mittelständische Unternehmen sind global aufgestellt. Etwa 1.500 Mittelständler nehmen als „Hidden Champions“ mit spezialisierten Nischenlösungen Spitzenpositionen auf dem Weltmarkt ein.³⁵ Im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Automatisierungstechnik sind deutsche Anbieter international führend.

Vor diesem Hintergrund wird deutschen Unternehmen eine hohe Kompetenz bei Systemlösungen attestiert.³⁶ Gerade in der Industrie fördert die Digitalisierung einen immer stärker ausgeprägten systemischen Ansatz, der von zahlreichen Akteuren vorangetrieben wird. Diese entwickeln neue innovative Geschäftsmodelle, die positive ökonomische und ökologische Implikationen auf die Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz haben.

In Abbildung 76 sind eine industrielle Produktionsanlage und ihre Verknüpfung mit der Außenwelt schematisch dargestellt. Viele Komponenten sorgen schon heute für eine hohe Produktivität und verbesserte Ressourceneffizienz in der industriellen Fertigung. Lieferanten wie Rohstoffproduzenten oder klassische Zulieferer von Vorprodukten versorgen die Produktionsanlage mit Material, um die weitere Verarbeitung sicherzustellen. In der industriellen Produktionsanlage selbst werden die Güter hergestellt. Die klassischen Verbraucher der industriellen Produktion sind Händler, Dienstleister, Privatpersonen oder wiederum industrielle Abnehmer, die die Produkte weiterverarbeiten oder verwenden. In der konventionellen industriellen Produktion werden die Prozesse Anlieferung, Weiterverarbeitung und logistische Distribution von verschiedenen Maschinen, Sensoren, Robotern, Fahrzeugen unterstützt und laufen in einem hohen Grad standardisiert und automatisiert ab.

Industrie 4.0 bedeutet die zunehmende Verknüpfung von Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkten zu einem intelligenten, digital vernetzten System, in dem eine weitestgehend selbstorganisierte und damit energie- und ressourceneffiziente Produktion möglich wird. Die Vernetzung in der Industrie 4.0 erhöht die Effizienz in der Fertigung und erschließt damit neue Potenziale, Energie, Rohstoffe und Material einzusparen.

Digitale Daten sind die Grundlage für die vorausschauende Instandhaltung (Predictive Maintenance). Bei der kontinuierlichen Erfassung des Zustandes der Produktionsanlage durch den Einsatz moderner Sensortechnik fallen große Mengen digitaler Daten an. Deren Auswertung ermöglicht es, mithilfe von Datenanalysen mögliche Problemherde zu erkennen und zu beheben, ehe sie Störungen verursachen. So können lange Ausfälle oder Störungen in der Produktionsanlage verhindert werden.

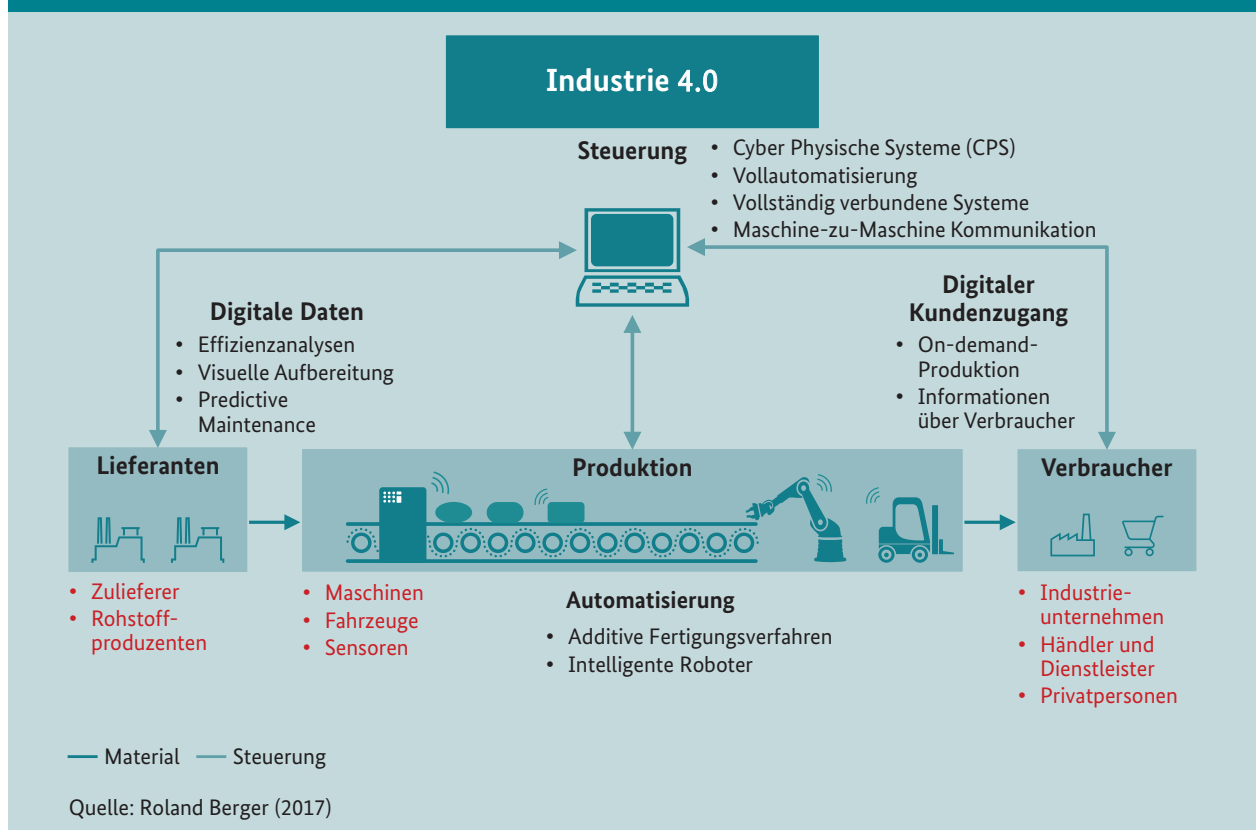
33 Siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017f).

34 Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017b), Seite 33.

35 Siehe Deutsche Bank Research (2016), Seite 7.

36 Siehe acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. (2013), Seite 5.

Abbildung 76: Komponenten und Aufbau des digitalen Systems Industrie 4.0



Die Automatisierung schreitet dank der Nutzung additiver Fertigungsverfahren in der Industrie 4.0 weiter voran. Additive Fertigungsverfahren und Leichtbauverfahren bilden einen zentralen Baustein für die ressourceneffiziente Produktion in der Industrie 4.0. Spezielle Teile werden jeweils nach Bedarf im 3D-Drucker hergestellt. Dabei wird je nach Einsatzgebiet zwischen Rapid Prototyping (Herstellung von Prototypen), Rapid Tooling (Herstellen von Werkzeugen) und Rapid Manufacturing (Herstellung von Fertigteilen) unterschieden. Der digitale Kundenzugang verstärkt den Trend zur On-Demand-Produktion. Es werden nur Produkte hergestellt, die tatsächlich vom Kunden abgenommen werden. So können Ressourcen und Energie eingespart werden, denn durch die mittels Vernetzung ermöglichte direkte Kommunikation mit dem Kunden wird in der Fertigung nur genau das verbraucht, was zur Befriedigung des Kundenbedürfnisses erforderlich ist. Dabei tragen die Produkte bereits alle Informationen in sich, und intelligent vernetzte Maschinen können sich automatisch auf verschiedene Produktionswünsche einstellen.

Die digitale Vernetzung schafft weitere Vorteile für Fertigungsprozesse in der Industrie 4.0. Wenn alle Informationen in Echtzeit abrufbar sind, kann ein Unternehmen zum Beispiel frühzeitig auf die Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe reagieren. Die Produktionsprozesse können unternehmensübergreifend so gesteuert werden, dass sie Ressourcen und Energie sparen.

Unternehmen innerhalb des digitalen Systems

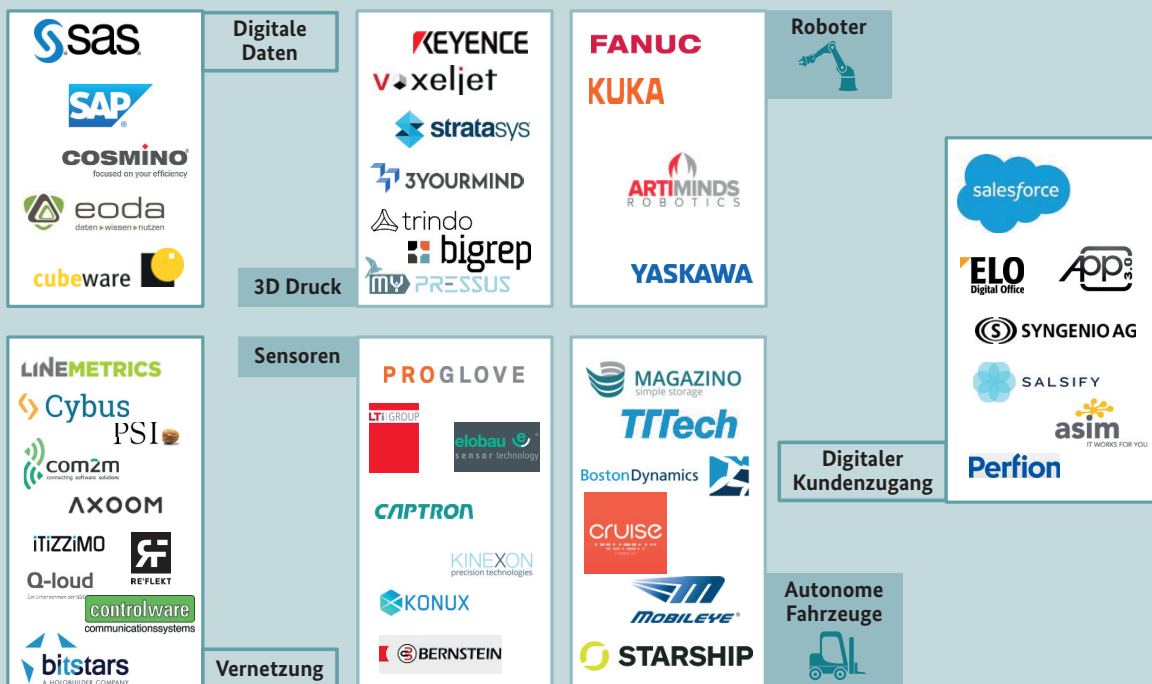
Die Umsetzung der Digitalisierung im digitalen System Industrie 4.0 betrifft eine Vielzahl von Komponenten und Kompetenzen. Völlig unterschiedliche Akteure stellen daher Produkte und Services für die Industrie 4.0 zur Verfügung (siehe Abbildung 77). Traditionelle Technologieunternehmen und Maschinenbauer bieten Anlagen und Einzelkomponenten für die Fertigung an. Robotertechnologie kommt von etablierten Akteuren wie beispielsweise Kuka oder Fanuc. Unternehmen wie SAP oder Cisco helfen bei der Auswertung von Daten, die in der Produktionsanlage durch moderne Sensortechnik gewonnen wurden, die von Akteuren wie Elobau oder Bernstein entwickelt wird. Unternehmen wie Voxeljet oder Keyence bieten 3D-Drucker für die industrielle Fertigung an. Um die Vernetzung der Maschinen und Produkte kümmern sich Unternehmen wie Com2m. Um den digitalen Kundenzugang zu vereinfachen, bieten Unternehmen wie Syngenio oder Salesforce Cloud- und Softwarelösungen für Unternehmen an. Zusätzlich spezialisieren sich viele Unternehmen auf Einzelbereiche und setzen auf Wettbewerbsvorteile in ihren Nischen.

Dabei bringen die unterschiedlichen, zum Teil branchenfremden Firmen ihre spezifischen Kompetenzen ein, die sie auf ihren Kernmärkten gewonnen haben

und erweitern ihr Angebot an Produkten und Dienstleistungen in den Bereich Industrie 4.0 hinein. Neben der großen Zahl an relevanten Unternehmen zeichnet sich das digitale System Industrie 4.0 auch durch eine zunehmende Heterogenität aus: Software-Anbieter wie SAP oder SAS konkurrieren beispielsweise mit Unternehmen wie Siemens und Bosch, die nun nicht mehr nur Maschinen, sondern auch IT-Lösungen für die Industrie 4.0 anbieten.

Startups attackieren mit innovativen Angeboten die Wertschöpfungskette im Bereich Industrie 4.0 und nehmen Schlüsselpositionen ein. Das Münchner Startup Magazino entwickelt zum Beispiel intelligente Roboter für die stückgenaue Logistik der Industrie 4.0. Startups sind mit ihren Geräten und Dienstleistungen wesentlicher Treiber für die weitere Verbreitung digitaler Geschäftsmodelle auf dem Industrie 4.0-Markt. Häufig werden dabei Positionen der Vernetzung und Datenverwaltung besetzt. Mit innovativen Softwarelösungen ermöglichen Firmen wie Axoom, PSI und Q-loud die Vernetzung der gesamten industriellen Fertigung durch M2M-Kommunikation. Indem sie diese wichtigen Kommunikationsschnittstellen besetzen, werden Startups zum wesentlichen Treiber der Vernetzung durch Digitalisierung im Bereich Industrie 4.0.

Abbildung 77: Digitales System Industrie 4.0 – Segmentierung und Unternehmensbeispiele



Quelle: Roland Berger (2017)

Neue Geschäftsmodelle

Die Herausforderungen im digitalen System Industrie 4.0 bieten Möglichkeiten für neue Geschäftsmodelle (siehe Abbildung 78). Diese nutzen die Anwendungspotenziale von 3D-Drucktechnik, intelligenten Robotern, die Notwendigkeit zur verstärkten Produktkommunikation und Augmented Reality zur Effizienzsteigerung in der Produktion, um Umsätze zu generieren.

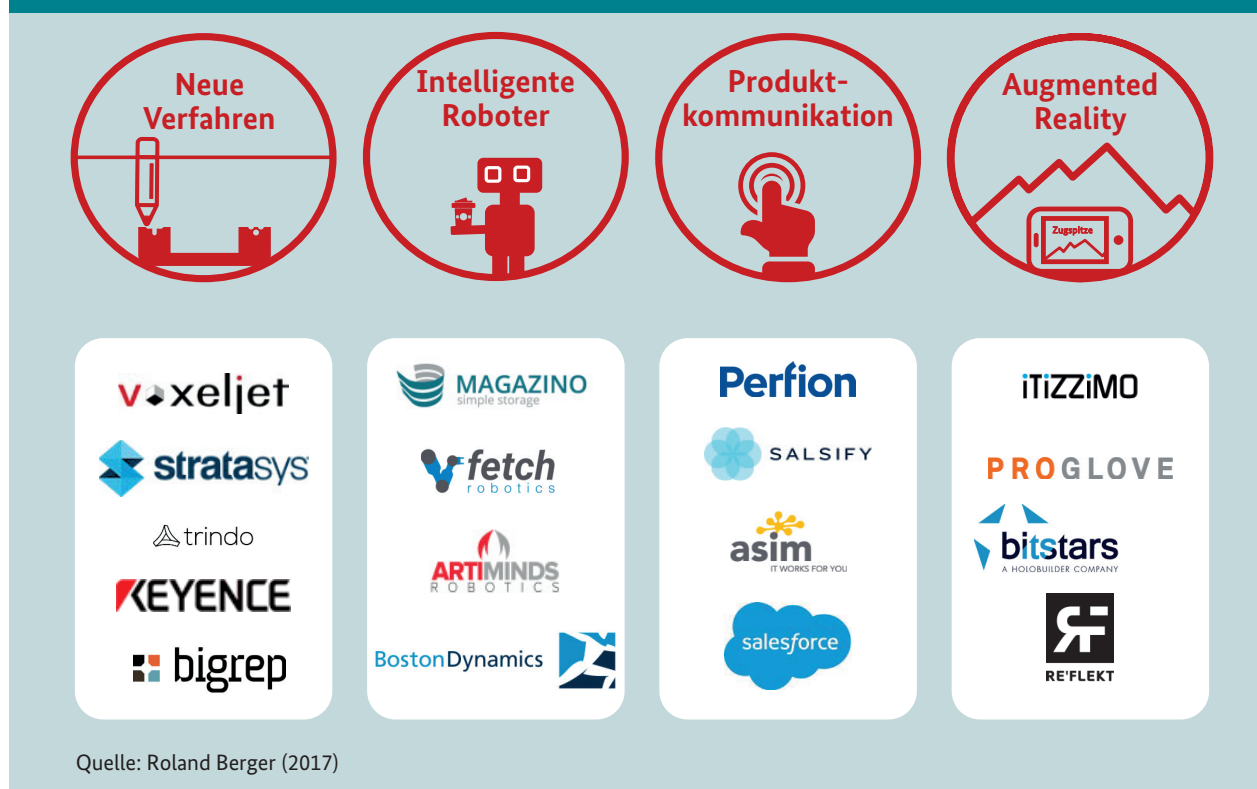
Der verstärkte Bedarf nach On-Demand-Produktion ermöglicht Geschäftsmodelle, die den Einsatz von 3D-Druckern für die Produktion von Kleinserienbauteilen nutzen. Unternehmen wie Voxeljet versprechen mit eigens für die industrielle Anwendung entwickelten 3D-Drucksystemen vielfältigen Kundennutzen.³⁷ Die werkzeuglose und vollautomatische Herstellung von komplexen Bauteilen, Prototypen und Kleinserienbauteilen trägt zur Kostensenkung bei. Zudem kann die Herstellungszeit von Bauteilen im Vergleich zum klassischen Werkzeugbau verkürzt werden. Die Anbieter von industriellen 3D-Druckern generieren Umsatz durch den Verkauf der Geräte, aber auch als Dienstleister, der den 3D-Druck extern anbietet.

Geschäftsmodelle auf Basis von intelligenten Robotern sind die Antwort auf den verstärkten Bedarf nach

Automatisierung und lernfähigen, kommunizierenden Maschinen in der Industrie 4.0. Startups wie Magazino nutzen intelligente Robotertechnik in neuen Anwendungsgebieten.³⁸ Die Pick-by-Robot-Lösungen ermöglichen den Einsatz von Kommissionier-Robotern als Ergänzung von Arbeitsleistungen, die von Menschen erbracht werden. Damit lassen sich Produktion und Logistik stufenweise automatisieren. So sinkt auch die Einstiegshürde für Geschäftskunden, da die Automatisierung nicht auf einmal erfolgen muss, sondern schrittweise umgesetzt werden kann. Niedrige Investitionskosten in Verbindung mit der Aussicht auf reduzierte Lohn- und Prozesskosten bilden den Kern dieses Geschäftsmodells.

Die Notwendigkeit der maßgeschneiderten Produktion bringt Geschäftsmodelle hervor, die auf intelligenter Produktkommunikation basieren.³⁹ Anbieter von Produktinformationsmanagement-Systemen wie etwa Perfion vereinfachen die Kommunikation zwischen Mensch, Produkt und Maschine, indem das Unternehmen für eine zentrale, medienneutrale Darstellung von Daten über mehrere IT-Systeme des gesamten Unternehmens sorgt. Jede Maschine und jeder Arbeiter hat damit die spezifischen Produktinformationen jederzeit

Abbildung 78: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Industrie 4.0



³⁷ Siehe voxeljet AG (2015).

³⁸ Siehe Magazino GmbH (2017).

³⁹ Siehe CPC Strategy (2015).

aktuell vorliegen und kann so eine exakte bedarfsorientierte Produktion steuern. Dienstleistungen wie die echtzeitbasierte Analyse über Cloudvernetzung sind dabei zentraler Bestandteil des Geschäftsmodells, um die Mehrfachnutzung von forschungs-, einkaufs-, produktions- und vertriebsrelevanten Daten zu ermöglichen.

Andere Geschäftsmodelle nutzen die computergestützte Erweiterung der Realitätswahrnehmung (Augmented Reality), um die Kommunikation zwischen

Menschen und Maschinen zu erleichtern. Startups wie Itizzimo bieten Unternehmen Lösungen für die Digitalisierung von Prozessen in der Fertigung an, wobei die Interaktion zwischen Menschen und Maschinen eine wichtige Rolle spielt.⁴⁰ Beispiele dafür sind Augmented Reality-Geräte und Wearables wie ProGlove. Dieser intelligente Handschuh von Workaround ist mit Scanner, Bewegungssensor und Haptik- und Optik-Rückkopplung ausgestattet. Dieser Handschuh hilft dabei, die richtigen Arbeitsschritte mit den richtigen Werkzeugen am richtigen Produkt durchzuführen.⁴¹

Urban Connected Mobility

Auf den Verkehrssektor in Deutschland entfallen knapp ein Drittel des gesamten Primärenergieverbrauchs und 17,7 Prozent der Treibhausgasemissionen.^{42, 43} Fast zwei Drittel der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen gehen auf das Konto des individuellen Personenverkehrs.⁴⁴ Diese Relationen weisen den Verkehrssektor als wesentlichen Ansatzpunkt für energieeffiziente Technologien aus. Eine Reduktion der zurückgelegten Wegstrecken durch intelligente Mobilitätssteuerung und die Reduzierung der Stauzeiten sind vielversprechende Hebel zur Verminderung des Energieverbrauchs und der entstehenden Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen. Gleichzeitig müssen verstärkt alternative Antriebstechnologien in die Mobilitätskonzepte integriert werden. Während im Rahmen klassischer Infrastrukturvorhaben umfangreiche Investitionen vorgesehen sind, steckt die vielbeschworene Vernetzung der Verkehrssysteme, die eine einfache Nutzung unterschiedlicher Verkehrsträger ermöglichen würde, bislang in den Kinderschuhen. Das digitale System Urban Connected Mobility umfasst den innerstädtischen Personenverkehr (Infrastruktur und Fahrzeuge). Innerhalb dieses Systems engagiert sich eine Vielzahl von Akteuren, die innovative Geschäftsmodelle entwickeln.

Das digitale System Urban Connected Mobility besteht aus vielen Einzelkomponenten. Privatpersonen, Unternehmen oder öffentliche Institutionen können auf verschiedene Transportmittel wie Pkw (in Privateigentum oder geteilt) oder öffentliche Verkehrsmittel zugreifen. Buchungen für die einzelnen Verkehrsmittel können separat durchgeführt werden, größtenteils auch über

(mobile) Internetangebote. Außerdem ist die individuelle Zielführung durch Parkleit- oder Navigationssysteme gegeben. Bestehende Verkehrsinfrastrukturen wie Ampeln sind mit Sensoren ausgerüstet und Tankbeziehungsweise Ladestationen erlauben in großem Maßstab den Einsatz von Pkw mit unterschiedlichsten Antriebstechnologien.

Durch die Digitalisierung werden diese bisher separat agierenden Akteure vernetzt. Dabei bildet die virtuelle Verkehrssteuerung das zentrale Element. Hier laufen Daten von Nutzern, Transportmitteln, Infrastruktur und Zielen zusammen, werden verarbeitet und weitergeleitet. Informationen zu Mobilitätspräferenzen und Destinationen werden durch die Steuerung analysiert und in das System eingepflegt. Entlang der vier Hebel der digitalen Transformation kann das digitale System Urban Connected Mobility aufgespannt werden.⁴⁵

Der digitale Kundenzugang verbessert die Nutzung von multimodalen Mobilitätsangeboten. Er macht es möglich, dass Privatpersonen, Unternehmen und öffentliche Institutionen auf innovative Plattformen zugreifen. Umweltschonende Mobilitätsangebote wie Fahrrad, Car Sharing oder der öffentliche Personennahverkehr lassen sich als Alternative zum motorisierten Individualverkehr nutzen. Diese intelligente Kombination von Mobilitätsangeboten schafft nicht nur effiziente multimodale Fortbewegungsarten für den Nutzer, sondern trägt auch zu einer Senkung des Verkehrsaufkommens auf Autobahnen, Landstraßen und insbesondere auf innerstädtischen Straßen bei. Damit Kunden auf die umweltfreundlichen Mobilitätsangebote zugreifen, bedarf es allerdings auch des entsprechenden Angebots – wie eines attraktiven ÖPNVs und Fahrradwege. Sonst droht

40 Siehe ITIZZIMO AG (2017).

41 Siehe Workaround GmbH (2017).

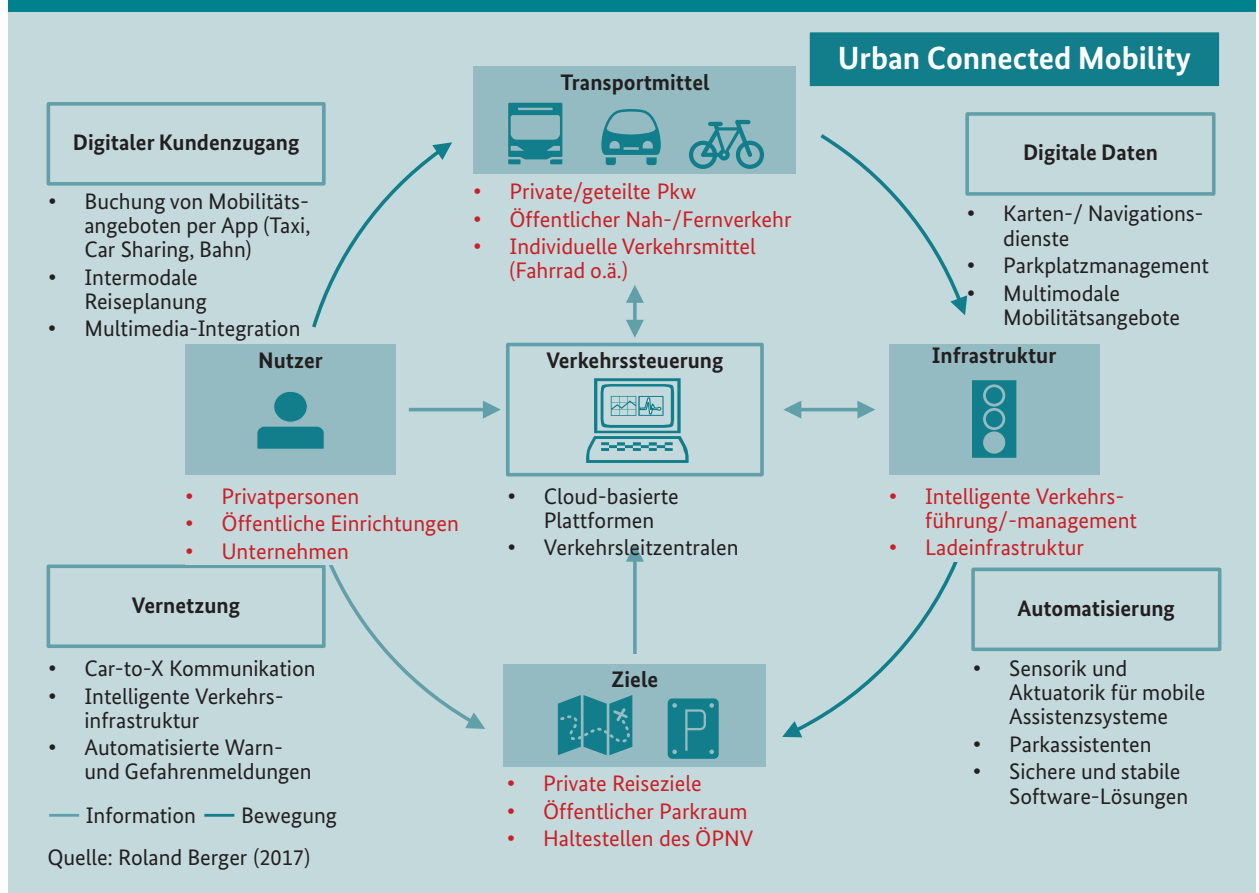
42 Siehe Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2016).

43 Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017b), Seite 37.

44 Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017c).

45 Siehe Wolter, Stefan (2012).

Abbildung 79: Komponenten und Aufbau des digitalen Systems Urban Connected Mobility



sogar der gegenläufige Effekt einzutreten – dass zum Beispiel ÖPNV-Kunden auf das Car Sharing umsteigen und somit die Umweltbelastung noch vergrößern. Dies verdeutlicht, dass die Digitalisierung durch entsprechende Rahmenbedingungen flankiert werden muss, um die Umweltentlastungspotenziale zu heben.

Digitale Daten helfen Karten- und Navigationsdiensten, die Fahrtstrecke an die aktuelle Verkehrslage anzupassen. Werden Faktoren wie Auftragsänderungen bei gewerblichen Fahrten oder die Verkehrslage in Echtzeit berücksichtigt, ermöglichen diese eine effiziente Planung der Streckenführung.

Zur Ermittlung der Verkehrslage wird die Vernetzung konsequent genutzt. Viele Sensoren, mobile Endgeräte aber auch die vernetzten Fahrzeuge selbst tragen dazu bei, ein genaues Bild des Verkehrsaufkommen zu zeichnen. Die Nutzung von Sensoren und Kameras im

Straßenbereich sind dabei eine wichtige Komponente. Mit fortschreitender Automatisierung gewinnen auch Fahrerassistenzsysteme an Bedeutung. Eines der wichtigsten Einsatzgebiete ist die Parkassistenz, die zukünftig auch dazu führen kann, dass weniger Parkflächen für Automobile benötigt werden. Die Assistenzsysteme entwickeln sich dabei stetig weiter und betreffen eines der größten Themen für die Automobilindustrie: das autonome Fahren. Werden Daten, Vernetzung und Automatisierung konsequent weiterentwickelt und genutzt, ist ab 2020 mit dem selbstfahrenden Kraftfahrzeug zu rechnen.⁴⁶ Diese Technologie würde vielfältige neue Anwendungsmöglichkeiten in der Mobilität eröffnen: individuelle Transportservices, einen ganzheitlich optimierten Verkehrsfluss, präzise Stauprognosen, Vermeidung von Unfällen.

46 Siehe o. V. (2016).

Unternehmen innerhalb des digitalen Systems

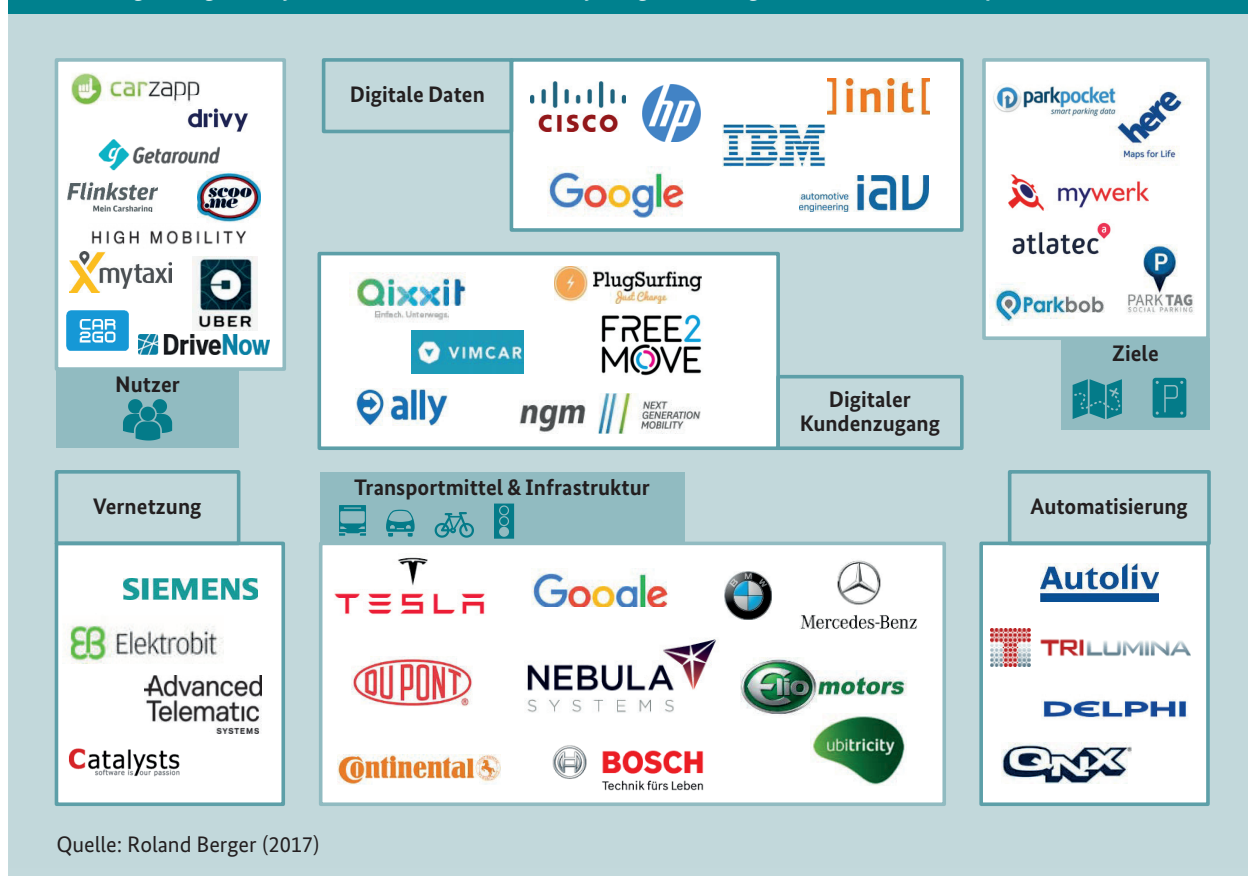
Der Facettenreichtum des digitalen Systems Urban Connected Mobility zeigt sich in der hohen Zahl der im Markt agierenden Unternehmen (siehe Abbildung 80). Lösungen für Parkraummanagement werden von Unternehmen wie Parkpocket oder ParkTAG angeboten, während Cisco und HP auf dem Gebiet der digitalen Daten wirken. Carzapp oder Getaround haben ihre Kompetenzen beim Nutzerzugang, während QNX oder Delphi die Automatisierung der Mobilität vorantreiben. Ähnlich den Beobachtungen in den anderen digitalen Systemen ist die Urban Connected Mobility also geprägt von einer starken Diversifizierung und Spezialisierung der Unternehmen, was die hohe Zahl an Akteuren erklärt.

Wie auch in den anderen digitalen Systemen fallen die unterschiedlichen Hintergründe der diversen Unternehmen auf. Sharing-Anbieter wie Scoo.me oder Drivy konkurrieren mit Beförderungsunternehmen wie MyTaxi oder Uber. Über die Tochterfirmen DriveNow, car2go und Flinkster sind nun auch Automobilhersteller wie BMW, Daimler und klassische Mobilitätsdienst-

leister wie die Deutsche Bahn im Segment aktiv. Außerdem liefern die Automobil-Zulieferer Continental oder Bosch, das Sensorikunternehmen Trilumina oder die Telekommunikationsfirma Cisco intelligente Lösungen für die Vernetzung von Fahrzeugen. Im Wettbewerb um die Vernetzung der einzelnen Komponenten trifft ein Industriekonglomerat wie Siemens auf Spezialunternehmen wie Elektrobit. Des Weiteren kämpfen Kartendienste wie Here und Atlatec mit Dienstleistern wie Parkbob um Marktanteile.

Startups wie Qixxit, Carjump oder Plugsurfing nehmen eine Schlüsselrolle im digitalen System Urban Connected Mobility ein. Durch die cloudbasierte Vernetzung von Nutzern, Mobilitätsangeboten und Infrastruktur sitzen sie an den Knotenpunkten der Digitalisierung und fungieren als Treiber der Entwicklung von digitalen Geschäftsmodellen. In dieser Rolle agieren sie in den einzelnen Segmenten als Bindeglied zwischen den technologielastrichen Unternehmen und Kunden und profitieren gleichzeitig von vergleichsweise geringen Investitions- und Entwicklungskosten.

Abbildung 80: Digitales System Urban Connected Mobility – Segmentierung und Unternehmensbeispiele



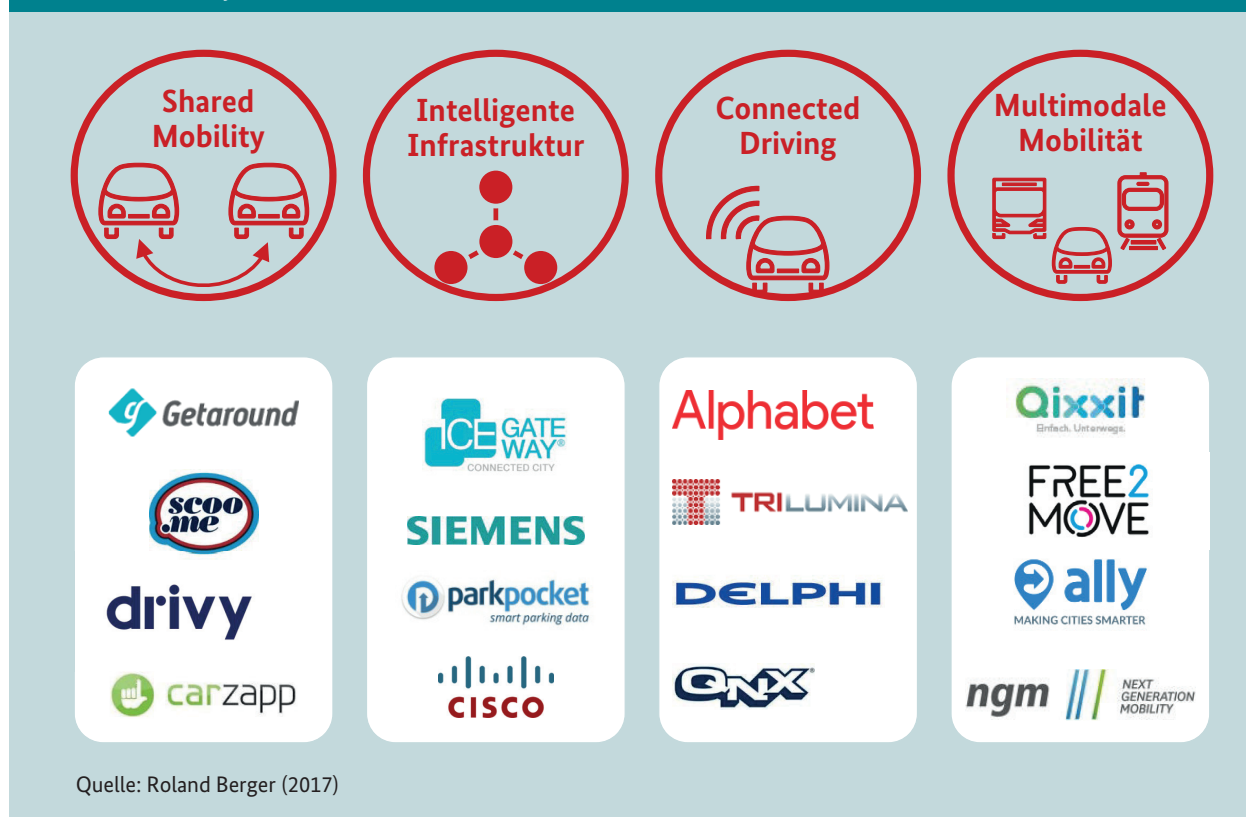
Neue Geschäftsmodelle

Innovative Unternehmen nutzen die bestehende Heterogenität im digitalen System Urban Connected Mobility und brechen durch disruptive Geschäftsmodelle bestehende Strukturen auf (siehe Abbildung 81). Insbesondere das Carsharing, intelligente Infrastruktur, Connected Driving und die multimodale Mobilität bieten hier Ansatzpunkte für neue Geschäftsmodelle. Das Geschäftsmodell der Shared Mobility wird insbesondere durch die einfache digitale Vernetzung von Kunden und Sharing-Plattformen mit mobilen Apps ermöglicht. Durch das Konzept des „Teilens“ von Fahrzeugen soll der Bedarf nach einem eigenen Pkw grundsätzlich reduziert werden. Wenn ein Auto benötigt wird, kann dies aus einem Pool an Fahrzeugen gebucht werden und steht für den gewünschten Zeitraum zur Verfügung. Carsharing-Anbieter wie car2go oder DriveNow sind Tochterunternehmen von Automobilherstellern, die ihre vorhandenen Kapazitäten insbesondere zur Bestückung der Fahrzeug-Pools nutzen. Startup-Unternehmen wie Drivy oder Getaround setzen auf die Vermittlung von Privatfahrzeugen. Dabei können Kunden auf freie Fahrzeuge von Privatpersonen in der

Nachbarschaft zurückgreifen, für die Anbieter entfällt die Notwendigkeit der Anschaffung von Fahrzeugen. Geschäftsmodelle der intelligenten Infrastruktur werden insbesondere durch die Möglichkeiten zur digitalen Vernetzung von Sensoren und Leitsystemen ermöglicht. Im Bereich des vernetzten Verkehrsmanagements können zum Beispiel IT-Dienstleister wie Cisco ihre Expertise bei digitalen Netzwerken und computerbasierten Analysen einbringen.⁴⁷ Das Unternehmen bietet Lösungen an, die mit einer sicheren Verbindung zwischen zwei Fahrzeugen, aber auch zwischen Fahrzeug und Infrastruktur arbeiten. Dazu müssen Daten von Verkehrszeichen, Straßenzuständen, gegebenenfalls Wetter und Verkehr erfasst, verarbeitet und übertragen werden. Die Lösungen ermöglichen Städten, die gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwerte für innerstädtische Emissionen besser einzuhalten. Durch eine selbstoptimierende Ampelsteuerung werden außerdem Verkehrsstauungen reduziert.

Im Bereich Connected Driving ermöglicht die Digitalisierung Geschäftsmodelle durch die Einrichtung mobiler Kommunikationssysteme. Der Software-Hersteller

Abbildung 81: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Urban Connected Mobility



47 Siehe Verband der Automobilindustrie (2017).

QNX entwickelt beispielsweise stabile und rechenstarke IT-Plattformen für die Automobilindustrie.⁴⁸ Diese Produkte kommen in der Integration von Informations-, Assistenz- und Multimediasystemen zur Anwendung und dienen so der tiefergehenden Vernetzung von Fahrzeugen innerhalb des digitalen Mobilitätsumfelds.

Auch das Geschäftsmodell der multimodalen Mobilität wird erst durch digitale Plattformen ermöglicht. Integrierte, cloudbasierte Angebote bieten dabei einen Überblick über die verschiedenen Mobilitätsangebote. Das Mobility-Startup Qixxit ist ein Vorreiter auf diesem Gebiet. Über eine Web-Plattform werden den Nutzern

verschiedene Reisemöglichkeiten für die gewählten Ziele zusammengestellt.⁴⁹ Die Angebote berücksichtigen Verkehrsmittel wie Privatauto, Carsharing, Bus, Bahn, Mietrad aber auch Laufen. Der Nutzer erhält außerdem eine Übersicht über Preis und Zeitaufwand der unterschiedlichen Reisemöglichkeiten und wird auch über die Buchung hinaus während der Reise von der App begleitet. Solche integrierten Angebote erleichtern dem Konsumenten die Entscheidungsfindung, ermöglichen einen unkomplizierteren Umstieg auf umweltschonende Mobilitätsangebote und sind gerade deshalb für einen komplexen Mix an Verkehrsangeboten wichtig.

Smart Grid

Im Jahr 2016 erreichten erneuerbare Energien einen Anteil an der Bruttostromerzeugung – das ist die insgesamt in Deutschland erzeugte Strommenge – von 29 Prozent.⁵⁰ Bis 2025 sollen erneuerbare Energien 40 bis 45 Prozent des deutschen Strombedarfs decken. Bis 2050 soll dieser Anteil auf mindestens 80 Prozent ausgebaut werden. Um diese Ziele der Bundesregierung zu verwirklichen, muss die Infrastruktur in der Energiewirtschaft entsprechend angepasst werden. Zu den größten Herausforderungen zählt dabei, die dezentralen Energieerzeugungsanlagen zu verknüpfen und – neben dem Ausbau von Speicheroptionen – in das Stromnetz zu integrieren. Es gilt, die Verteilnetzstabilität durch Spannungs- und Frequenzerhaltung und Überlastungsvermeidung sicherzustellen. Um die Netzstabilität – und damit die Versorgungssicherheit – zu gewährleisten, müssen Stromeinspeisung und Stromentnahme zu jedem Zeitpunkt im Gleichgewicht sein. Da das Stromnetz selbst keine Energie speichern kann, muss der Ausgleich zwischen Stromerzeugung und Stromnachfrage durch andere Mechanismen erfolgen. Dies geschieht über die Frequenz der Wechselspannung, die mit einer geringen Toleranz bei 50 Hertz gehalten werden muss. Vor diesem Hintergrund entwickelt sich das Management des Stromnetzes zu einer zunehmend komplexen Aufgabe, die sich nur mithilfe digitaler Technologien bewältigen lässt. Durch die Digitalisierung ist ein zunehmendes Informationsnetz zusätzlich zum Stromnetz möglich. So entsteht zusätzlich ein digitales System „Smart Grid“.

Im digitalen System Smart Grid sind bereits jetzt eine große Anzahl individueller Komponenten und Technologien aktiv (siehe Abbildung 82). Konventionelle Kraftwerke sowie Erzeuger erneuerbarer Energien (zentral und dezentral) speisen Strom in die bestehende Netzinfrastruktur ein. Über Transformatoren wird die Spannung an den Bedarf der industriellen oder privaten Endverbraucher angepasst. Je nach Bedarf werden die nötigen Kapazitäten angepasst und Regelleistung abgerufen. Sollte das erzeugte Energieangebot einmal die Nachfrage überschreiten, können zentrale Speicher wie Pumpspeicherkraftwerke den Überschuss aufnehmen. Später kann diese Energie wieder abgegeben werden. Auch dezentrale Speichermöglichkeiten auf Basis von Batterien (zum Beispiel in Elektroautos) oder insbesondere Wasserstoff und „Power to x“-Technologien stehen zur Verfügung.

Die Digitalisierung trägt zu einer Stärkung des systemischen Ansatzes bei. Die vier Hebel der digitalen Transformation schaffen damit ganz neue Integrationsmöglichkeiten für erneuerbare Energien und andere Energieerzeuger.⁵¹ Die Vernetzung von Knotenpunkten im digitalen System Smart Grid sorgt für die Erfassung der Daten und ermöglicht den Anschluss der jeweiligen Akteure an das Netz. So werden die dezentral organisierten Prosumer⁵² Teil des Systems und ihre Einspeisungen können angemessen verteilt werden.

Über den digitalen Kundenzugang können die verschiedenen Nutzer des digitalen Systems Smart Grid den eigenen Verbrauch nachvollziehen, vergleichen

48 Siehe QNX Software Systems Limited (2017).

49 Siehe QT Mobilitätsservice GmbH (2017).

50 Siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017a).

51 Siehe E.ON Energie Deutschland GmbH (2017).

52 Prosumer ist ein Kofferwort aus den Begriffen Produzent und Konsument, hier im Bereich der Energieerzeugung und des Energieverbrauchs.

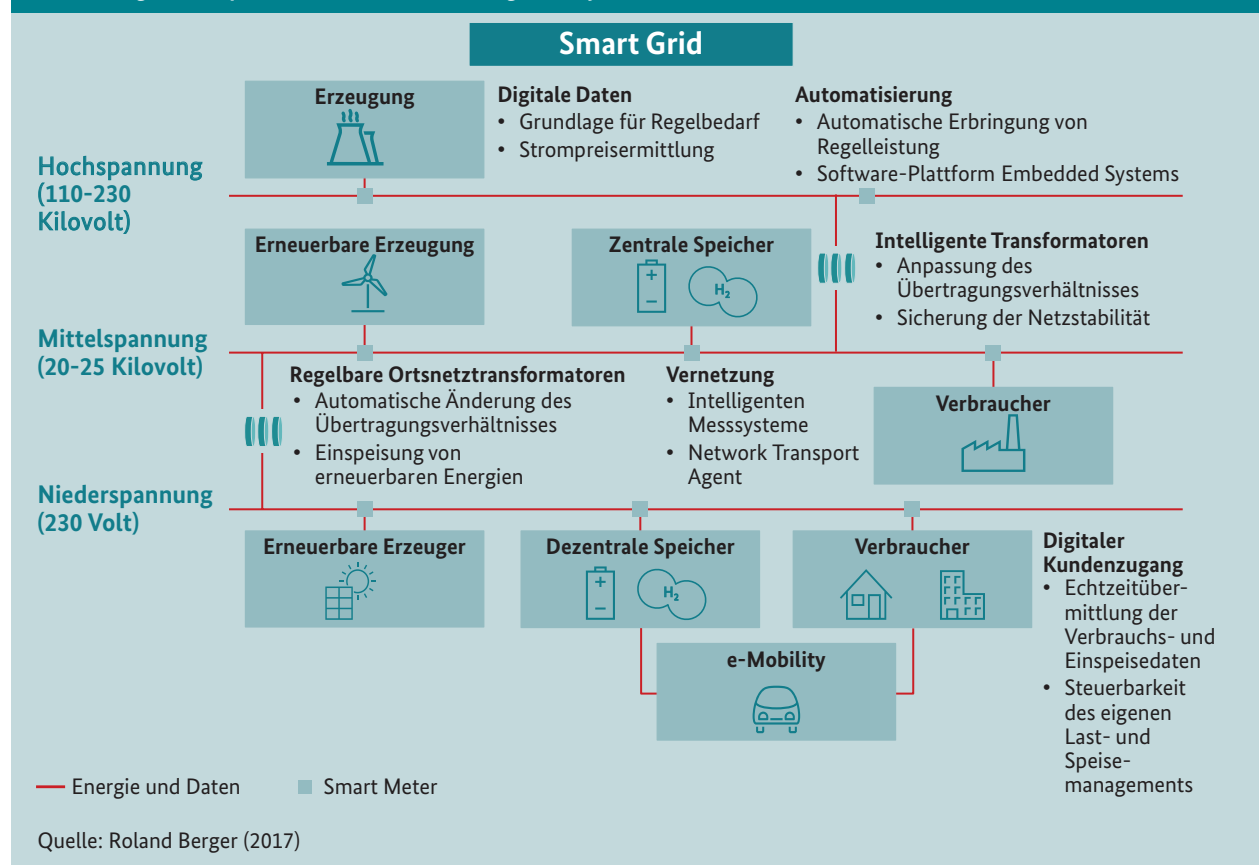
und eventuell Anpassungen vornehmen. Zudem kann auf das eigene Last- und Einspeisemanagement zugegriffen werden und bei günstiger Witterung oder Strompreisen eine Justierung der Einstellungen durchgeführt werden. Außerdem ist die Evaluation der Energieperformance und -effizienz möglich.

Die Auswertung von digitalen Daten, die von Verbrauchern, Speichern und Erzeugern generiert werden, ist eine wesentliche Voraussetzung für das Funktionieren des intelligenten Stromnetzes. Die Daten werden als Grundlage für den Regelbedarf herangezogen und ermöglichen die Entscheidungsfindung bei Einspeiseverfahren und Lastermittlungen. Schließlich erlauben die

digitalen Daten auch die Festlegung von Strompreisen für Verbraucher wie auch Produzenten.

Die Automatisierung der Prozesse im Strommanagement vereinfacht insbesondere die Integration der Prosumer in das digitale System Smart Grid. Wenn beispielsweise festgelegte Parameter wie Strompreis, Bedarf und eigener Produktionsüberschuss erreicht werden, erfolgt automatisch die Einspeisung ins Stromnetz. Andererseits kann durch die entsprechende Technologie die automatische Erbringung von Regelleistung oder das automatisierte Zuschalten von konventionellen Erzeugern sichergestellt werden.⁵³

Abbildung 82: Komponenten und Struktur des digitalen Systems Smart Grid



53 Siehe Fraunhofer-Einrichtung für Systeme der Kommunikationstechnik ESK (Hrsg.) (2011).

Unternehmen innerhalb des digitalen Systems

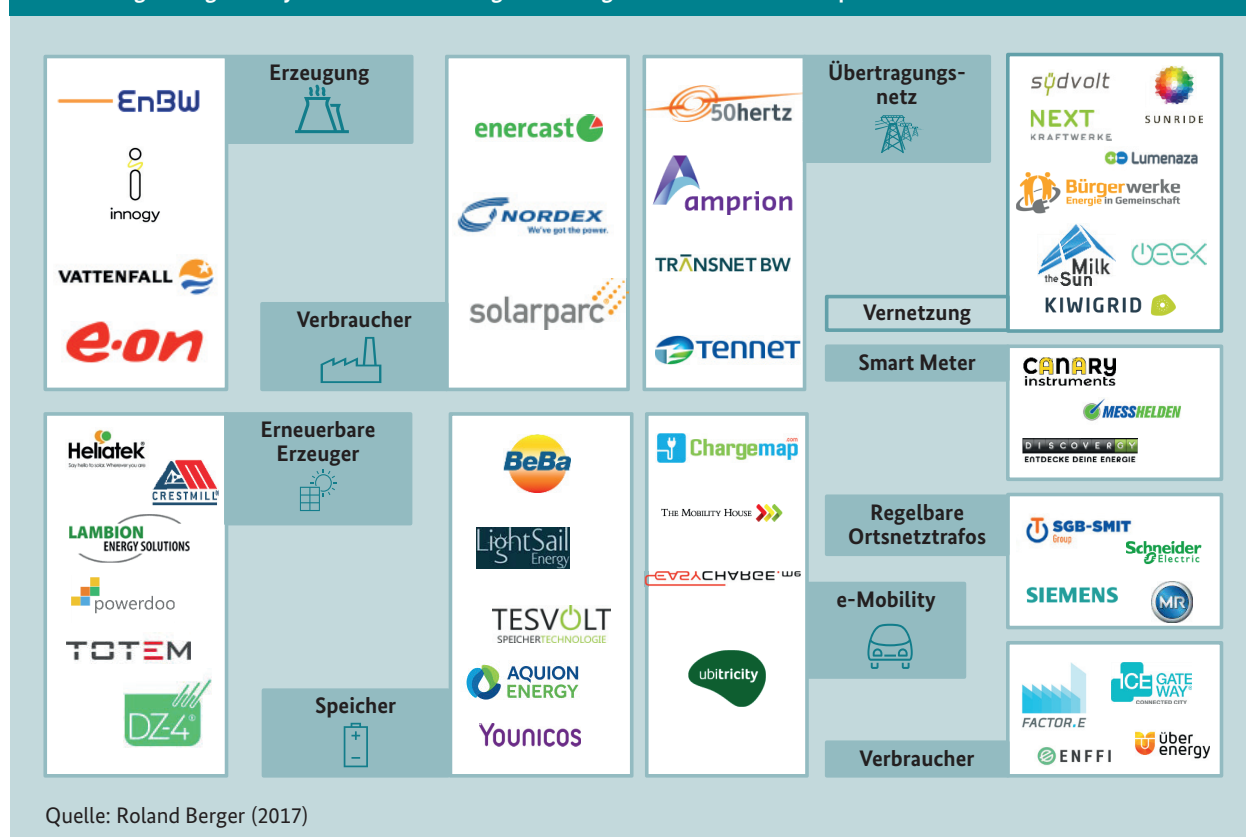
Eine Vielzahl von Akteuren versucht, Anteile an der Wertschöpfung in der Energieerzeugung und -verteilung zu gewinnen (siehe Abbildung 83). Mehrheitlich konventionelle Erzeuger wie E.ON oder RWE⁵⁴ und erneuerbare Energieproduzenten wie Crestmill sind ebenso am Markt vertreten wie das Smart Meter-Unternehmen Canary. Sunride und Lumenaza entwickeln Produkte für die Vernetzung, während Nordex und Enercast sich auf Anwendungen für industrielle Verbraucher spezialisieren. Die Unterschiedlichkeit der benötigten Lösungen für die Realisierung des Smart Grids ist somit Hauptgrund für die große Zahl an Unternehmen am Markt.

Die Heterogenität der Produkte ist auch der Grund für das Aufeinandertreffen vieler verschiedenartiger Branchen im digitalen System Smart Grid. Branchenfremde Akteure entdecken Potenziale im Energienetzmarkt und machen sich ihre spezielle technologische Expertise zunutze. Das Industrieunternehmen Siemens entwickelt eigene regelbare Ortsnetztransformatoren. Damit tritt die Firma in Konkurrenz zum Spezial-

Transformatoren-Unternehmen SGB-SMIT, das unter anderem Großtransformatoren zum Einsatz bei einer Spannung bis 800 Kilovolt produziert. Etablierte Energieunternehmen wie E.ON oder Vattenfall bieten als Ergänzung zu den zentralen Kraftwerken nun auch viele dezentrale Anlagen, beispielsweise Biomasse-, Kraft-Wärme-Kopplungs- oder Photovoltaikanlagen, als Systemlösungen an. Damit dringen sie zunehmend auf das Gebiet von Spezialfirmen wie Lambion oder Totem vor, die bislang diese Nische besetzt hatten.

Startups sind wichtige Treiber des digitalen Systems Smart Grid und sorgen für die notwendige Digitalisierung. Durch internetfähige Produkte und cloudbasierte Applikationen entwickeln diese Unternehmen vollkommen neue Dienstleistungen für das intelligente Stromnetz der Zukunft. Indem sie die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten „smarter“ Lösungen erfassen und ausnutzen, sind diese Firmen Wegbereiter der digitalen Transformation. Dabei machen sie von bestehenden Erzeugnissen der Technologie- und Industriefirmen Gebrauch und docken mit ihren Produkten an vorhandenen Strukturen an.

Abbildung 83: Digitales System Smart Grid – Segmentierung und Unternehmensbeispiele



54 RWE hat die Geschäftsbereiche erneuerbare Energien sowie Netze und Vertrieb im In- und Ausland zunächst in die Tochtergesellschaft RWE International SE ausgelagert, die inzwischen unter innogy SE firmiert und seit 7. Oktober 2016 an der Börse notiert ist. E.ON hat das Energiegeschäft mit den Schwerpunkten konventionelle Stromerzeugung und Stromhandel abgespalten: Seit 12. September 2016 wird die Uniper-Aktie an der Frankfurter Wertpapierbörse gehandelt. Die „neue“ E.ON fokussiert sich auf die Geschäftsfelder Kunden-netze, Kundenlösungen und erneuerbare Energien.

Neue Geschäftsmodelle

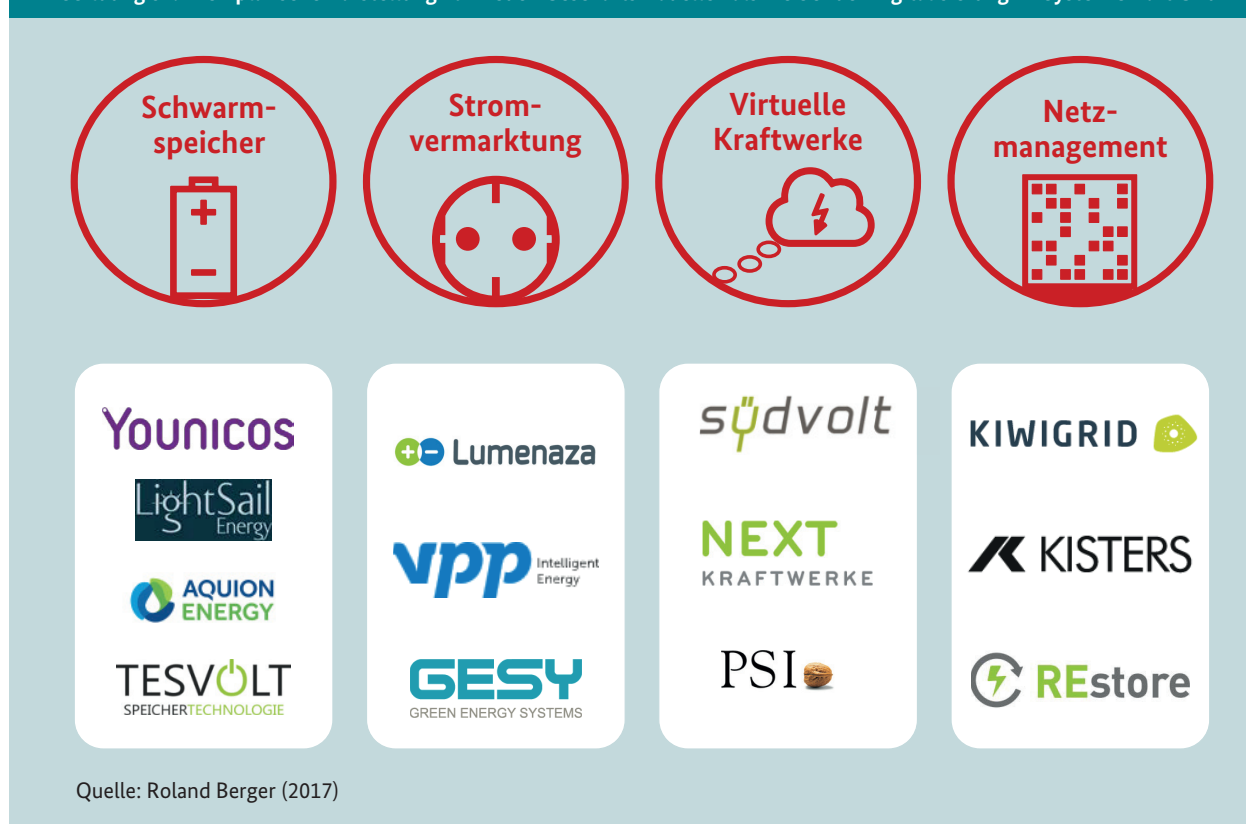
Die Digitalisierung des Stromnetzes ermöglicht neue Geschäftsmodelle für intelligente Speichertechnologien und effektives Lastmanagement (siehe Abbildung 84), die sowohl von etablierten Unternehmen als auch von Startups entwickelt werden. Sie leisten einen signifikanten Beitrag zum Aufbau der digitalen Systeme und beschleunigen deren Weiterentwicklung.

Mechanische, elektrische und industrielle elektrochemische Energiespeicher bieten vollkommen neue Möglichkeiten zum Lastausgleich und ermöglichen so die Integration von erneuerbaren Energien. Das Thermodynamik-Unternehmen LightSail Energy entwickelt beispielsweise Speicherlösungen mittels Luftverdichtung und gleichzeitiger Wärmespeicherung. Das Unternehmen Younicos hat sich auf die großformatige Batterietechnologie spezialisiert und errichtet unter anderem Batteriespeicherkraftwerke. Dank ihrer schnellen Einsatzbereitschaft (etwa 3.000-mal schneller als konventionelle Kraftwerke) ermöglichen diese Parks wirtschaftliche Primärregelleistung und erleichtern so die Integration der erneuerbaren Energien in bestehende Stromnetze.

Die Voraussetzungen für das Geschäftsmodell Stromvermarktung werden durch die intelligente Vernetzung von Einspeisern und Netzen im Zuge der Digitalisierung geschaffen. Geschäftsgrundlage des Unternehmens Lumenaza ist eine Software-Plattform, die Stromproduzenten und -verbrauchern als Marktplatz dient.⁵⁵ Die Technologie optimiert mithilfe von Algorithmen dezentrale Anlagen einer Region. So werden Erzeugung und Verbrauch zu einer ausgeglichenen Strombilanz abgestimmt. Dabei übernehmen Speicher eine wichtige Rolle, die in Zeiten von Überangebot den Strom aufnehmen. So wird die Region unabhängiger und muss weniger Strom an der Börse zukaufen. Außerdem hat Lumenaza ein Control-Gateway entwickelt, das lokale Erzeugungs- und Verbrauchsanlagen steuern kann. Damit ist das Unternehmen in der Lage, alle Aufgaben eines klassischen Versorgers als Dienstleistung zu übernehmen.

Die durch die Digitalisierung geförderte Dezentralität der Prosumer ermöglicht neue Geschäftsmodelle für die Anwendung von virtuellen Kraftwerken. Kleine und mittelgroße dezentrale Stromerzeuger wie Wind-

Abbildung 84: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Smart Grid



55 Siehe Lumenaza GmbH (2017).

und Solarparks, Wasserkraftwerke und Biogasanlagen bilden zusammen ein virtuelles Kraftwerk. Unternehmen wie Next Kraftwerke nutzen den Umstand, dass Strom nicht immer zum selben Preis gehandelt wird.⁵⁶ Tausende Mitglieder in einem virtuellen Kraftwerk profitieren davon, denn sie produzieren und verbrauchen Strom, wenn es für das Gesamtsystem sinnvoll ist. Netzwerkeffekte sorgen für die kritische Masse, um an verschiedenen Strommärkten aktiv zu sein.

Das digitale System Smart Grid benötigt auch ein wirksames Netzmanagement, um das komplexe Zusammenspiel der diversen Komponenten zu verwalten. Gerade die Systemintegration von Energiewende-

technologien (Wärmepumpen, Elektromobilität usw.) stellt neue Anforderungen an urbane Stromnetze. Zur Bewältigung dieser Herausforderung haben Unternehmen verschiedene Lösungsansätze in Geschäftsmodelle umgesetzt. Kisters nutzt die Expertise in der Softwareentwicklung und unterstützt mit seinen Lösungen die optimale Gewinnung, Verteilung und Nutzung von Energie. Andere Unternehmen wie Kiwigrid verfolgen einen ganzheitlichen Ansatz und bieten neben Software auch Hardware für das Smart Grid-Management an, ein flexibles, offenes und anpassbares Gateway zur Energy Cloud.⁵⁷ Dadurch wird eine Abstimmung zwischen den einzelnen Grid-Komponenten möglich.



⁵⁶ Siehe Next Kraftwerke GmbH (2017).

⁵⁷ Siehe ZAE Bayern (2017).

Effekte und Potenziale der Digitalisierung für die GreenTech-Branche

Ökonomische Potenziale der Digitalisierung

Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz stellt schon heute einen stark wachsenden Markt dar. Die Digitalisierung kann den Expansionskurs dieser Branche weiter beschleunigen: Bedingt durch Synergie- und Systemeffekte, die aus dem Ausbau der digitalen Systeme entstehen, wird die Nachfrage nach Produkten, Verfahren und Dienstleistungen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz voraussichtlich steigen.

Die Berechnungen prognostizieren für die GreenTech-Branche in Deutschland im Jahr 2025 durch die Digitalisierung ein zusätzliches Marktvolumen von mehr als 20 Milliarden Euro, das entspricht drei Prozent des insgesamt prognostizierten Marktvolumens 2025. Der Beitrag der einzelnen Leitmärkte zu diesem Potenzial fällt allerdings unterschiedlich aus (siehe Abbildung 85). Am geringsten ist das durch die Digitalisierung induzierte zusätzliche Wachstum in den Leitmärkten Nachhaltige Wasserwirtschaft sowie Rohstoff- und Materialeffizienz.

Die Energieeffizienz als größter Leitmarkt weist mit 7,2 Milliarden Euro zusätzlichem Marktvolumen durch die Digitalisierung im Jahr 2025 auch den höchsten Digitalisierungseffekt in absoluten Volumina auf. Ebenfalls große zusätzliche Wachstumspotenziale durch die Digitalisierung ergeben sich mit 4,2 Milliarden Euro im Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie. Das geringste zusätzliche Marktvolumen durch die Digitalisierung ergibt sich mit nur 0,8 Milliarden Euro im Jahr 2025 im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft, welcher mit 1,9 Prozent auch das geringste zusätzliche Marktwachstum aufweist. In diesem Markt liegt der Schwerpunkt auf der Infrastruktur, die durch hohe Nutzungsdauern nur langsam von der Digitalisierung durchdrungen wird. Im Folgenden werden für die einzelnen Leitmärkte die Treiber anhand von Technologielinien und der Hebel der Digitalisierung analysiert und erläutert.

Zur Methodik: Die Berechnung der ökonomischen und ökologischen Effekte

Das in diesem Kapitel ermittelte zusätzliche Marktvolumen durch die Digitalisierung ergibt sich aus dem Roland Berger Marktmodell der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Seinen Ausgangspunkt bilden dabei die Technologielinien (Produkte, Verfahren und Dienstleistungen), in einem Bottom-up-Ansatz werden aus den Technologielinien die Größe der Marktsegmente und Leitmärkte errechnet (siehe detailliert Seite 47).

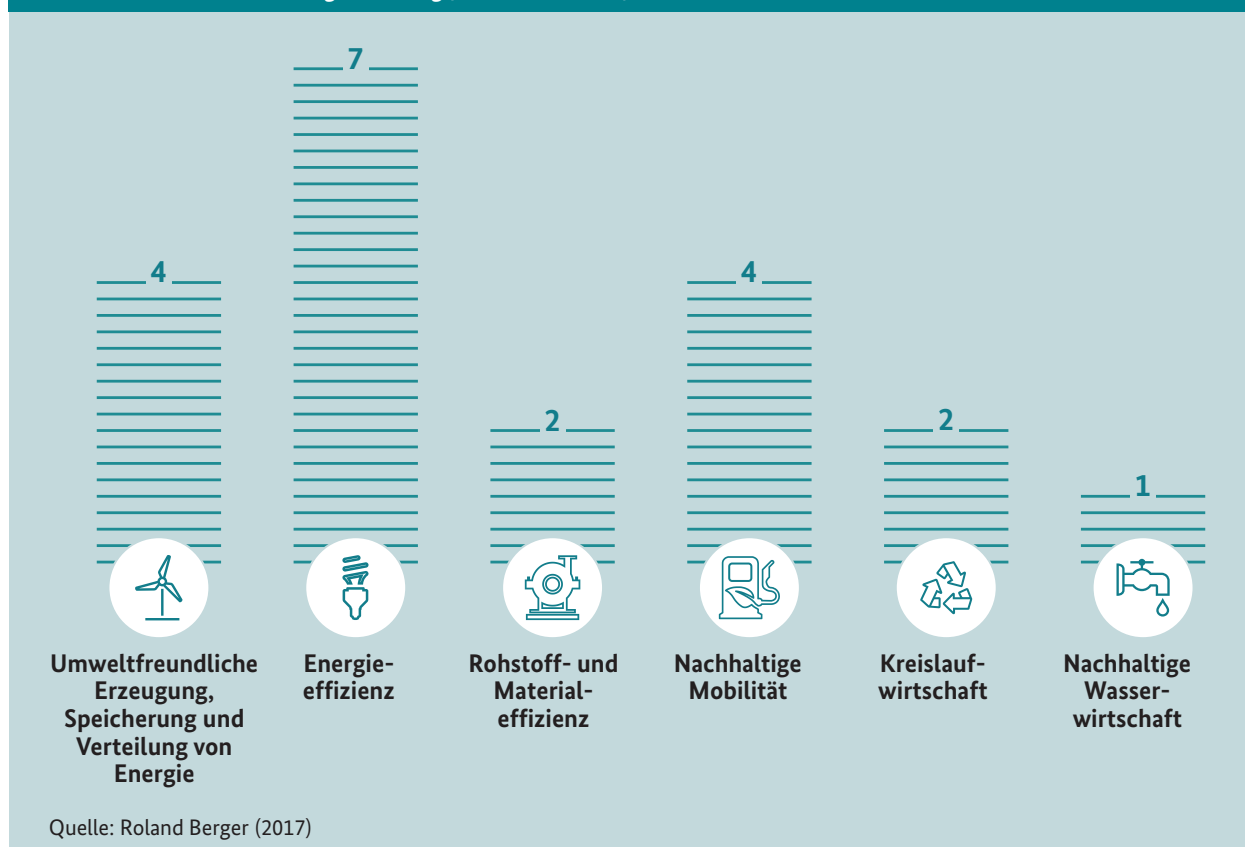
Die vorgestellten fünf digitalen Systeme decken bereits den Großteil des Gesamtmarktes der Umwelt-

technik und Ressourceneffizienz ab, der von der Digitalisierung betroffen ist. Damit können ökonomische und ökologische Analysen der digitalen Systeme als Grundlage für die Berechnung dienen. Diese werden, gegliedert in Marktsegmentebene, auf den Gesamtmarkt hochgerechnet.

Allen Berechnungen liegen als Annahmen der aktuelle gesetzliche Rahmen, die derzeit verfügbare Technologie, bestehende Akteure und aufkommende Geschäftsmodelle sowie die historische Dynamik von Innovationen zugrunde.



Abbildung 85: Zusätzlich erzielbares Marktvolumen der Leitmärkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland 2025 durch Digitalisierung (in Milliarden Euro)



Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie

Von 2016 bis 2025 wächst der Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie von 79 Milliarden Euro auf insgesamt 135 Milliarden Euro. Das entspricht einem gesamten Marktwachstum von 56 Milliarden Euro oder durchschnittlich 6,2 Prozent pro Jahr in den kommenden neun Jahren. Berücksichtigt man die Effekte der Digitalisierung, ergibt sich ein zusätzliches Leitmarktvolumen von 3 Prozent im Jahr 2025. Damit steigt das gesamte Leitmarktvolumen unter Berücksichtigung der zusätzlichen Impulse durch die Digitalisierung auf 139 Milliarden Euro.

Für das zusätzliche Marktvolumen durch die Digitalisierung sind steigende Marktvolumina der Technologielinien Erneuerbare Energien, elektrochemische Speicher und Regeltechnik für Netze verantwortlich. Ein Kernhebel ist die Vernetzung von Anlagen zur Speicherung und Erzeugung von Energie. So werden dezentrale Lösungen wirtschaftlich attraktiver.

Bei der Erzeugung von Energie nehmen die regenerativen Energiequellen eine wesentliche Rolle ein. Im

Jahr 2025 ergibt sich im Marktsegment Erneuerbare Energien durch die Digitalisierung ein zusätzliches Marktvolumen von 1,7 Milliarden Euro. Eine besondere Bedeutung kommt dabei Photovoltaik- und Windkraftanlagen zu, die sich durch Vernetzung besser dezentral und effizienter betreiben lassen. Im Bereich der Speichertechnologien, die ein zusätzliches Marktvolumen von 1,5 Milliarden Euro (plus 9 Prozent) durch die Digitalisierung aufweisen, sind elektrochemische Speicher richtungsweisend. Diese werden mit dezentralen erneuerbaren Energien zusammen eingesetzt und durch die Auswertung von Verbrauchs- und Erzeugungsdaten beziehungsweise Lade- und Entlade-daten zu einer immer wichtigeren Komponente in den intelligenten Netzen. In diesen intelligenten Netzen spielen die Technologielinien Regelungstechnologien für Netze sowie Zähl- und Verbrauchsmesssysteme eine wesentliche Rolle; sie stellen auch die physische Verknüpfung der intelligenten Verteilnetze sowohl mit der Intra- als auch mit der Intervernetzung dar. Mit einem zusätzlichen Marktvolumen von 1,3 Milliarden Euro (plus 16 Prozent) durch die Digitalisierung ergibt sich ein gesamtes Marktvolumen von 10 Milliarden Euro für das Marktsegment Effiziente Verteilungsnetze im Jahr 2025.

Leitmarkt Energieeffizienz

Der Leitmarkt Energieeffizienz kann durch die Digitalisierung um weitere 4 Prozent im Jahr 2025 wachsen. Das Marktvolumen von 182 Milliarden Euro im Jahr 2025 ohne Digitalisierung steigt durch das zusätzliche Marktvolumen durch Digitalisierung um 7 Milliarden Euro an. Damit weist der Leitmarkt Energieeffizienz in absoluten Zahlen das höchste Marktwachstum durch die Digitalisierung auf. Vor allem die Marktsegmente Energieeffiziente Produktionsverfahren und Branchenübergreifende Komponenten werden durch die Digitalisierung verstärkt wachsen. Digitale Daten eröffnen über Verbrauchsmustererkennung und die Vernetzung von wichtigen Produktionskomponenten hohe Effizienzpotenziale, die durch digitalisierte Systeme der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz optimal ausgeschöpft werden können.

Das stärkste relative Wachstum aller Marktsegmente weisen dabei die Energieeffizienten Produktionsverfahren auf. Durch die Digitalisierung kann deren Marktvolumen um 0,6 Milliarden Euro (plus 19 Prozent) auf 3,5 Milliarden Euro wachsen. Ein Treiber ist beispielsweise die zunehmende Automatisierung in der Industrie durch die Digitalisierung. Diese erfasst auch das Marktsegment der Branchenübergreifenden Komponenten, das unter anderem elektronische Antriebe in Produktionsanlagen beinhaltet. Im Jahr 2025 wird dieses volumenmäßig größte Marktsegment durch die Digitalisierung von 100 Milliarden Euro auf 105 Milliarden Euro wachsen.

Die Marktsegmente Energieeffizienz von Gebäuden und Energieeffizienz von Geräten profitieren mit jeweils 3 Prozent zusätzlichem Marktvolumen im Jahr 2025 durch Digitalisierung (1,3 Milliarden Euro beziehungsweise 0,9 Milliarden Euro) von den Hebeln der digitalen Transformation.

Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz

Von 2016 bis 2025 wächst der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz um 92 Milliarden Euro auf insgesamt 155 Milliarden Euro. Das entspricht einem durchschnittlichen jährlichen Marktwachstum von 10,5 Prozent. Berücksichtigt man dabei die Effekte der Digitalisierung, ergibt sich im Jahr 2025 ein zusätzliches Volumen von 1,9 Prozent. Damit steigt das Leitmarktvolumen im Jahr 2025 durch die zusätzlichen Potenziale der Digitalisierung von 155 Milliarden Euro auf 157 Milliarden Euro. Neben der Produktionsautomatisierung wirkt hier auch die digitale Planung, die den Einsatz von neuen umweltfreundlichen Materialien fördern und die Rohstoff- und Materialeffizienz verbessern wird.

Beim Blick auf die Ebene der Marktsegmente steigt das Marktvolumen der Materialeffizienten Produktionsverfahren durch die Digitalisierung von 18,6 Milliarden Euro auf 20 Milliarden Euro im Jahr 2025 an. Hier werden alle Herstellungsverfahren von Kunststoffwaren, Metallerzeugnissen und anderen Materialien optimiert. Eine weitere Säule ist die Technologielinie der Verfahren im Baugewerbe (Hochbau und Ausbaugewerbe). Dieser Markt kann durch die Effekte der Digitalisierung um 0,8 Milliarden Euro (plus 32 Prozent) wachsen. Bei Bauvorhaben und in der Produktion können ferner mehr nachwachsende Rohstoffe verwendet werden. Durch die Digitalisierung wird in dem Marktsegment der nachwachsenden Rohstoffe ein zusätzliches Marktvolumen von 0,4 Milliarden Euro (plus 9 Prozent) erwartet. Dies liegt vor allem am Wachstum der potenzialtragenden Technologielinien der Farben und Lacke sowie Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen. Deren Volumina wird im Jahr 2025 durch die Digitalisierung um 20 Prozent beziehungsweise 11 Prozent höher sein.

Leitmarkt Nachhaltige Mobilität

Der Leitmarkt Nachhaltige Mobilität wächst von 2016 bis 2025 um 83 Milliarden Euro auf insgesamt 157 Milliarden Euro. Das jährliche Marktwachstum beträgt 8,8 Prozent über den gesamten Betrachtungszeitraum. Berücksichtigt man dabei die Effekte der Digitalisierung, ergeben sich 2,1 Prozent zusätzliches Leitmarktvolumen im Jahr 2025. Damit steigt im Jahr 2025 das Leitmarktvolumen durch die Zusatzeffekte der Digitalisierung von 157 Milliarden Euro auf 160 Milliarden Euro. Dieser Zusatzeffekt ergibt sich im Wesentlichen durch Veränderungen beim Individualverkehr und die sich daraus ableitenden Investitionen in die Infrastruktur. So sind besonders die Marktsegmente Alternative Antriebe sowie Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung betroffen. Ein Treiber der Digitalisierung ist der erleichterte Kundenzugang, der insbesondere in der Individualität und der Einfachheit neuer und kombinierter Fortbewegungsmöglichkeiten zum Tragen kommt.

Im Bereich der alternativen Antriebe wird der Markt im Jahr 2025 durch die Digitalisierung 1,5 Milliarden Euro (plus 5 Prozent) größer sein als ohne deren Effekte und auf 34 Milliarden Euro wachsen. Diese Entwicklungen werden verstärkt durch den Einsatz von Elektroantrieben, aber auch durch ein starkes Wachstum in der Technologielinie Car Sharing, in der 65 Prozent mehr Marktvolumen durch die Digitalisierung im Jahr 2025 erwartet werden. Haupttreiber sind die Vernetzung und der digitale Kundenzugang. So können beispielsweise umweltfreundliche alternative Antriebe im Car Sharing

einfacher eingesetzt werden, da keine hohen akuten Investitionskosten für die Nutzer beziehungsweise Kunden entstehen. Die Bereitschaft, auch beim privaten Fortbewegungsmittel auf neue Antriebstechnologien zurückzugreifen, nimmt zu.

Im Marktsegment Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung steigert die Digitalisierung das Marktvolumen um 1,6 Milliarden Euro (plus 4 Prozent). Damit trägt die Digitalisierung wesentlich zum Ausbau der Technologielinien Fahrradwege, öffentlicher Personennahverkehr, aber auch Tankstelleninfrastruktur für alternative Antriebe bei.

Leitmarkt Kreislaufwirtschaft

Mit einem Marktvolumen von 32 Milliarden Euro im Jahr 2025 stellt der Leitmarkt Kreislaufwirtschaft einen eher geringen Anteil am Marktvolumen der GreenTech-Branche. Das jahresdurchschnittliche Marktwachstum beträgt 5,7 Prozent im Zeitraum von 2016 bis 2025. Durch die Effekte der Digitalisierung ergibt sich ein zusätzliches Leitmarktvolumen von 1,8 Milliarden Euro (plus 5,6 Prozent) im Jahr 2025. Die Digitalisierung fördert den Leitmarkt durch die Vernetzung der einzelnen Recyclingschritte und den Einsatz von Daten. Dies wirkt sich besonders auf die Marktsegmente Stoffliche Verwertung und Abfalltransport, -sammlung und -trennung aus.

Das Volumen des Marktsegmentes Stoffliche Verwertung im Jahr 2025 von 6,9 Milliarden Euro kann durch zusätzliche Effekte der Digitalisierung um 0,8 Milliarden Euro (plus 11 Prozent) zunehmen. Zu erklären ist dieser prozentual hohe Anstieg durch die Steigerung der Recyclingquoten durch die Digitalisierung. Die stoffliche Verwertung nimmt deutlich zu, und es verändert sich die Relation zwischen rohstofflichem und wertstofflichem Recycling für die Umwelt vorteilhaft. Beispielsweise tragen der höhere Einsatz von wiederverwendbaren Fertigelementen im Bau sowie die zunehmende Wiederverwertung von elektronischen Bauteilen zum Wachstum des Marktvolumens durch die Digitalisierung bei. Treiber ist der Einsatz von digitalen Daten zur Kennzeichnung von Produkten oder Gebäude(teilen), denn stofflich exakt charakterisierte Produkte und Materialien fördern eine effiziente Kreislaufwirtschaft. Auch das Volumen des Marktsegmentes Abfallsammlung, Abfalltransport und Abfalltrennung wird durch die Digitalisierung beeinflusst und wird von 20,9 Milliarden Euro um 1 Milliarde Euro (plus 5 Prozent) erhöht. Besonders im Bereich der Abfalltrennung ist ein maßgebliches Marktwachstum durch Automatisierung zu erwarten.

Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft

Von 2016 bis 2025 wächst der Leitmarkt um 50 Milliarden Euro auf insgesamt 77 Milliarden Euro. Das jährliche Marktwachstum beträgt 11,8 Prozent über den gesamten Betrachtungszeitraum. Berücksichtigt man dabei die Effekte der Digitalisierung, ergibt sich 2025 ein zusätzliches Marktvolumen von 0,8 Milliarden Euro (plus 1,1 Prozent).

Zentrales Thema im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft sind die digitalen Daten und die zunehmende Automatisierung. Die Effizienz sowohl bei der Wassernutzung als auch bei der Wassergewinnung und -aufbereitung wird dadurch nachhaltig verbessert.

Die prozentual geringe Zunahme des Marktvolumens zeigt bereits, dass die Digitalisierung wenig Einfluss auf die Umsatzentwicklung in diesem Leitmarkt besitzt. Gerade im Leitungsbereich ist die Nutzungsdauer mehrere Jahrzehnte lang. Digitale Sensoren finden wenig Verwendung und bauliche Optimierungen der Trink- oder Prozesswassernetze sind eher die Ausnahme. In den meisten Branchen wurden Kühl- und Prozesswasserkreisläufe bereits in der Vergangenheit stark optimiert. Daher liegt das stärkste Wachstum im Marktsegment Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung. Da Deutschland zudem nicht über große Bewässerungssysteme in der Landwirtschaft verfügt, steigt das Marktvolumen des Segments im Jahr 2025 durch die Digitalisierung nur von 12,7 Milliarden Euro auf 13,2 Milliarden Euro (plus 4 Prozent). Dem Markt wird allerdings in Hinblick auf die weltweite Situation bei Trinkwasserversorgung und landwirtschaftlicher Bewässerung starkes Exportpotenzial zugeschrieben. Hier lohnen sich Investitionen in Geodaten- beziehungsweise Wetterdatenanalysen mit Blick auf Wassereffizienztechnologien und klimangepasste Infrastruktur (Hochwasserschutz).

Ökologische Potenziale der Digitalisierung

Charakteristisches Merkmal der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz ist ein hohes Potenzial für eine Entlastung der Umwelt und einen Schutz von Umweltgütern. Aufgrund des ökonomischen Marktwachstums der Branche ergeben sich also auch positive ökologische Effekte. Dabei wird das Umweltentlastungspotenzial als die Umweltentlastungswirkung aufgefasst, die durch die Nutzung eines Produkts, Verfahrens oder einer Dienstleistung erzielt wird. Durch die Digitalisierung werden die ökologischen Effekte weiter verstärkt. Im Folgenden werden die durch Einsparung von Energie und Material bewirkten Klimaschutzeffekte auf der Basis von eingesparten CO₂-Äquivalenten (kurz: CO₂e)

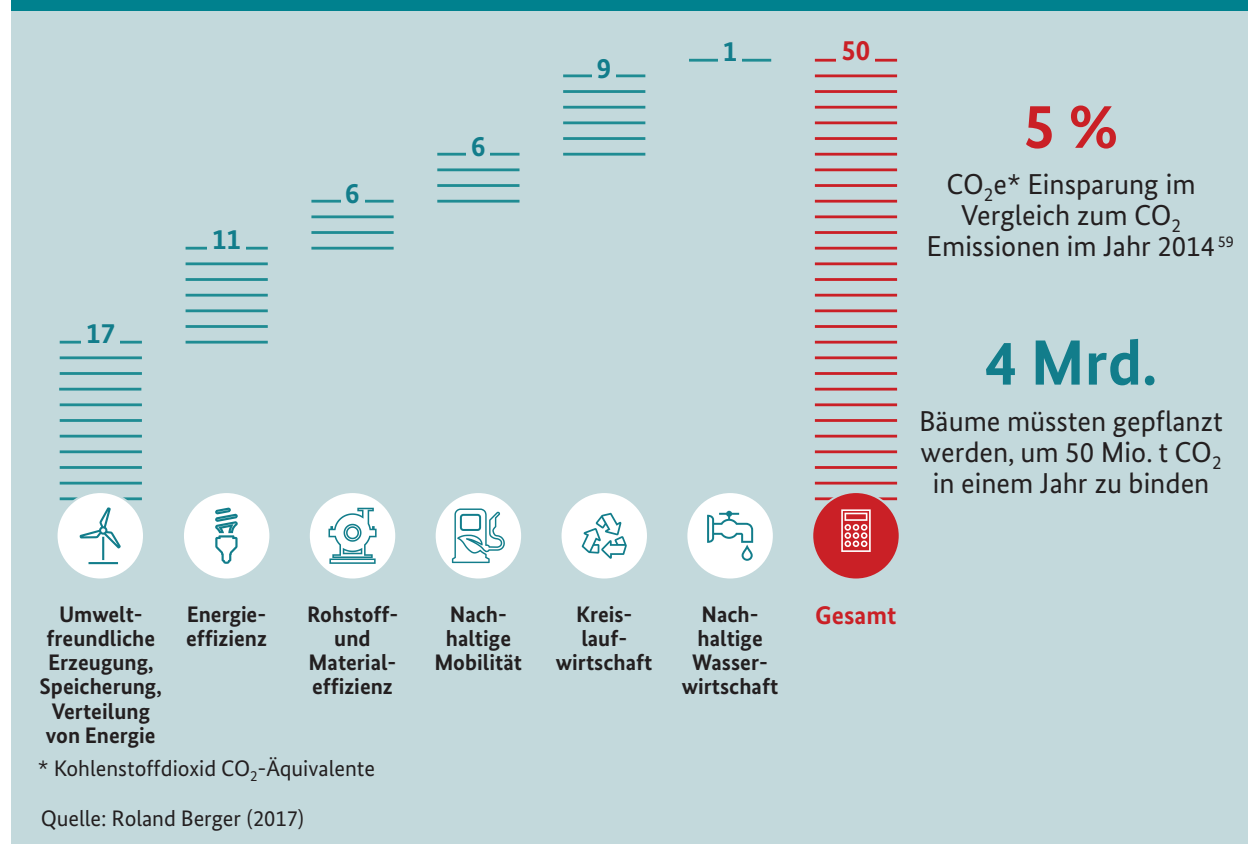
betrachtet.⁵⁸ Die CO₂e beinhalten den Ausstoß aller klimarelevanten Gase unter Berücksichtigung ihres jeweiligen Treibhauspotenzials. Bei der Berechnung der CO₂e-Emissionen, beispielsweise der Stromerzeugung, werden auch vor- und nachgelagerte Prozessketten berücksichtigt (Kraftwerksbau und -betrieb, Brennstoffgewinnung, -aufbereitung und -transport usw.). Neben dem Klimaschutz zeigt die Digitalisierung auch Wirkung in Bezug auf andere Umweltgüter wie Luft, Wasser, Boden, Artenvielfalt, Landschaft und Lärm. Diese werden bei der Betrachtung der einzelnen Leitmärkte exemplarisch berücksichtigt.

Die Größe des Umweltentlastungspotenzials der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz und ihrer einzelnen Leitmärkte variiert ebenso wie die Dynamik der Entwicklung bereits bei Vorhersagen unter konventionellen Rahmenbedingungen (also ohne Berücksichtigung der zusätzlichen Wirkung der Digitalisierung). Bei der Grünen Transformation und der Green Economy dienen auch nicht-digitale Lösungen zur Umweltent-

lastung. Von 2016 bis 2025 wird in den Leitmärkten Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie, Nachhaltige Mobilität, Kreislaufwirtschaft und Nachhaltige Wasserwirtschaft ein Wachstum des Umweltentlastungspotenzials erwartet. In den Leitmärkten Energieeffizienz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz wird dagegen ohne Digitalisierung mit einer teilweise deutlichen Abnahme des Umweltentlastungspotenzials gerechnet.

Erst durch die Digitalisierung lassen sich weitere Umweltentlastungspotenziale in allen Leitmärkten aktivieren. Denn sie verstärkt die Entlastungspotenziale, die auch ohne Digitalisierung prognostiziert werden. In den sechs Leitmärkten wird durch die Digitalisierung für das Jahr 2025 ein zusätzliches Umweltentlastungspotenzial in Höhe von 50 Millionen Tonnen CO₂e erwartet. Dies entspricht einer Reduktion der gesamten deutschen CO₂e Emissionen um 5 Prozent im Vergleich zum Jahr 2014 allein durch die Effekte der Digitalisierung.

Abbildung 86: Zusätzliche CO₂e-Einsparung (in Millionen Tonnen) durch Digitalisierung je Leitmarkt in Deutschland im Jahr 2025



58 CO₂-Äquivalent (englisch: CO₂ equivalents; CO₂e) ist das Maß für das Treibhauspotenzial einer Substanz. Die Wirkung einer bestimmten Menge eines Treibhausgases auf den Treibhauseffekt wird durch das sogenannte Treibhauspotenzial ausgedrückt (Global Warming Potential; GWP). Beschrieben wird dabei die mittlere Erwärmungswirkung über einen bestimmten Zeitraum. Das Treibhauspotenzial jedes Treibhausgases wird dabei auf Kohlendioxid (CO₂) umgerechnet.

59 Siehe Umweltbundesamt (2017e).

Die größten zusätzlichen Umweltentlastungen in Höhe von 17 Millionen Tonnen CO₂e im Jahr 2025 bewirkt die Digitalisierung im Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie. Ebenfalls starke zusätzliche Entlastungen ergeben sich im Leitmarkt Energieeffizienz mit Einsparungen von 11 Millionen Tonnen CO₂e. In den Leitmärkten Rohstoff- und Materialeffizienz sowie Nachhaltige Mobilität sind jeweils 6 Millionen Tonnen CO₂e an zusätzlichem Umweltentlastungspotenzial durch Digitalisierung zu erwarten, im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft sind es 9 Millionen Tonnen CO₂e. Im Markt Nachhaltige Wasserwirtschaft ist das zusätzliche Entlastungspotenzial mit 1 Million Tonnen CO₂e gering ausgeprägt.

Für die CO₂e-Einsparungen existieren drei Optionen: Ausgehend vom Energie- und Rohstoffverbrauch lassen sich Prozesse, Dienstleistungen und Produkte entweder vermeiden, substituieren oder effektiver gestalten. Die größte Wirkung in Bezug auf das Umweltentlastungspotenzial hat die Vermeidung. Da die meisten Roh- und Werkstoffe nicht in Deutschland gewonnen beziehungsweise produziert werden, entfaltet sich das Umweltentlastungspotenzial vorrangig global. Einen geringeren Effekt bewirkt die Substitution: Werden konventionelle Baumaterialien durch nachwachsende Baumaterialien ersetzt, nimmt zwar der Verbrauch an Material nicht ab. Es kommen aber umweltschonendere Produkte zum Einsatz, die ein positives Umweltentlastungspotenzial besitzen. Geringe Effekte auf das Umweltentlastungspotenzial hat dagegen die Effizienzsteigerung von Prozessen: Da der Prozess nicht grundsätzlich verändert wird, besitzt er meist eine Mindestemission. Außerdem besteht die Gefahr, dass die Klimabilanz in Summe negativ beeinflusst wird, wenn Geräte durch effizientere Nachfolgemodelle ersetzt werden; bei deren Herstellung fallen nämlich ebenfalls Emissionen an, die in der ökologischen Gesamtbetrachtung berücksichtigt werden müssen. Ein Beispiel dafür ist, wenn alte Klimaanlage durch neue ersetzt werden.

Im Folgenden werden die Umweltentlastungspotenziale entlang der einzelnen Leitmärkte analysiert und bewertet.

Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie

Im Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie ergibt sich ein zusätzliches Umweltentlastungspotenzial durch die Effekte der Digitalisierung von 17 Millionen Tonnen CO₂e im Jahr 2025. Insgesamt wird damit das zusätzliche Umweltentlastungspotenzial durch Digitalisierung in diesem Leitmarkt als sehr stark bewertet.

Die Digitalisierung erhöht die Wirtschaftlichkeit der erneuerbaren Energien durch die Vernetzung der Erzeugung, Speicherung und Verteilung von (vorwiegend elektrischer) Energie. Eingebunden in intelligente Netze kann die dezentrale Stromerzeugung ihr Potenzial voll entfalten und ihr Ausbau wird attraktiver. Dadurch verringert sich die Stromerzeugung aus fossilen Brennstoffen und der Ausstoß an CO₂e geht deutlich zurück. Aufgrund der großen Menge an Energie, die so gewonnen werden kann, liegt hier ein beachtliches Umweltpotenzial. Da gleichzeitig die CO₂-emissionsarme Kernenergie bis 2022 eingestellt wird, entsteht eine Stromerzeugungslücke, die durch die erneuerbaren Energien geschlossen werden muss.

Über den Klimaschutz hinaus profitieren auch andere Umweltgüter von der Entlastung durch Digitalisierung in dem Leitmarkt. Intelligente Stromnetze können den Bedarf an Hochspannungsleitungen verringern, deren Bau regelmäßig zu Umweltschädigungen und damit auch zu Protesten in der Bevölkerung führt. Durch die dezentrale Vernetzung mittels Smart Micro Grids in den Verteilnetzen und eine intelligente fragmentierte Speicherung von Energie werden die Übertragungsnetze, die heute bereits durch die Digitalisierung stark optimiert sind, weniger beansprucht. Damit bleiben Wälder und Landschaften erhalten.

Leitmarkt Energieeffizienz

Im Leitmarkt Energieeffizienz ergeben sich erst durch die Digitalisierung zusätzliche Potenziale, um den seit 2006 stagnierenden Trend bei der konventionellen Energieproduktivität neu zu beleben. Hier ergibt sich ein zusätzliches Umweltentlastungspotenzial durch die Effekte der Digitalisierung in Höhe von rund 11 Millionen Tonnen CO₂e im Jahr 2025. Insgesamt wird damit das zusätzliche Umweltentlastungspotenzial durch Digitalisierung im Leitmarkt Energieeffizienz als stark bewertet.

Die digitale Vernetzung von Geräten und Komponenten ermöglicht es, ineffiziente Insellösungen, etwa in der Klimatechnik, zu vermeiden und stattdessen ein effizientes Management des Energieverbrauchs im industriellen, gewerblichen oder privaten Bereich einzuführen. Auch in vernetzten Produktionsanlagen lassen sich Entlastungseffekte durch energieeffiziente Produktionsverfahren erzielen. So verringert sich der allgemeine Bedarf an Energie durch die Digitalisierung. Damit können sowohl die Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger als auch die Auswirkungen ihrer Förderung auf Landschaft und Gewässer reduziert werden. Anders als im Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie

führt dies allerdings nicht zwingend zu einer Veränderung der Anteile der Energieträger an der Bruttostromerzeugung.

Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz

Im Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz lässt sich durch die Effekte der Digitalisierung ein zusätzliches Umweltentlastungspotenzial von rund 6 Millionen Tonnen CO₂e im Jahr 2025 realisieren. Insgesamt wird damit das zusätzliche Umweltentlastungspotenzial durch Digitalisierung im Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz als moderat bewertet.

In diesem Leitmarkt wirkt die Digitalisierung über zwei Hebel: erhöhte Transparenz und neue Produktionsverfahren. Zum einen lassen sich durch die Verwendung von digitalen Daten Informationen einfacher nutzen; so ist beispielsweise der Einsatz von Rohstoffen bei Herstellungsprozessen leichter nachzuvollziehen und zu optimieren. Zum anderen wird die Rohstoff- und Materialeffizienz durch neue Produkte und Produktionsverfahren, wie beispielsweise die adaptive Fertigung, deutlich erhöht.

Der effiziente Einsatz von Rohstoffen wird nicht zuletzt auch in Produkten der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) immer wichtiger. Die Ressourcen sind begrenzt, und die wertvollen Bodenschätze werden unter schwierigen Umwelt- und Arbeitsbedingungen abgebaut. Die Digitalisierung kann Produktinformationen transparenter machen und auf diese Weise die Bevölkerung stärker für umweltrelevante Themen sensibilisieren. Baumaterialien werden unter besseren Bedingungen für das Raumklima und das Wohlbefinden der Nutzer ausgesucht. Natürlich nachwachsende Rohstoffe kommen zum Einsatz. Aber auch klassische Rohstoffe können zunehmend reduziert werden. Durch automatische Produktionsanlagen und eine umfassende Simulation werden materialeinsparende Prozesse in Zukunft in der Lage sein, ihr digitales Potenzial vollständig zu entfalten. Die additive Fertigung ist ein Beispiel für solche digital gesteuerte Prozesse: Sie ersetzt massive Konstruktionen durch von der Natur inspirierte optimierte, filigrane und materialsparende Strukturen.

Leitmarkt Nachhaltige Mobilität

Im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität lässt sich durch die Digitalisierung im Jahr 2025 ein zusätzliches Umweltentlastungspotenzial von 6 Millionen Tonnen CO₂e erzielen. Insgesamt wird damit das zusätzliche Umweltentlastungspotenzial durch Digitalisierung als moderat bewertet.

Die Effekte der Digitalisierung auf das Umweltentlastungspotenzial im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität beruhen vor allem darauf, dass weniger Kilometer gefahren werden und so der CO₂-Ausstoß sinkt. Komfortable digitale Tools machen Angebote wie Car Sharing für die Nutzer attraktiver und fördern damit auch die Verbreitung von umweltfreundlicheren Antrieben. Außerdem erhöhen sie die Attraktivität und den Komfort des öffentlichen Nah- und Fernverkehrs, steigern so dessen Nutzung und verringern den motorisierten Individualverkehr. Die digitale Welt und ihre Geräte machen zudem in Deutschland dem Auto seine Rolle als Statussymbol streitig. Die Nutzer betrachten es zunehmend als Gebrauchsgegenstand und nur noch als eine von vielen Optionen für die Mobilität. Eine intelligente Infrastruktur bietet den Rahmen für diese Entwicklung. Optimierte Routenplanung und die Analyse der Verkehrsflüsse führen nicht nur zu Zeitgewinnen, sondern sparen auch CO₂ durch verringerte Fahrtstrecken und Stauzeiten. Zusätzlich zum Klimaschutzpotenzial werden die Umweltgüter Lärm, Landschaft und Luft entlastet, wovon die Menschen direkt profitieren – im Gegensatz zu den CO₂-Einsparungen, deren Wirkungen verzögert und indirekt spürbar sind.

Leitmarkt Kreislaufwirtschaft

Im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft ergibt sich durch die Effekte der Digitalisierung ein zusätzliches Umweltentlastungspotenzial von 9 Millionen Tonnen CO₂e im Jahr 2025. Insgesamt wird damit das zusätzliche Umweltentlastungspotenzial durch Digitalisierung als moderat bewertet.

Haupttreiber für zusätzliche digital induzierte Umweltentlastungspotenziale im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft sind die Automatisierung und die Datenanalyse, die zu weniger Abfall und einer hohen wertstofflichen Verwertung führen. Die Recyclingquote in allen Bereichen des Konsums und der Produktion kann deutlich erhöht werden, da die Wiederverwendung durch digitale Planung und Markierung unterstützt wird. Die Digitalisierung bietet vielfältige Chancen, um geschlossene Produktkreisläufe zu entwickeln. Eine weitere Reduktion der Rohstoffentnahmen schützt nicht nur die Landschaft, sondern verringert auch CO₂-Emissionen, die beim Abbau von Rohstoffen anfallen. Mit den Ansätzen der Shared Economy und Cradle-to-Cradle wird die Kreislaufwirtschaft neu gedacht. Dabei werden auch Deponien als Rohstoffquelle erschlossen. Die Automatisierung in der Abfalltrennung erhöht die Effizienz, aber vor allem auch die Wertigkeit der Verwertung. Es ist ein Lösungsansatz, um die Vorzerkleinerung durch intelligente selektive Prozesse abzulösen.

Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft

Im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft lässt sich durch die Effekte der Digitalisierung im Jahr 2025 ein zusätzliches Umweltentlastungspotenzial von 1 Million Tonnen CO₂e erzielen. Insgesamt wird damit das zusätzliche Umweltentlastungspotenzial als gering bewertet. Die Digitalisierung entfaltet in diesem Leitmarkt vor allem durch intelligente Sensoren und Prozessoptimierung ökologisches Potenzial. Durch die Vernetzung von Bewässerungsanlagen mit Wetter- und Klimadaten kann die Effizienz der Wassernutzung vor allem im landwirtschaftlichen Bereich erhöht werden. In Deutschland ist im Gegensatz zu vielen anderen, stärker landwirtschaftlich geprägten Ländern die industrielle Produktion der Bereich mit dem größten Wassereinsatz und damit dem höchsten Potenzial, das Umweltgut Wasser zu sichern und die Reinhaltung der Gewässer zu gewährleisten. Die Digitalisierung erlaubt hier ein intelligentes Wassermanagement, das Systeme, Komponenten und Software vernetzt, um Daten über den Wasserkreislauf zu generieren, die einen hohen Automatisierungsgrad, kurze Reaktionszeiten und die Verarbeitung von Informationen in Echtzeit ermöglichen. Verluste durch das Rohrsystem können genau überprüft werden und Rückmeldung an die Einspeisung geben. Abwasserreinigung und -aufbereitung können intelligent in den Wasserkreislauf integriert werden und den Bedarf an Frischwasser reduzieren. Insgesamt wird dadurch nicht nur das Umweltgut Wasser geschützt, sondern auch ein Beitrag zur Erhaltung der Artenvielfalt in Gewässern geleistet. Darüber hinaus wird auch der Energieverbrauch in intelligenten Wassermanagementsystemen reduziert, da der Bedarf an Wasseraufbereitung durch intelligente Steuerung reduziert werden kann. Beispiele für die Digitalisierung in diesem Leitmarkt finden sich unter den Stichworten Zero Liquide Discharge oder Hydraulische Simulation von Anlagen.



7

Transformation der GreenTech-Branche und klassischer Wirtschaftszweige

Digitaler Wandel unterstützt ökologische Modernisierung

Die Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz tragen mit ihren Produkten, Verfahren und Dienstleistungen maßgeblich zur Bewältigung ökologischer Probleme bei. So werden auch in anderen Wirtschaftszweigen Impulse gesetzt, um die Grüne Transformation voranzutreiben. Besonders vielversprechend sind dabei integrierte Ansätze und Systemlösungen. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Digitalisierung: Sie bietet Chancen, Produkte, Prozesse und Geschäftsmodelle weiterzuentwickeln – vorausgesetzt, die GreenTech-Akteure stellen sich den Herausforderungen des digitalen Wandels.



Auf einen Blick

Viele Green-Tech-Akteure stehen heute erst am Anfang der digitalen Transformation. Die Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz müssen sich vor allem fünf Herausforderungen stellen: den Kundenzugang sichern, die Flexibilität und Agilität erhöhen, digitale Kompetenzen ausbauen und neue Formen der Zusammenarbeit besser nutzen, die Finanzierung anpassen und ein digitales Leitbild entwickeln.

Die Querschnittsbranche Umwelttechnik und Ressourceneffizienz fördert die Grüne Transformation auch in anderen Wirtschaftszweigen und setzt dabei wesentliche Impulse für die ökologische Modernisierung der Volkswirtschaft. Seit 2007 hat der GreenTech-Anteil am Bruttoinlandsprodukt (BIP) in Deutschland kontinuierlich zugenommen und

wird bis 2025, so die Erwartung, auf 19 Prozent steigen.

Die Digitalisierung kann die Grüne Transformation unterstützen und beschleunigen, indem sie für viele Maßnahmen des Umwelt- und Klimaschutzes die technischen Voraussetzungen schafft. So können intelligente Systemlösungen durch die Vernetzung von Daten wesentlich höhere Energiespareffekte erzielen als nicht-automatisierte Prozesse. Zudem begünstigt die Digitalisierung Skaleneffekte; sie ermöglicht die Wirtschaftlichkeit und Diffusion von nachhaltigen Produkten und Services. Durch Digitalisierung können Informationen gebündelt und anschaulich dargestellt werden. Diese Erkenntnisse lassen sich für die Entwicklung von umweltfreundlichen Technologien und Dienstleistungen nutzen.

Der Begriff Green Economy beschreibt eine innovatororientierte Volkswirtschaft, die ökologische Risiken begrenzt und wirtschaftliche Chancen nutzt. Die Entwicklung vom Status quo hin zur Green Economy wird als Grüne Transformation bezeichnet. Der Begriff der Transformation bedeutet Umwandlung beziehungsweise Umformung. Das heißt, es geht um tiefgreifende, strukturelle Veränderungen, nicht um oberflächliche Anpassungsmaßnahmen. Das Konzept einer Transformation lässt sich auch auf die Ebene der Unternehmen übertragen. Sie haben einen zentralen Part bei der Annäherung an das Leitbild einer kohlenstoffarmen und ressourceneffizienten Green Economy. Um diese Schlüsselrolle ausfüllen zu können, müssen Unternehmen sich auf einen Transformationspfad begeben. In

diesem Kontext meint Transformation eine bewusste Entscheidung zu einer zielgerichteten und grundlegenden Veränderung. Ansatzpunkte sind die wesentlichen Dimensionen des Unternehmens: Führung und Verhalten der Mitarbeiter, Strukturen und Prozesse sowie die Positionierung am Markt.

Dieses Kapitel betrachtet verschiedene Facetten der Transformation. Im Fokus steht zunächst der Transformationsprozess, der den GreenTech-Unternehmen durch die Digitalisierung abverlangt wird. Danach wird anhand von Fallbeispielen beleuchtet, wie Unternehmen aus klassischen Branchen die Herausforderung der Grünen Transformation meistern.

Die digitale Transformation in der GreenTech-Branche

Die Digitalisierung eröffnet den deutschen Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz vielfältige Chancen, ihre Positionierung im Wettbewerb durch Innovationen ihrer Produkte und ihrer internen Prozesse zu verbessern. Andererseits riskieren Unternehmen, die den Megatrend Digitalisierung ignorieren, dass digitalaffine Konkurrenten ihnen Marktanteile abjagen. Es wird also Gewinner und Verlierer der digitalen Transformation geben. Darum müssen Unternehmen sich proaktiv mit der digitalen Transformation auseinander setzen. Ein erster Schritt dabei ist die Ermittlung

der „digitalen Readiness“: In welchem Maß sind die Unternehmen für die digitale Transformation bereit?

Die Ausgangslage der Unternehmen in den GreenTech-Leitmärkten wurde anhand der vier Kriterien Gründungsaktivitäten, Anwendung digitaler Technologien, Vorhandensein von digitalen Systemen und Innovationsdynamik ermittelt. Auf Basis einer qualitativen Einschätzung dieser vier Kriterien wurde für jeden Leitmarkt der Grad der digitalen Readiness auf einer Skala von 0 bis 100 Prozent errechnet (siehe Abbildung 87).

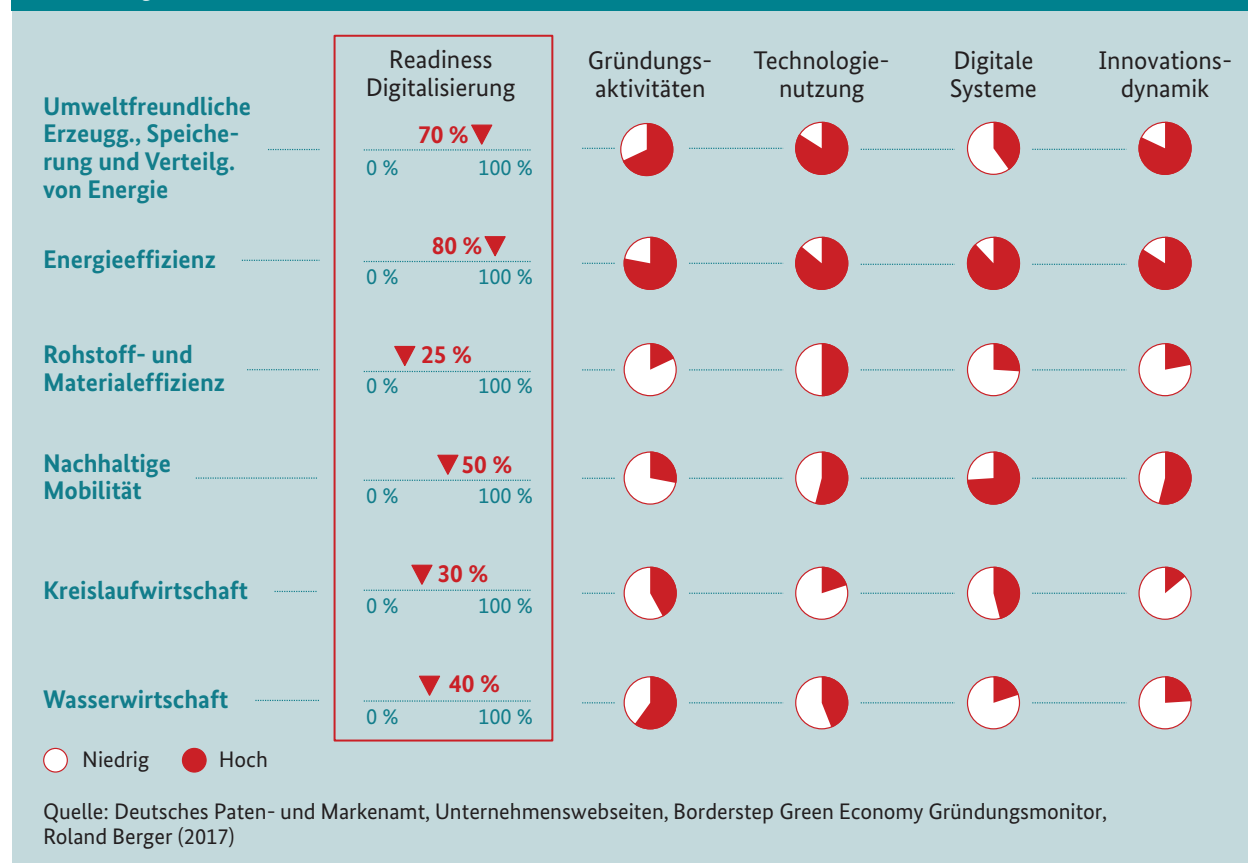
Mit einem Wert von 80 Prozent erreicht die Energieeffizienz bei der digitalen Readiness die höchste Bewertung aller GreenTech-Leitmärkte. Eine Vielzahl von Neugründungen mit einem breiten Angebot innovativer digitaler Effizienzdienstleistungen ist der Hauptgrund für die starke digitale Ausgangsposition. Hinzu kommt das bereits starke Vorhandensein von digitalen Systemen, was darauf hindeutet, dass das Technologieumfeld bereits entwickelt ist. Innovative Technologien und neue Geschäftsmodelle können so im Markt schneller Anwendung finden.

Mit einem Wert von 70 Prozent schneiden die Unternehmen des Leitmarktes Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie in der Gesamtbewertung der digitalen Readiness ebenfalls gut ab. Digitale Lösungen zahlreicher Startup-Unternehmen im Bereich der Steuerung und Integration von erneuerbaren Energien und Speichertechnologien zeigen, dass in einigen Marktsegmenten bereits digitale Technologien zum Einsatz kommen und erfolgreich am Markt platziert sind.

Im Gegensatz dazu ist die digitale Ausgangslage im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft mit einer Readiness von 30 Prozent weniger stark ausgeprägt. Nur wenige Unternehmen der Abfallwirtschaft nutzen digitale Technologie oder führen aktuell Pilotprojekte durch, beispielsweise im Bereich der dynamischen Abfallsammlung oder der digitalen Kennzeichnung von Verbrauchsgütern. Dies hemmt nicht zuletzt die Innovationsdynamik und damit die Anzahl von Patentanmeldungen in diesem Bereich.

Der Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz steht erst am Anfang des digitalen Wandels. Der Wert von 25 Prozent in der Gesamtbewertung der digitalen Readiness macht dies deutlich. Die Gründungsaktivitäten sind aufgrund der komplexen Themen und langfristigen Entwicklungsprozesse, in einem überwiegend durch industrielle Produktion gekennzeichneten Bereich, noch sehr gering. Hinzu kommt eine geringe Innovationsdynamik im Bereich digitaler Dienstleistungen. Dies wird auch durch die wenigen Patentanmeldungen im Zusammenhang mit digitalen Innovationen im Leitmarkt deutlich. Erst allmählich wird das Thema Rohstoff- und Materialeffizienz auch im Kontext Industrie 4.0 als relevanter Baustein betrachtet.

Abbildung 87: Digitale Readiness der sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland und Bewertungskriterien



Bewertung der Digitalisierung durch die Unternehmen

Die Eigenwahrnehmung und die Außensicht können durchaus voneinander abweichen. Im Rahmen der Unternehmensbefragung war deshalb ein wichtiger Aspekt, wie die GreenTech-Akteure selbst die Digitalisierung bewerten und wahrnehmen. Eine Fragestellung bezog sich dabei auf den Einfluss der Digitalisierung auf die verschiedenen Wertschöpfungsstufen. Grundsätzlich erwarten Unternehmen eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit, verbesserte Kenntnisse über Märkte und Kunden sowie neue Service- und Kooperationsmöglichkeiten. Allerdings sehen die befragten Unter-

nehmen insbesondere im Bereich der Entwicklung von energieeffizienten und ressourcenschonenden Produkten, Verfahren und Dienstleistungen keinen hohen Einfluss der Digitalisierung (siehe Abbildung 88).

Die GreenTech-Akteure wurden befragt, wie sie die Herausforderungen der Digitalisierung einschätzen. Dabei sollten sie den Grad der Zustimmung zu vorgegebenen Thesen angeben (siehe Abbildung 89). Es hat sich gezeigt, dass die meisten befragten Unternehmen die Datensicherheit sowie den zunehmenden Innovationsdruck als die größten Herausforderungen betrachten. Der Großteil der Unternehmen sieht in der Digitalisierung keine Bedrohung des eigenen Geschäftsmodells.

Abbildung 88: Einfluss der Digitalisierung auf die einzelnen Bereiche der Wertschöpfungskette

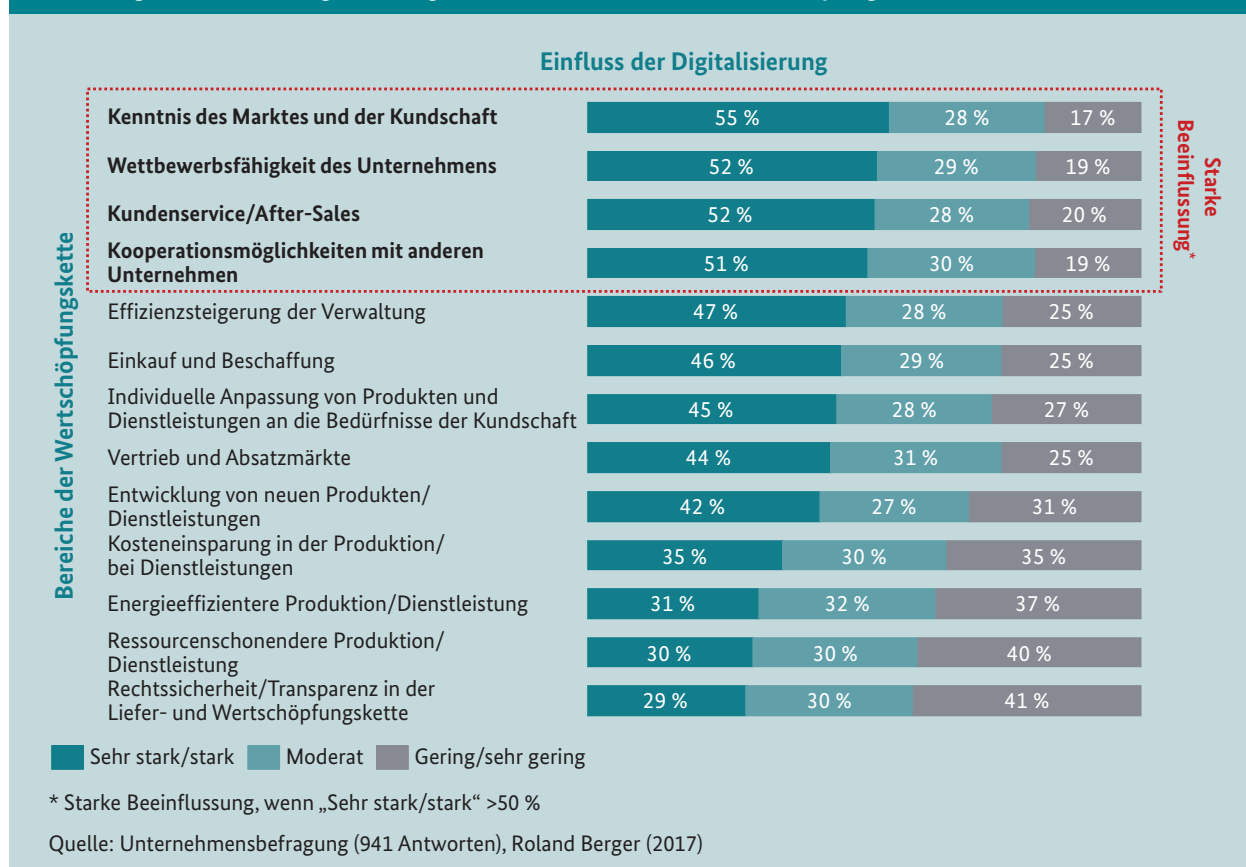
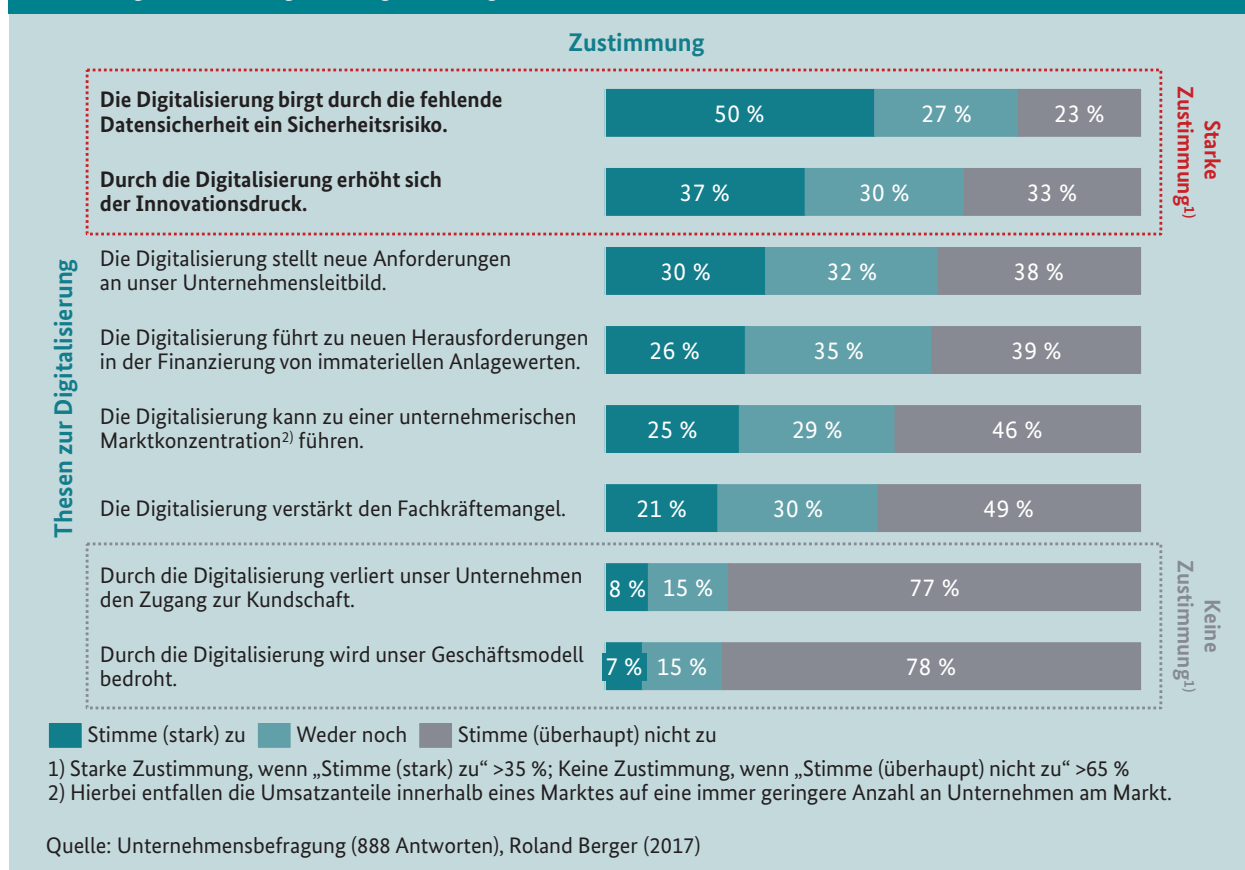


Abbildung 89: Auswirkungen der Digitalisierung aus Sicht der GreenTech-Unternehmen



Die fünf Herausforderungen der digitalen Transformation

Viele Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz stehen erst am Anfang der digitalen Transformation. Um deren Chancen zu nutzen und sich nicht ins analoge Abseits zu manövrieren, müssen sich die Akteure der GreenTech-Branche in Deutschland insbesondere fünf Herausforderungen stellen (siehe Abbildung 90).

Einige dieser Handlungsfelder sind dem Mittelstand bereits vertraut. Der Fachkräftemangel, die Finanzierung von Wachstumsstrategien sowie die Ausrichtung an einem klaren strategischen Leitbild sind Herausforderungen, vor die Unternehmen nicht erst durch die Digitalisierung gestellt werden. Allerdings hat die digitale Transformation den Zeitdruck verschärft: Die Akteure der in Deutschland stark mittelständisch geprägten GreenTech-Branche müssen diese Herausforderungen zügig angehen, damit sie zu den Gewinnern der Digitalisierung zählen.

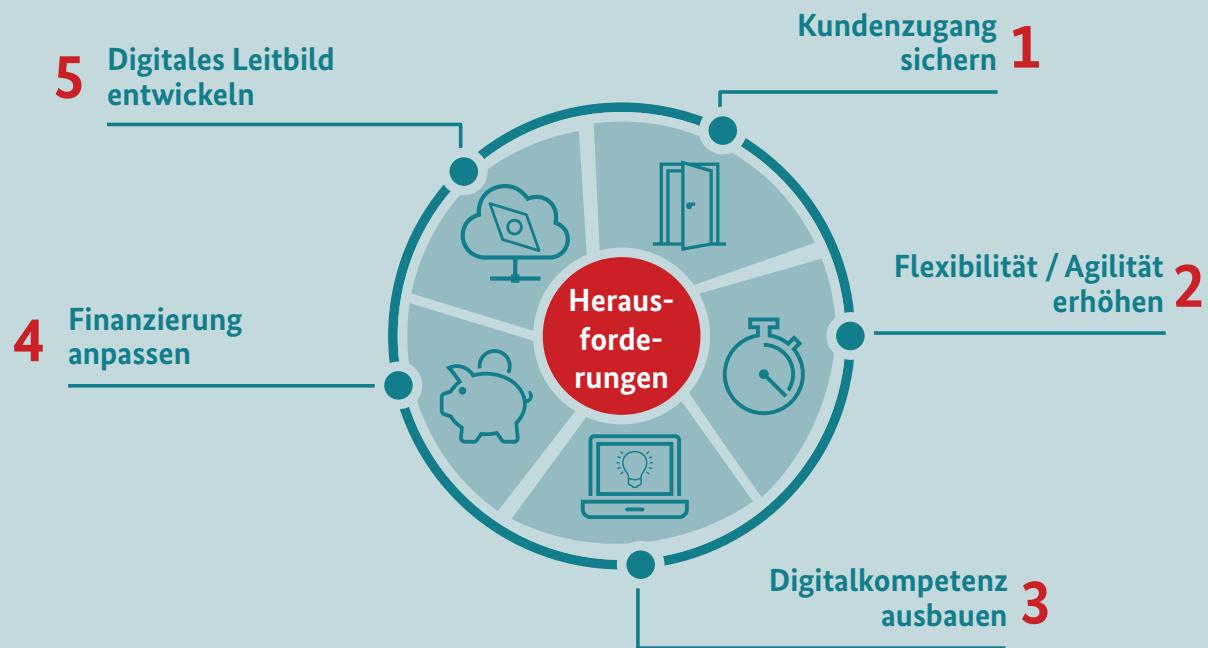
Herausforderung 1: Kundenzugang sichern

Die digitale Transformation verändert die Absatzwege: Der klassische Handel verliert an Gewicht, die Bedeutung des Online-Vertriebs nimmt immer mehr zu. Plattformen haben sich als ein zentrales Element der digitalen Ökonomie etabliert. Dazu gehören Vergleichs- und Bewertungsportale, Sharing-Plattformen, App-Stores und Online-Marktplätze. Solche Plattformen ermöglichen Unternehmen direkten Kundenkontakt – eine große Chance für die Anbieter von Produkten und Dienstleistungen, denn der Dialog mit den Abnehmern festigt die Kundenbindung und liefert Hinweise auf Verbesserungspotenzial in der Angebotspalette.

Plattformen bergen jedoch das Risiko, dass Intermediäre die Schnittstelle zwischen Produzent und Endkunden besetzen. Die Folge: Plattform-Betreiber können den Herstellern von Produkten und Dienstleistern ihre (Vertriebs-) Spielregeln aufzwingen. Dies schmälert häufig deren Margen und verschärft den Preiskampf, da Plattformen die Transparenz auf der Angebotsseite erhöhen.

Etablierte Unternehmen sollten diesen Tendenzen gegensteuern, indem sie eigene Vertriebsplattformen initiieren und gezielt Wertschöpfungspartner integrieren.

Abbildung 90: Digitalisierung in der Umwelttechnik- und Ressourceneffizienz – die fünf größten Herausforderungen für deutsche GreenTech-Unternehmen



Quelle: Roland Berger (2017)

ren. So schaffen sie Mehrwert für ihre Kunden, beispielsweise durch das Anbieten von Systemlösungen; hier agieren Hersteller, Installateure und Betreiber unterschiedlicher Unternehmen gemeinsam und stehen den Kunden mit einem festen Ansprechpartner beziehungsweise einer Plattform zur Verfügung. Die Kunden können sämtliche Produkte weiterhin direkt beim Hersteller beziehen, leichter individualisieren und zusätzliche Dienstleistungen und Systemlösungen gezielt nachfragen. Neue Geschäftsmodelle rund um Updates und Upgrades ermöglichen zusätzliche Erlösquellen und bauen eine langfristige Kundenbindung auf. Dies bietet gerade den Akteuren der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz den Vorteil, ihre Leistungsfähigkeit und Innovationskraft verstärkt in den Vertriebsprozess zu integrieren und als Wettbewerbsvorteil auszuspielen.

Herausforderung 2: Flexibilität/Agilität erhöhen

Immer schneller drängen neue Technologien und Geschäftsmodelle auf den Markt – die Digitalisierung beschleunigt die Innovationszyklen. Mit diesem Tempo können die tradierten Forschungs- und Entwicklungsprozesse in Unternehmen häufig nicht Schritt halten. Diese sind eher darauf ausgelegt, evolutionäre Entwicklungen voranzutreiben, statt disruptive Innovationen hervorzubringen. Hier erweisen sich agile Vorgehens-

weisen als erfolgversprechend: Charakteristisch für den agilen Ansatz ist unter anderem, bereits in einer frühen Phase des Innovationsprozesses Kunden-Feedback einzuholen, die iterative Produktentwicklung („Rapid Prototyping“) sowie die Prinzipien „Testen und lernen“ und „Gescheiter durch Scheitern“.

Diese Grundsätze der Agilität prägen vor allem die Kultur in Startups, können jedoch auch etablierte Unternehmen bereichern. Letztere besitzen heute insbesondere Geschwindigkeitsvorteile durch Erfahrungskurven in der Produktion.

Die Digitalisierung bietet den GreenTech-Unternehmen die Chance, ihren Umsatz zu steigern sowie die Effektivität und Effizienz zu erhöhen. Digitale Lösungen unterstützen einfache, schnelle Entscheidungen und Abläufe in der Organisation. Um diesen Effekt zu erzielen, müssen Unternehmen bereit sein, althergebrachte Strukturen in Frage zu stellen und traditionelle Denkweisen zu einem digitalen Mindset weiterzuentwickeln. Die Digitalisierung wird dabei nicht nur zentral von IT-Abteilungen unterstützt, sondern durch digitale Experten in den Projektgruppen. Grundsätzlich ist es im Kontext Digitalisierung nicht nur erlaubt, sondern bisweilen sogar unumgänglich, das eigene Geschäfts-

modell zu hinterfragen. Als erfolgversprechender Ansatz für die Entwicklung disruptiver Innovationen hat sich erwiesen, separate Projektgruppen mit eigenem Budget auszugliedern; diese Teams agieren wie Startups innerhalb der Organisation, wobei die Kreativität nicht durch die Zwänge des Tagesgeschäfts gebremst wird.

Herausforderung 3: Digitalkompetenz ausbauen

Unternehmen, die in der digitalen Ökonomie erfolgreich sein wollen, benötigen neben hochqualifizierten Fachleuten auch strategische Fähigkeiten in den digitalen Kernhebeln. Hinter den Schlagworten Industrie 4.0, Big Data, Apps und Wearables verbergen sich Geschäftsmodelle, Produkte und Dienstleistungen. Um sich im digitalen Neuland sicher zu bewegen, müssen Unternehmen verinnerlichen, dass die Digitalisierung alle Wertschöpfungsstufen sowie die Managementkultur der Organisation beeinflusst. Führungskräfte müssen Entscheidungsprozesse transparenter gestalten, kommunizieren und sicherstellen, dass vorhandene Fähigkeiten im Unternehmen konsequent genutzt werden können. Die Folgen der Digitalisierung nehmen keine Rücksicht auf etablierte Prozesse und Strukturen eines Unternehmens. Neue digitale Lösungen erfordern innerhalb der Organisation neue Formen der Zusammenarbeit, die nicht an Abteilungsgrenzen Halt machen darf. Die Kooperation in interdisziplinär besetzten Teams wird zunehmend wichtiger. Dazu bedarf es einer kollaborativen, problemlösungsorientierten Arbeitsumgebung, in der die Mitarbeiter auf Daten frei zugreifen können und bei der Kommunikation digital unterstützt werden. Cloud-Lösungen schaffen hierfür die notwendigen Voraussetzungen.

Damit Unternehmen den digitalen Wandel erfolgreich gestalten können, brauchen sie digitale Kompetenzen sowohl auf der strategischen als auch auf der operativen Ebene. Digital Literacy betrifft also nicht nur die IT-Abteilung, denn Digitalisierung ist eine Querschnittsaufgabe. Sie gelingt, wenn die Beschäftigten aller Unternehmensbereiche digitale Affinität mitbringen oder entwickeln. Insbesondere die Kombination von analytischen Fähigkeiten und Kreativität fördert Innovationen. Dieses Anforderungsprofil erfüllen gerade Absolventinnen und Absolventen von Ausbildungsrichtungen, die klassische Wissenschaften mit der digitalen Welt verknüpfen, wie beispielsweise Digital Engineering oder Entrepreneurship.

Herausforderung 4: Finanzierung anpassen

Die Digitalisierung verändert den Finanzbedarf entlang der gesamten Wertschöpfungskette. So wandelt sich vor allem der Stellenwert von materiellen und immateriellen Vermögenswerten. Die klassischen Anlageinves-

titionen umfassen zur langfristigen Nutzung bestimmte Produktionsmittel, etwa Maschinen, Gebäude oder Grundstücke. Solche materiellen Vermögenswerte waren bislang maßgebliche Parameter für die Beurteilung des Wertes oder der Kreditwürdigkeit eines Unternehmens. In der digitalen Ökonomie spielen jedoch immaterielle Vermögenswerte eine zentrale Rolle, beispielsweise neue Betriebssysteme, Patente, Mitarbeiter-Know-how, digitale Strategien oder Daten. Die Bewertung immateriellen Vermögens ist jedoch komplex; dementsprechend fällt vielen finanzierenden Banken und Kreditinstituten die Beurteilung neuer Geschäftsmodelle und deren Risiken noch schwer. Etablierte Formen des Kreditratings werden digitalen Geschäftsmodellen häufig nicht gerecht.

GreenTech-Unternehmen müssen in diesem Finanzierungsumfeld individuelle Lösungen gestalten. Grundsätzlich kommt in Frage, die Finanzierung durch den Abschluss langfristiger Kreditverträge abzusichern, die Eigenkapitalquote zu steigern und alternative Formen der Finanzierung zu erschließen, zum Beispiel Crowdfunding. Bei Geschäftsmodellinnovationen ist es außerdem möglich, das finanzielle Risiko durch Kooperationen mit Zulieferern oder Mitwettbewerbern zu verteilen. Auch Finanzierungsoptionen wie Miete, Leasing und Pay-per-Use gewinnen an Bedeutung. Damit können auch spezielle webbasierte Lösungen für Betriebsabläufe oder Big-Data-Analysen kostengünstig integriert werden. Ideallösungen stellen dabei die zunehmenden Open-Source-Produkte dar, die sowohl klassische Office-Tools aber auch spezifische Datenanalyse-Software kostenfrei ersetzen können.

Herausforderung 5: Digitales Leitbild entwickeln

Digitalisierung betrifft stets das gesamte Unternehmen, und zwar auf allen Stufen der Wertschöpfung. Demnach können die bislang genannten Handlungsempfehlungen nicht isoliert betrachtet werden. Sie lassen sich nur im Kontext einer umfassenden Digitalisierungsstrategie umsetzen. Die Entwicklung eines solchen digitalen Leitbilds sollte auf der Agenda der Geschäftsführung ganz oben stehen.

Tatsächlich verfügen bislang wenige Unternehmen über ein digitales Leitbild. Probleme und Hektik des Alltagsgeschäfts verhindern häufig die Auseinandersetzung mit strategischen Fragen. Unternehmen tun sich mitunter schwer, die zu erwartende Veränderung der Arbeits- und Lebenswelt zu erkennen und angemessen darauf zu reagieren. Noch immer ist die Ansicht weit verbreitet, dass die Digitalisierung „nur“ den Vertrieb oder ausschließlich Konsumgüter betrifft. So gehen viele Unternehmen die digitale Transformation halb-



herzig an und betten die Digitalisierung nicht in alle Bereiche des Unternehmens ein. Oft bleibt es bei dem Versuch, die IT-Infrastruktur anzupassen.

Für die GreenTech-Unternehmen gilt ebenso wie für die Akteure aus anderen Branchen, dass sie proaktiv an das Thema Digitalisierung herangehen sollten. Ein erster Schritt ist, sich ein Bewusstsein über die Digitalisierung mit den Kernhebeln und ihren Auswirkungen zu verschaffen. Dabei müssen die Einflüsse digitaler Technologien auf die Branche sowie auf das eigene Unternehmen analysiert werden. Dazu gehört vor allem die Analyse, welche disruptiven, durch die Digitalisierung angestoßenen Trends das eigene Geschäftsmodell und die Wettbewerbsposition gefährden können. Mit der Betrachtung von Risikoszenarien ist

es aber nicht getan. Es geht auch um die Chancen, die Prozesse, Produkte und Geschäftsmodelle unter den Bedingungen der digitalen Ökonomie weiterzuentwickeln. Ausgangspunkt dafür ist eine ehrliche Bestandsaufnahme, die offenlegt, welche Produkte, Kunden und Regionen durch den digitalen Wandel betroffen sind. Mit dieser Positionierung kann die Entwicklung eines digitalen Leitbildes mit einer klaren Vision und einer Landkarte für die Umsetzung Erfolg haben. Angesichts der Schnelllebigkeit der Internet-Ökonomie kann ein digitales Leitbild kein mittel- oder langfristig in Stein gemeißeltes Zielbild sein. Vielmehr ist die fortlaufende Evaluation und Anpassung des Zielbildes notwendig, denn die schnelle Anpassung an Veränderungen im Marktumfeld ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor einer Digitalisierungsstrategie.

Die Grüne Transformation klassischer Branchen

Die Green Economy kann als Wirtschaftsform definiert werden, die sich durch innovationsorientiertes, ökologisches und partizipatives Wachstum auszeichnet. Die drei Merkmale „innovationsorientiert“, „ökologisch“ und „partizipativ“ fassen unterschiedliche Handlungsfelder zusammen. Der Begriff „Innovatives Wachstum“ umspannt die Bereiche Bildung, Wissensvermittlung sowie Forschung und Entwicklung (FuE). In diese Bereiche fallen Themen wie beispielsweise Aktivitäten der Hochschulen bei der Lehre und Forschung in ökologisch relevanten Fachgebieten, Anzahl und Umfang staatlicher Förderprogramme für „grüne“ Forschungs- und Entwicklungsprojekte oder die Anzahl der Patentanmeldungen mit Bezug zur Umwelttechnik und Ressourceneffizienz.

Innerhalb des Handlungsfelds „Innovatives Wachstum“ tragen insbesondere die FuE-Aktivitäten von Universitäten, Hochschulen und Unternehmen erheblich zum Klima- und Umweltschutz bei. Diese Akteure

entwickeln Technologien sowie von Grund auf neue Produkte und Prozesse. Diese bilden das Fundament für innovatives, nachhaltiges Wachstum.

Die Gründung von „grünen“ Unternehmen kann durch kreative Ansätze die Lösung von Umweltproblemen beschleunigen. Kleine und mittelständige Unternehmen sind meist nicht an aufwendige interne Abstimmungsprozesse gebunden, sondern können von sich aus oder mit den Kunden innovative, disruptive Technologien und Verfahren entwickeln. Erfolgreiche Technologien können vom Gesamtmarkt schnell aufgenommen und weiter verbreitet werden.

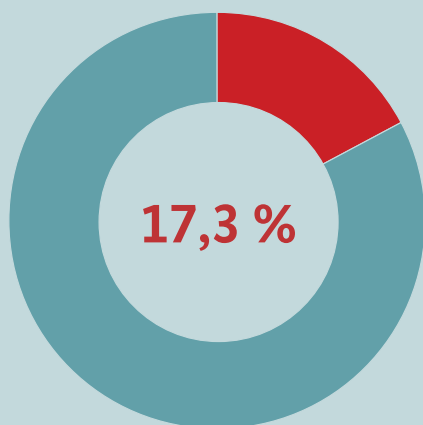
Mit einem Anteil von 17 Prozent „grüner“ Startups an den gesamten Unternehmensgründungen liegt Deutschland im europäischen Spitzenfeld. Dabei stellen Gründungen in den Branchen Bau und Handel zusammen einen Anteil von 39 Prozent an allen deutschen „grünen“ Startups (siehe Abbildung 91).

Abbildung 91: Anteil „grüner“ Startups an den Unternehmensgründungen in Deutschland sowie deren Verteilung auf einzelne Wirtschaftszweige (2014) ¹

1

Innovatives Wachstum

Anteil „grüner“ Startups an den Gesamtgründungen in Deutschland [%]

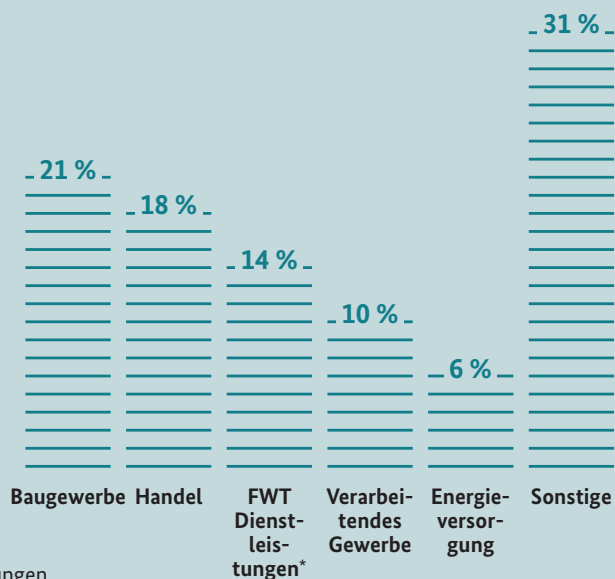


■ „Grüne“ Unternehmensgründungen
■ Andere Unternehmensgründungen

* Freiberufliche, wissenschaftliche und technische Dienstleistungen

Quelle: Roland Berger (2017)

Verteilung „grüner“ Startups auf die Wirtschaftszweige [%]



¹ Siehe Fichter, Klaus / Weiß, Ralf (2016).

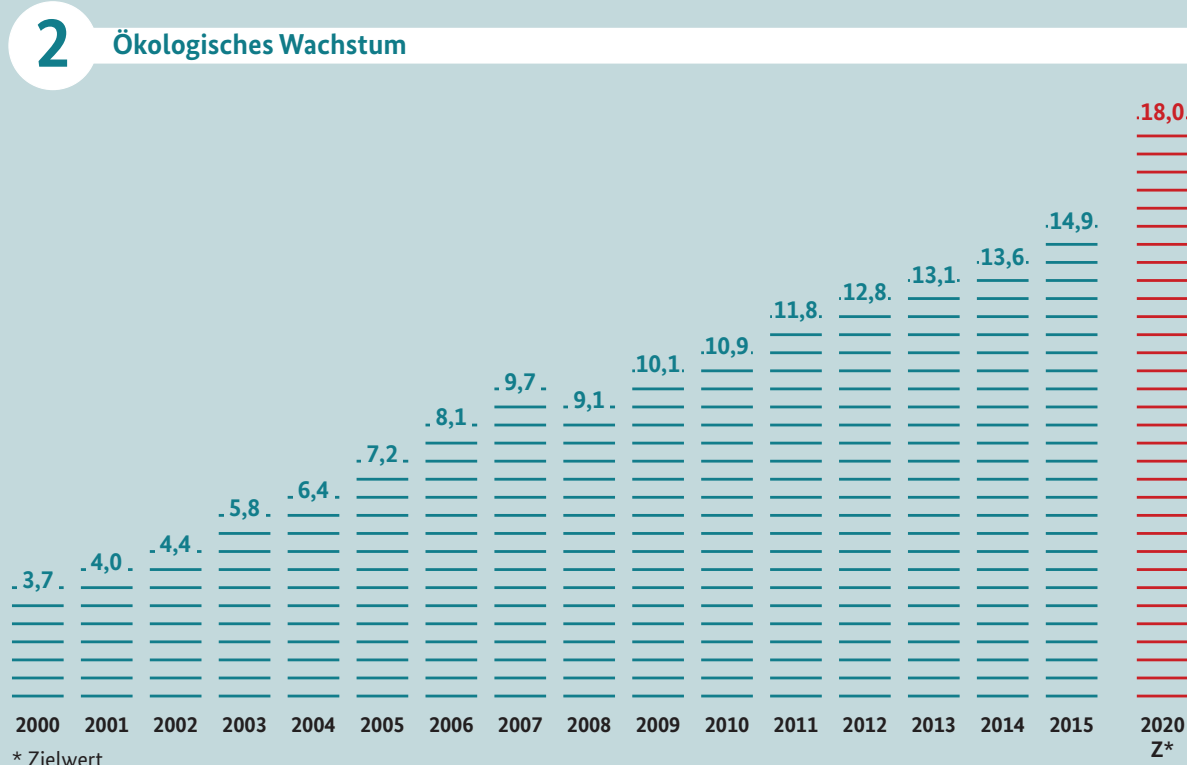
Das Handlungsfeld „Ökologisches Wachstum“ bezieht sich auf Faktoren der Umweltbelastung, die maßgeblich die Lebensqualität der Menschen beeinflussen. Dazu zählen Bereiche wie die Verbesserung der Ressourceneffizienz, die Senkung der Treibhausgas-Emissionen sowie der Schutz der Biodiversität.

Das „Ökologische Wachstum“ kann einen großen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz leisten. Es verbessert insbesondere die Ressourceneffizienz der Produktion und Dienstleistungen. Damit wird der Verbrauch von Rohstoffen und Energie durch immer weitere Optimierungen von Verfahren gesenkt. Der Bereich Ressourceneffizienz war in den letzten Jahren für Unternehmen von besonderer Bedeutung, weil er zusätzlich zum Umwelteffekt auch zur Kosteneinsparung beiträgt. Ein wichtiger Hebel zur Verbesserung der Energieeffizienz ist beispielsweise die Abwärmenutzung. Die Nutzung und Aufbereitung von Abfall- und Nebenprodukten verbessern die Rohstoff- und Materialeffizienz und reduzieren auf diese Weise Umweltbelastungen. So können beispielsweise Abgase der Hochofenprozesse als Edukt für Synthesen von Polymeren in der chemischen Industrie verwendet werden.

Ein Beispiel für die Fortschritte im Bereich „Ökologisches Wachstum“ ist der kontinuierliche Ausbau der erneuerbaren Energien. Die Abbildung 92 zeigt, dass der Anteil der regenerativen Energien am Bruttoendenergieverbrauch seit 2000 deutlich zugenommen hat. Bis 2020 werden erneuerbare Energien voraussichtlich ein Fünftel zum Bruttoendenergieverbrauch beisteuern.

Das Handlungsfeld „Partizipatives Wachstum“ umfasst sowohl die Teilhabe der Bürgerinnen und Bürger an einer Green Economy als auch die Verankerung deren Grundsätze in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Ein Indiz für die immer stärkere nachhaltige Ausrichtung der Wirtschaft ist der Beitrag der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz zur Wirtschaftsleistung. Wie in Abbildung 93 zu sehen, hat der Anteil der Green-Tech-Branche am Bruttoinlandsprodukt (BIP) seit 2007 kontinuierlich zugenommen und bezifferte sich im Jahr 2016 auf 15 Prozent. Bis 2025, so die Erwartung, wird der Anteil der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz am deutschen BIP bei 19 Prozent liegen.

Abbildung 92: Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch in Deutschland im Zeitraum 2000 bis 2020 (in Prozent)

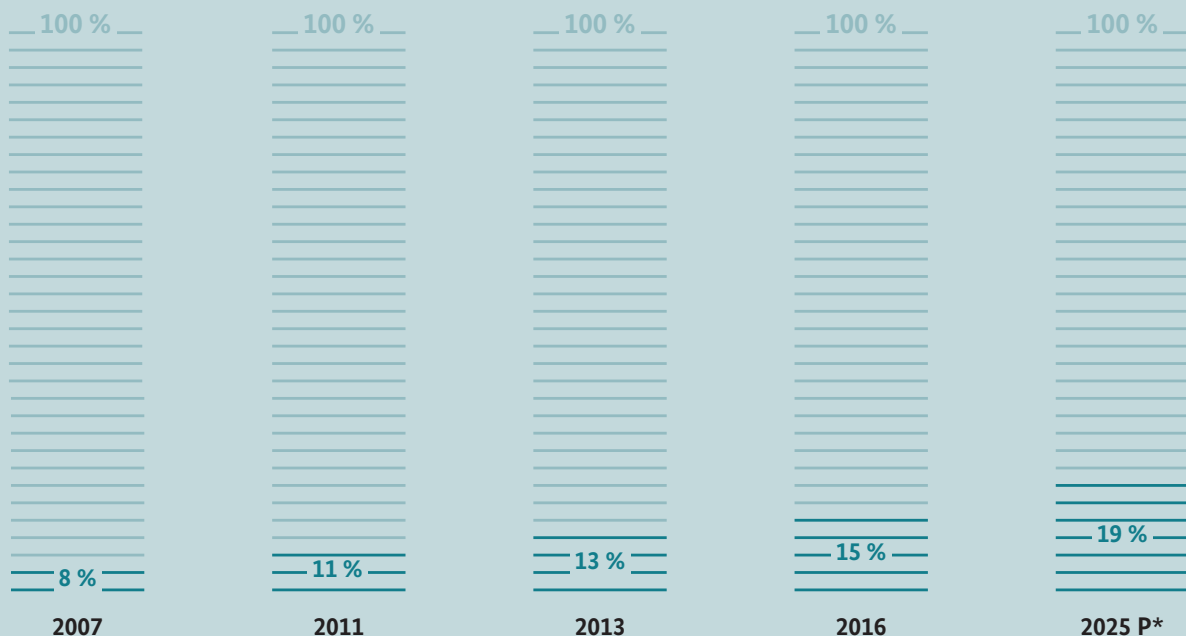


Quelle: Umweltbundesamt (2016), Roland Berger (2017)

Abbildung 93: Entwicklung des Anteils der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz (normiert) in Deutschland auf das nominale Bruttoinlandsprodukt für die Jahre 2007, 2011, 2013, 2016 und 2025 (in Prozent)

3

Partizipatives Wachstum



* Prognose, nicht preisbereinigt

Quelle: Destatis (2017), Roland Berger (2017)

Eine erhöhte Akzeptanz der Grünen Transformation in der Gesellschaft wird beispielsweise durch den politischen Stellenwert des Umweltschutzes, ein nachhaltiges Konsumverhalten oder die Beurteilung der Umweltqualität seitens der Bevölkerung deutlich. Wenn das Bewusstsein für Fragen des Umwelt- und Klimaschutzes bei wichtigen Stakeholdern vorhanden ist, insbesondere bei den Kunden als wichtige Zielgruppe für Unternehmen, wächst die Relevanz „grüner Themen“ bei den Investitionsentscheidungen für Unternehmen. Beispielsweise kann die Anschaffung einer Maschine mit einem hocheffizienten Elektroantrieb nicht nur zu einer Verbesserung der Energieeffizienz beitragen, sondern das Engagement eines Unternehmens in puncto Klimaschutz unterstreichen. Grundsätzlich kann über diesen Zusammenhang die Nachfrage nach umwelt- und klimafreundlichen Technologien gefördert werden, sodass die Diffusion „grüner“ Innovationen im Markt erleichtert wird.

Die Akzeptanz in der Bevölkerung spielt eine wesentliche Rolle, wenn es um die Finanzierung von Maßnahmen des Umwelt- und Klimaschutzes geht. Teilweise sind die Produkte und Dienstleistungen der Green Economy mit höheren Kosten verbunden. Je stärker

ausgeprägt die Einsicht in die Notwendigkeit von Umwelt- und Klimaschutz, desto stärker die Bereitschaft, für den ökologischen Mehrwert nachhaltiger Produkte zu bezahlen. So wird das Tempo der Grünen Transformation erheblich durch die Nachfrage der Konsumenten bestimmt. Die Endverbraucher haben einen wirkungsvollen Hebel für die Veränderung der Industrie hin zu einer nachhaltigen Produktionsweise. Die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz spielt für das Fortschreiten der Grünen Transformation eine Schlüsselrolle. Die GreenTech-Akteure tragen mit ihren Produkten, Verfahren und Dienstleistungen maßgeblich zur Bewältigung ökologischer Herausforderungen bei. Als Querschnittsbranche fördert die Umwelttechnik und Ressourceneffizienz die Grüne Transformation auch in anderen Wirtschaftszweigen und setzt dabei wesentliche Impulse für die ökologische Modernisierung der Volkswirtschaft. Besonders vielversprechend sind dabei integrierte Ansätze und Systemlösungen.

Die Digitalisierung hat dabei das Potenzial, die Grüne Transformation zu unterstützen und zu beschleunigen. Zum einen schafft die Digitalisierung für viele Maßnahmen des Umwelt- und Klimaschutzes die technischen Voraussetzungen. So können intelligenten

te Systemlösungen durch die Vernetzung von Daten wesentlich höherer Energiespareffekte erzielen als nicht-automatisierte Prozesse. Zum anderen begünstigt die Digitalisierung Skaleneffekte; sie ermöglicht die Wirtschaftlichkeit und Diffusion von nachhaltigen

Produkten und Services. Des Weiteren können durch Digitalisierung Informationen gebündelt und anschaulich dargestellt werden. Diese Erkenntnisse lassen sich für die Entwicklung von umwelt- und klimafreundlichen Technologien und Dienstleistungen nutzen.

Die fünf Felder der Grünen Transformation im Überblick

Wo stehen die Unternehmen in Deutschland bei der Grünen Transformation? Entlang dieser Leitfrage wurden Interviews mit zehn Unternehmen geführt, die außerhalb der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz gegründet wurden.

Als Rahmen für die Analyse der Grünen Transformation auf Unternehmensebene werden fünf Transformationsfelder bestimmt: Wirtschaftlicher Wandel, Technologischer Wandel, Ökologischer Wandel, Mitarbeiter-Wandel und Institutioneller Wandel (siehe Abbildung 94). Diese Systematik ermöglicht eine Fokussierung auf Bereiche, denen sich unterschiedliche Maßnahmen zur Grünen Transformation von Unternehmen zuordnen lassen. Im Folgenden wird genauer betrachtet, wie die Digitalisierung in jedem einzelnen Transformationsfeld wirkt und in welchem Umfang sie die Entwicklung hin zu einer Green Economy beschleunigt. Dies wird anhand von Fallbeispielen illustriert.

Wirtschaftlicher Wandel: Hier wird der Transformationsprozess im Unternehmen durch eine Ausweitung des „grünen“ Leistungsportfolios sichtbar. Ein Indikator dafür ist unter anderem eine aktive Steigerung des Anteils „grüner“ Produkte und Dienstleistungen am Gesamtumsatz. Auch die Entwicklung „grüner“ Geschäftsmodelle (etwa Energieeinspar-Contracting und Energieeffizienzberatung) wird im wirtschaftlichen Wandel deutlich.

Die Digitalisierung beeinflusst die Grüne Transformation im Kontext wirtschaftlicher Wandel durch unterschiedliche Technologien und Mechanismen:

- Das „Internet der Dinge“ (Internet of Things – IoT) und die Vernetzung ermöglichen die erfolgreiche Implementierung „grüner“ Geschäftsmodelle. Dies wird beispielsweise bei Systemlösungen im Bereich Smart Home deutlich: Vernetzte Sensoren und Thermostate tauschen Daten miteinander aus und regeln unter anderem die Raumtemperatur unter Berücksichtigung des aktuellen Wetters und der Vorlieben der Bewohner. Die Abstimmung zwi-

Abbildung 94: Die fünf Felder der Grünen Transformation



schen Thermostat und Fenstersensor erhöht die Energieeffizienz (mehr dazu im Fallbeispiel „innogy SmartHome“).

- Die Digitalisierung kann die Dematerialisierung fördern. Ein Beispiel dafür bietet Software zur virtuellen Produktentwicklung. Ihr Einsatz macht die Produktion von Prototypen in vielen Fällen überflüssig.
- Moderne Technologien können das „Greening“ bestehender Produkte vorantreiben. „Greening“ steht hier für die Verbesserung des Produktdesigns durch die Verringerung des Energie- und Rohstoffbedarfs sowie die Nutzung biologischer Rohstoffe. So wurde beispielsweise ein Datenprojektor entwickelt, der mithilfe einer neuen elektronischen Steuerung und LED-Lichtquellen eine verbesserte Energieeffizienz aufweist.²
- Der Sharing-Economy-Ansatz beschreibt das Geschäftsmodell des Leihens und Besitzens. Die Auslastung von Produkten in der Betriebsphase wird durch die kollektive Nutzung erhöht. Die Digitalisierung erleichtert den Zugang und die Handhabung der gemeinschaftlichen Nutzung. Ein Beispiel dafür bietet Car Sharing (mehr dazu im Fallbeispiel „DriveNow“).

Technologischer Wandel: Darunter versteht man eine gezielte Ausweitung des Forschungs- und Entwicklungsbudgets für „grüne“ Technologien, sowie einen Anstieg „grüner“ Patentanmeldungen.

Die Digitalisierung beeinflusst die Grüne Transformation im Kontext technologischer Wandel durch unterschiedliche Ansätze und Verfahren:

- Disruptive Technologien können zur Entwicklung neuartiger Produktionsverfahren beitragen. Ein Beispiel dafür bietet Mercedes-Benz Lkw. Das Unternehmen nutzt seit 2016 den 3D-Druck zur Herstellung von kunststoffbasierten Ersatzteilen. Durch das additive Verfahren wird eine höhere Materialeffizienz im Vergleich zu herkömmlichen Produktionsprozessen erreicht (siehe Fallbeispiel Mercedes Benz Lkw).
- Digitale Plattformen erleichtern den Austausch von Daten. So wird unter anderem die Forschung und Entwicklung von „grünen“ Produkten und Prozessen über mehrere Standorte hinweg wesentlich vereinfacht. Ein Beispiel bieten grüne „Open Innovation“-Ansätze. Diese unterstützen die externe Entwicklung nachhaltiger Produkte und beruhen auf einer starken Anwendungsorientierung der Forschung.

- Die „Industrie 4.0“ und das IoT ermöglichen insbesondere Dienstleistungsanbietern, Technologien zur Produktionsprozessoptimierung zu entwickeln. Digitale, offene Plattformen können beispielsweise Prozessschritte der Industrie vereinfachen. Aufgrund einer Vernetzung von Software, Mitarbeitern und Prozessen sind Material- und Energieeinsparungen möglich.
- Neue Technologien lassen Herstellungsprozesse immer effizienter werden, darüber hinaus kann aber auch die Prozessführung verbessert werden. Beispielsweise verbrauchen nasschemische Prozesse, wie Reinigungen, Bleichungen und Waschungen, in der Regel große Mengen an Wasser und umweltgefährdender Chemikalien. Um die komplexen verketteten Vorgänge reibungslos und ressourcenschonend ineinander greifen zu lassen, arbeiten Anlagenhersteller wie die Voith GmbH an der Entwicklung neuartiger Sensorsysteme und datengestützter Prozessführung (siehe Fallbeispiel Voith).

Ökologischer Wandel: Hier wird der Transformationsprozess auf Unternehmensebene durch Maßnahmen sichtbar, die dem Schutz der Umweltmedien und der Natur sowie der Verbesserung der Ressourceneffizienz dienen: Dazu zählen unter anderem die Nutzung erneuerbarer Energien, die Steigerung der Energieeffizienz sowie der Rohstoff- und Materialeffizienz, die Substitution nicht erneuerbarer durch erneuerbare Ressourcen, der Ausbau des betrieblichen Umweltmanagements, die Reduktion des CO₂-Ausstoßes, die Erhöhung der Recycling-Quote und Maßnahmen zum Erhalt der Biodiversität.

Die Digitalisierung beeinflusst die Grüne Transformation im Kontext ökologischer Wandel durch unterschiedliche Ansätze und Verfahren:

- Die Vernetzung von Sensoren mit einer Zentrale erleichtert die Aggregation digitaler Daten. Dadurch gelingt eine tiefgreifende Analyse des ökologischen Fußabdruckes eines Unternehmens. Außerdem ermöglicht der Austausch dieser Echtzeit-Daten eine Teilautomatisierung von Prozessen. Ein Beispiel dafür sind Einsparungen im Energieverbrauch durch Raum-Automationssysteme. Über Fühler und Sensoren wird die Steuerung der Heizungs-, Lüftungs- und Klimatechnik teilweise automatisiert, der Energieverbrauch sinkt.
- Die Digitalisierung ermöglicht vereinfachte Darstellungen von komplexen Prozessen. Die erhöhte Ergonomie unterstützt Nutzer dabei, Entscheidungen

² Siehe Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF (2012).

gen zu treffen, die zur Verbesserung der Effizienz beitragen. Verdeutlicht wird diese Situation durch die „Electronic Flight Bags“ der Lufthansa, eine Rechenplattform zur Unterstützung von Piloten bei der Vorbereitung und Durchführung von Flügen (siehe Fallbeispiel).

- Unternehmen können einen Wechsel von nachgelagerten zu präventiven Umweltschutzbemühungen vollziehen. Erwartungen der Investoren und Kunden sowie politische Rahmenbedingungen in Bezug auf die Nachhaltigkeit sollen dabei nicht nur erfüllt, sondern im Idealfall sogar übertroffen werden. Ein Beispiel für präventive Umweltschutzmaßnahmen bietet die Bosch Gruppe, die modulare Software, Steuerungsmodule und Big Data nutzt (siehe Fallbeispiel).

Mitarbeiter-Wandel: Unter diesen Begriff werden vor allem unternehmensinterne Maßnahmen gefasst, die Beschäftigte zu umweltbewusstem Handeln motivieren sollen. Dazu gehören zum einen Instrumente, die für ökologische Belange sensibilisieren (etwa Schulungen für Mitarbeiter) und damit der Reflexion dienen. Zum anderen geht es in diesem Transformationsfeld um Maßnahmen, die den Transfer des Umweltbewusstseins in konkretes Handeln fördern, zum Beispiel bei der Umsetzung des Umweltmanagements am Arbeitsplatz. Ein weiterer Aspekt, der in diesem Transformationsfeld zum Tragen kommt, ist die berufliche Qualifikation der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter auf der fachlichen Ebene. Eine erfolgreiche Erweiterung des Angebots um „grüne“ Produkte und Dienstleistungen setzt eine entsprechende Befähigung der Beschäftigten voraus. Beispielsweise verlangen die Dezentralisierung der Energieversorgung und der zunehmende Anteil regenerativer Energieträger nach einer Weiterqualifizierung der Fachkräfte im Bereich Heizungs-, Klima- und Lüftungstechnik.

Die Digitalisierung beeinflusst die Grüne Transformation im Kontext Mitarbeiter-Wandel durch unterschiedliche Ansätze und Verfahren:

- Der Mitarbeiter-Wandel beinhaltet die Förderung eines gelebten ökologischen Bewusstseins der Arbeitnehmer. Um dieses Bewusstsein zu stärken, nutzen Unternehmen eine incentivierende Dimension (Anreize für ÖPNV, Fahrgemeinschaften etc.) und eine spielerische Dimension (Green Team, Green Days etc.). Viele dieser Aktivitäten werden über das Intranet und digitale Kommunikationsplattformen kommuniziert. Die Green Car Policy der Telekom

verdeutlicht diesen Punkt. Das Unternehmen hat ein Bonus-Malus-System in Hinblick auf den CO₂-Ausstoß der Dienstwagen eingeführt und dokumentiert Kraftstoffverbrauch und Fahrleistung über eine Software. Die Bereitschaft der Mitarbeiter, kleinere Fahrzeuge zu wählen, soll dadurch steigen (siehe Fallbeispiel)

- Digitale Infrastrukturen leisten einen Beitrag, um Arbeitsformen wie das Home Office zu fördern. So werden anreisebedingte Emissionen zum Arbeitsplatz vermieden. Die Nutzung von Videokonferenzen und Cloud-Applikationen können darüber hinaus zu einer Alternative für klimaschädliche Dienstreisen, etwa Flüge innerhalb Deutschlands, werden.
- Die Mediennutzung kann die Wissensvermittlung von ökologisch relevanten Themen vereinfachen. Mitarbeiter sollen durch digitale Trainings und Schulungen motiviert werden, am Arbeitsplatz sowie im privaten Umfeld nachhaltig zu handeln. Beiersdorf beispielsweise nutzt diverse Unternehmenskommunikationskanäle, um Mitarbeiter für Nachhaltigkeitsinitiativen zu motivieren. Das Unternehmen integriert Online-Tools zur Berechnung des individuellen ökologischen Fußabdruckes in die bestehende IT-Infrastruktur und zeichnet Nachhaltigkeitsprojekte von Mitarbeitern aus (siehe Fallbeispiel).

Institutioneller Wandel: Hier manifestiert sich der Transformationsprozess auf Unternehmensebene durch die organisatorische Verankerung von Green-Economy-Zielen und Aktivitäten. Es geht dabei vor allem um Methoden der Betriebsführung und Prozesse, mit denen soziale und ökologische Belange in die Strategie eines Unternehmens integriert werden und die zur nachhaltigen Entwicklung beitragen können. Dazu zählen beispielsweise der Ausbau von Umweltmanagementsystemen und Corporate-Social-Responsibility-Management (unter anderem durch ein Green Controlling), Etablierung von festen personellen Verantwortlichkeiten im Bereich Umwelttechnik und Ressourceneffizienz (zum Beispiel durch die Schaffung einer Nachhaltigkeitsabteilung) sowie die Vernetzung mit externen umweltrelevanten Akteuren, etwa Kooperationsprojekte mit Umweltverbänden und anderen Nichtregierungsorganisationen. Hinzu kommt eine transparente, sich an etablierten Standards orientierende Unternehmensberichterstattung, die neben ökonomischen auch ökologische und soziale Belange umfasst.

Die Digitalisierung beeinflusst die Grüne Transformation im Kontext institutioneller Wandel durch unterschiedliche Ansätze und Verfahren:

- Durch Echtzeit-Messungen von CO₂-Emissionen lässt sich leichter und schneller feststellen, ob die Umwelt-Key-Performance-Indikatoren eingehalten werden. Die TUI GROUP verdeutlicht die Möglichkeiten einer erhöhten Datenqualität durch eine digitale Systemlösung. Eine Cloud-Applikation erfasst Energieverbrauchsdaten des gesamten Konzerns. Dadurch kann ein genauer ökologischer Fußabdruck aufgezeigt werden (siehe Fallbeispiel).
- Green Controlling dient zur Berichterstattung im Rahmen einer Nachhaltigkeitsstrategie. VAUDE nutzt diesen Ansatz und definiert eine Nachhaltigkeitsstrategie („grüne KPIs“) für sämtliche Unternehmensbereiche und entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Die Digitalisierung ermöglicht eine verknüpfte Datenerhebung, die die Grundlage für die Auswertung der grünen KPIs bildet (siehe Fallbeispiel).
- Nachhaltigkeitsrankings von Umweltorganisationen bescheinigen kontinuierliche Maßnahmen in dem Bereich Corporate Social Responsibility (CSR). Unternehmen haben ein Interesse, in einem Ranking gelistet zu sein, denn diese Platzierung fördert eine positive Wahrnehmung seitens der Stakeholder. Die Digitalisierung ermöglicht eine transparente Darstellung der Einhaltung von Nachhaltigkeitszertifikaten (ISO 9001, ISO 14001, EMAS, OHSAS 18001) auf einschlägigen Webseiten.
- Digitale Plattformen verschaffen Organisationen die Möglichkeit, ein großes Publikum zu erreichen. Verbände und Netzwerke des Umweltschutzes nutzen diese digitale Unterstützung als Kommunikationskanal, um für Brancheninitiativen und Kampagnen zu werben. Ein Beispiel aus der Industrie ist der Verband der Chemischen Industrie (VCI), der die Nachhaltigkeitsinitiative „Chemie hoch 3“ ins Leben rief.

Wirtschaftlicher Wandel

innogy SmartHome

Das Unternehmen und sein Umfeld

Mit der Gründung der innogy SE reagierte die RWE AG auf die Herausforderungen des Strukturwandels in der Energiewirtschaft, der von verschiedenen, einander beeinflussenden und sich wechselseitig verstärkenden Faktoren ausgelöst beziehungsweise vorangetrieben worden ist: Liberalisierung der Märkte, durch Klimaschutzziele bedingte energiepolitische Weichenstellungen und Dezentralisierung. Zu diesen Umbrüchen kommen weitere Veränderungen durch digitale Technologien und Geschäftsprozesse. Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und die damit verknüpfte zunehmende Dezentralisierung hat sich die Energielandschaft stark verändert.

„Wir müssen lernen, größere Mengen an dezentral produziertem, erneuerbarem Strom effektiv zu nutzen.“

Digitale Helfer im Haushalt – Energieeffizienz auf Knopfdruck

Mit dem Produkt „innogy SmartHome“ hat der Konzern sein Portfolio von Produkten, die zu einer Steigerung der Energieeffizienz beitragen, erweitert. Die innogy SE vertreibt Thermostate, Sensoren oder Funkschalter, deren Zusammenspiel für ein behagliches und ressourcenschonendes Wohnen sorgen soll. Heizung, Beleuchtung und elektrische Geräte kommunizieren über die innogy SmartHome Zentrale und ein geschütztes Funknetz miteinander. Die einfache Handhabung, schnelle Installation und das kostengünstig zu realisierende Energieeinsparungspotential ermöglichen den Zugang zu breiteren Käuferschichten. Die Digitalisierung schafft die Voraussetzung für das Geschäftsmodell „innogy SmartHome“. Das Konzept basiert auf einer offenen Plattform. Durch die Installation von Sendestationen (zum Beispiel Heizkörperthermostat, Zwischenstecker, Raumthermostat), die mit der innogy SmartHome Zentrale verbunden sind, werden beispielsweise Waschmaschine, Geschirrspüler, Heizung und Lampen miteinander vernetzt. Dadurch lassen sich elektrische Endgeräte orts- und zeitunabhängig über eine Applikation an- und abschalten. Digitale Daten werden über die zentrale Steuerung gesammelt, die Informationen über die Höhe, den Zeitpunkt und den genauen Ort des Elektrizitätsverbrauches aggregiert. Diese Daten stehen dabei ausschließlich dem Nutzer zur Verfügung.

Eine benutzerfreundliche Handhabung aller Geräte wird über eine eigens konzipierte Applikation ermöglicht, die als zentrales Bedienelement ein persönliches Profil des Nutzers beinhaltet.

Eine Automatisierung der Prozesse kann durch die Einstellung von Funktionen in diese Applikation erfolgen. Verlässt der Kunde beispielsweise das Haus, senkt die Zentrale die Heizintensität automatisch, schaltet sämtliche Lampen aus und überprüft die Schließung aller Fenster.

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

In Haushalten, die mit einem „innogy SmartHome“-Konzept ausgestattet sind, liegt der Energieverbrauch im Durchschnitt 10 bis 15 Prozent niedriger als in der Vergleichsgruppe ohne digitales Equipment. Die digitale Vernetzung und Steuerung verbessert die Energieeffizienz erheblich. So lässt sich zum Beispiel die individuelle Wohlfühltemperatur mit einem geringeren Heizaufwand erreichen.

Das „innogy SmartHome“-Konzept unterstützt die Stromerzeugung aus dezentralen erneuerbaren Energieanlagen. Hat der Kunde eine Photovoltaikanlage installiert, könnte er beispielsweise einen Zeitraum für die Nutzung unterschiedlichster elektrischer Endgeräte angeben. Auf diese Weise kann Ökostrom dann verwendet werden, wenn er anfällt. Die Eigennutzung des regenerativ erzeugten Stroms wird so gesteigert.

Auf den Punkt gebracht

Aufgrund der steigenden Dezentralisierung der Energiesysteme managen Energieversorger im Zuge der Energiewende vermehrt die Einspeisung in die Netze. Der Kunde erwartet von einem modernen Energieversorgungsunternehmen nicht nur die Lieferung von Energie, sondern ein ganzheitliches Angebot für eine Welt mit dezentraler Energieerzeugung.

www.innogy.com

Wirtschaftlicher Wandel

DriveNow

Das Unternehmen und sein Umfeld

Die BMW Group ist ein global agierender Premium-Hersteller für Automobile und Motorräder mit Sitz in München. Das Unternehmen bietet zudem Finanz- und Mobilitätsdienstleistungen an. Der Konzern betreibt 31 Produktions- und Montagestätten in 14 Ländern und beschäftigt rund 125.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter (Stand Dezember 2016). Die Sixt SE mit Sitz in Pullach bei München bietet rund um den Globus Mobilitätsdienstleistungen für Geschäfts- und Firmenkunden

„Entscheidend für den Kunden ist das Angebot einer flexiblen und einfach zugänglichen Dienstleistung.“

sowie Privatleute an. Das 1912 gegründete Unternehmen ist in mehr als 100 Ländern engagiert. Die Automobilindustrie ist mit vielfältigen Herausforderungen konfrontiert: Vor allem in urbanen Räumen spielt der Besitz eines Autos als Statussymbol für jüngere Generationen eine immer geringere Rolle. Das Auto wird funktional betrachtet – als Fahrzeug, das einen von Punkt A nach Punkt B bringt. Außerdem rücken die Themen Luftverschmutzung, Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz stärker in den Fokus von Politik und Gesellschaft. Dies spiegelt sich unter anderem in gesetzlichen Vorgaben für Höchstgrenzen von Emissionen wider.

Fahren statt besitzen – das neue Geschäftsmodell

DriveNow ist ein 2011 von BMW und Sixt gegründetes Carsharing-Joint Venture. Es stellt Privat- und Firmenkunden Fahrzeuge im stationslosen Modell zur Verfügung und übernimmt sämtliche variable Kosten. Kunden registrieren sich gegen eine einmalige Gebühr und können anschließend Fahrzeuge des Netzwerkes auf Minuten-Basis mieten. Aktuell umfasst das Geschäftsgebiet von DriveNow in Deutschland die Städte München, Hamburg, Berlin, Köln und Düsseldorf. In diesen Ballungszentren sind rund 3.400 DriveNow-Fahrzeuge der Modelle BMW und MINI im Einsatz. In Europa bietet DriveNow seinen Service in Wien, London, Stockholm, Kopenhagen, Brüssel, Mailand, Helsinki und Lissabon an. Die Digitalisierung ist die Voraussetzung für eine wirtschaftliche Umsetzung des Carsharing-Ansatzes von BMW und Sixt. Eine Schlüsselrolle spielt dabei die Vernetzung der Fahrzeugflotte. Fahrzeuge kommunizieren mit einer Zentrale und der DriveNow App des Kunden, sodass diese die verfügbaren Pkw hierin finden und

reservieren können. Die Fahrzeuge informieren auch über Tank-, Lade- und Ölstand oder den Reifendruck. Wartungen und Instandhaltungsmaßnahmen lassen sich so jeweils exakt auf den Bedarf abstimmen – was sich positiv auf der Kostenseite auswirkt.

Das Geschäftsmodell ist 100-prozentig App-basiert. Im Vordergrund steht das Angebot einer einfach zugänglichen, digitalen Dienstleistung über eine mobile Applikation. Sie ermöglicht eine einfache Bedienung und flexiblen Zugang: Mithilfe der M2M-Mobilfunkverbindung der Fahrzeuge lassen sie sich schlüsselloss öffnen und schließen und geben in der App voreingestellte Modifikationen im Auto wieder, wie zum Beispiel gebuchte Pakete oder die Zieldestination.

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

Das Geschäftsmodell von DriveNow trägt zu einer Verbesserung der Ressourceneffizienz und zu einer Reduktion der Emissionen im Vergleich zum konventionellen motorisierten Individualverkehr bei. Die Auslastung der Fahrzeuge bei DriveNow ist im Durchschnitt bis zu fünfmal höher als bei der herkömmlichen Automobilnutzung. Hier ist ein Auto durchschnittlich zwischen 45 und 60 Minuten täglich im Einsatz, bei DriveNow sind es drei bis fünf Stunden pro Tag. Carsharing senkt nachweislich auch den Emissionsausstoß. Verschiedene wissenschaftliche Studien belegen, dass ein Carsharing-Fahrzeug schon heute zwischen drei und acht Autos in Privatbesitz ersetzt. Denn immer mehr Menschen stoßen ein eigenes ineffizientes Fahrzeug ab, weil sie neben anderen Mobilitätsangeboten auch flexibel Zugriff auf Carsharing haben, wenn sie ein Auto benötigen. Durch weniger Fahrzeuge nimmt der Parksuchverkehr ab, durch weniger gefahrene Auto-Kilometer reduzieren sich Emissionen. DriveNow setzt in allen Städten auf eine effiziente, moderne Flotte einschließlich Elektrofahrzeugen und trägt damit nicht nur zusätzlich zur Reduzierung von Emissionen bei, sondern treibt auch die Entwicklung der öffentlichen Ladeinfrastruktur mit voran.

Auf den Punkt gebracht

BMW nutzt den Share-Economy-Ansatz, um sich insbesondere in urbanen Regionen stärker als Mobilitätsdienstleister zu positionieren. Dies führt durch eine hohe Auslastung pro Fahrzeug zu Emissionseinsparungen im Vergleich zum konventionellen motorisierten Individualverkehr. Car Sharing kann sich perspektivisch zu einer wichtigen Ertragssäule für den Automobilhersteller entwickeln.

www.drive-now.com

Technologischer Wandel

Mercedes-Benz Lkw

Das Unternehmen und sein Umfeld

Mercedes-Benz Lkw, eine Unternehmenssparte der Daimler AG, nimmt mit dem Einsatz der 3D-Druck-Technologie als innovatives State-of-the-Art-Produktionsverfahren im After-Sales die Vorreiterstellung und Technologieführerschaft unter den globalen Lkw-Produzenten ein.

„Der 3D-Druck kann eine wirtschaftlichere Einzelfertigung von Teilen ermöglichen.“

Innovatives Produktionsverfahren – Ersatzteile aus dem 3D-Drucker

Seit 2016 stellt Mercedes-Benz Lkw Kunststoffersatzteile durch ein additives Produktionsverfahren her. Das Benutzen eines 3D-Druckers ermöglicht effizientere Produktionsprozesse bei geringer Stückzahl. Der Kundenservice kann verbessert werden, weil weltweit der Nachschub von Ersatzteilen aus nicht mehr gefertigten Baureihen sichergestellt ist. Bislang war deren Produktion für Lieferanten zunehmend unwirtschaftlich, und oftmals mussten Produktionsanlagen und Werkzeuge über Jahre hinweg vorgehalten und gewartet werden. Mit dem 3D-Druckverfahren gehören diese Herausforderungen der Vergangenheit an. Denn jedes 3D-Ersatzteil steht weltweit „on demand“ kurzfristig zur Verfügung.

Die Digitalisierung ist eine Voraussetzung für das additive Produktionsverfahren. Bereits während der Entwicklung eines Produktes soll automatisch ein Datensatz für den 3D-Druck generiert werden. Bestellt der Kunde ein Ersatzteil, so kann der Auftrag basierend auf der Ersatzteilnummer entgegengenommen werden. Der Druckprozess beginnt vollautomatisch. Eine zentrale 3D-Datenbank soll zukünftig sämtliche Daten für die Produktion von Ersatzteilen aufbewahren. Der Drucker verbindet sich mit der zentralen Datenbank und kann basierend auf den unter der Ersatzteilnummer hinterlegten Daten mit der Produktion beginnen. So kann ortsungebunden und zeitlich flexibel produziert werden. Zukünftig sollen mehrere vernetzte „Druck-Hubs“ entstehen, die eine dezentrale Produktion ermöglichen.

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

Das umweltfreundliche und ressourcenschonende 3D-Druckverfahren spielt eine zukunftsweisende Rolle im After-Sales, und der Produktionsprozess beruht auf dem „One Piece Demand“-Konzept, also der wirtschaftlichen Produktion von Ersatzteilen in kleinen Mengen. Der 3D-Druck führt zu einer höheren Materialeffizienz im Vergleich zu herkömmlichen Produktionsprozessen, da das additive Auftragen des Materials den Materialüberschuss minimiert. Da Ersatz- und Nachrüstteile auch nach langer Zeit anhand der gespeicherten Daten immer noch problemlos „nachgedruckt“ und ohne aufwendige Bevorratung geliefert werden können, ist darüber hinaus auch keine Lagerhaltung erforderlich. Zugleich werden Kosten, Ressourcen und Umwelt geschont, da keine Materialüberschüsse entstehen, deren Wiederverwertung oder Entsorgung sehr aufwendig ist.

Auf den Punkt gebracht

Die Abnehmer von Kraftfahrzeugen und Nutzfahrzeugen fragen ständig neue Funktionalitäten und innovatives Design nach. Die Anbieter halten deshalb eine breite Palette von Teilen vor, die zur modularen Fertigung der Fahrzeuge benötigt werden. Im Laufe mehrerer Jahre verändern sich die verbauten Teile deutlich, sodass viele Teile pro Fahrzeugtyp vorgehalten werden müssen. Der 3D-Druck eröffnet neue Möglichkeiten, Ersatzteile, die in geringen Mengen nachgefragt werden, zu fertigen. Das Verfahren ist dabei nicht nur äußerst kosteneffizient, sondern auch umweltschonend.

www.mercedes-benz.de

Technologischer Wandel

Voith GmbH

Das Unternehmen und sein Umfeld

Gegründet 1867, zählt Voith mit rund 19.000 Mitarbeitern, 4,3 Milliarden Euro Umsatz und Standorten in über 60 Ländern der Welt zu den großen Familienunternehmen Europas. Voith bietet Anlagen und Lösungen in den Märkten Energie, Öl & Gas, Papier, Rohstoffe und Transport & Automotive an.

Die zunehmende Vernetzung und Digitalisierung wird den Maschinen- und Anlagenbau prägen und die Art revolutionieren, wie Hersteller Güter produzieren und ihre Produkte und Dienstleistungen anbieten. Die Produkte werden in Zukunft noch smarter und effizienter. Industrie 4.0 wird Unternehmen produktiver machen.

„Unsere Produkte von morgen, die Turbinen und Generatoren, die Papiermaschinen, die Getriebe werden aber alle auch eine digitale Kopie in der Cloud haben.“

Digitale Innovation – „Papermaking 4.0“

Bereits heute bietet Voith seinen Kunden digitale Produkt- und Serviceleistungen an. In allen Konzernbereichen gibt es marktreife Automation-Produkte, die als Basis für spätere Industrie 4.0-Produkte dienen werden – etwa HyCon CS von Voith Hydro, DIWA SmartNet von Voith Turbo oder die OnEfficiency oder OnCare-Produkte bei Voith Paper. Mit seinem neuen Geschäftsbereich Digital Solutions wird Voith eine entscheidende Rolle bei der digitalen Transformation spielen. Voith Digital Solutions liefert neue Konzepte für Automation und IT für den Anlagen- und Maschinenbau im Zeitalter der Digitalisierung.

Ein Beispiel für den Einsatz digitaler Instrumente ist der Prozess der Papierherstellung. Unter dem Begriff „Papermaking 4.0“ leistet Voith einen wichtigen Beitrag, um die Effizienz, Produktivität und Qualität entlang der Wertschöpfungskette im Papierherstellungsprozess zu steigern, selbst in bereits bestehenden Anlagen.

Mithilfe modernster Sensorik werden die Prozesse in der Papiermaschine transparent, über Aktuatoren und Regelungen lassen sie sich stabilisieren und schließlich vorausschauend optimieren. Möglich wird dies durch die Vernetzung vieler Teilprozesse und ergänzende Informationen über wichtige Rahmenbedingungen, etwa Qualitätsdaten aus der Halbstoffherzeugung oder zur Beschaffenheit des fertigen Produkts.

Durch die automatische Dosierung lässt sich auch der übermäßige Einsatz von wertvollen Ressourcen vermeiden. Die Einsparungen an Energie, Chemikalien, Fasern und Zeit erhöhen die Wertschöpfung.

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

Prozesse müssen aus Gründen der Wirtschaftlichkeit so effizient wie möglich geführt und gestaltet werden. Ein Beispiel dafür ist der De-inking-Prozess bei der Papierherstellung, der stark durch die, oft schwankende, Qualität des Rohmaterials beeinflusst wird. Eine manuelle Korrektur ist aufwendig und erfolgt meist zu spät. Sowohl der Ertrag als auch der Einsatz von Bleichchemikalien sind somit nicht optimal an die Bedingungen angepasst. Mit dem OnEfficiency DIP lassen sich hier Ressourcen im Herstellungsprozess effizient und kontrolliert nutzen – mit entsprechend positiven Effekten auf die Umweltfreundlichkeit der Prozesse.

Auf den Punkt gebracht

Mit den Anwendungen des Konzernbereichs Digital Solutions hat Voith eine neue Schnittstelle zur Digitalisierung geschaffen. Damit werden die Anlagen intelligenter und schaffen es durch Sensorik und Online-Prozesssteuerung auch die Prozessführung nachhaltig zu gestalten. Dies kommt insbesondere komplizierten Prozessen zugute, bei denen Analysen und Qualitätskontrollen standardmäßig erst im Nachhinein erfolgen. Neben der Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Produktion trägt die Digitalisierung auch aktiv zum Umweltschutz bei.

www.voith.com

Ökologischer Wandel

Lufthansa AG

Das Unternehmen und sein Umfeld

Die Lufthansa Group ist ein weltweit operierender Luftfahrtkonzern mit 540 Tochterunternehmen und Beteiligungsgesellschaften. Die Gruppe mit Sitz in Frankfurt am Main lässt sich entlang drei wesentlicher Unternehmenssäulen gliedern: Premium-Hub Airlines, Eurowings Gruppe und Aviation Services.

Die Luftfahrtbranche weist eine hohe Dynamik auf und ist geprägt von wandelnden Kundenbedürfnissen. Auf der einen Seite drücken Billigfluggesellschaften, die die Bedürfnisse preissensitiver Kunden abdecken, die Margen im innereuropäischen Punkt-zu-Punkt-Verkehr. Auf der anderen Seite wächst die Konkurrenz von Premium-Hub Airlines, die eine Qualitätsführerschaft anstreben. Die Lufthansa Group hat den Anspruch, ihre Marktposition durch Technologieentwicklungen und Synergieeffekte entlang der drei Unternehmenssäulen zu stärken.

„Wir wollen durch eine erhöhte Konnektivität und Echtzeit-Datenauswertung den nachhaltigen Betrieb der Flugzeuge vorantreiben.“

Papierloses Cockpit

Die Lufthansa hat die Grundlage für die Realisierung des papierlosen Cockpits geschaffen. Zum einen durch die Weiterentwicklung des „Electronic Flight Bags“ (EFB), einer Rechenplattform zur Unterstützung von Piloten bei der Flugvorbereitung und -durchführung. Zum anderen durch die Einführung des neuen Software-Tools „electronic Flight Folder“ (eFF), das die Briefinginformationen für die Piloten übersichtlich darstellt und sie bei der Entscheidungsfindung unterstützt. EFB und eFF sind Teile des E-enabling-Programms der Lufthansa, das die Digitalisierung von Prozessen in Flugzeugen vorantreibt. Der electronic Flight Folder bereitet Informationen aus dem Briefing grafisch auf und markiert sie farblich. Eine ergonomische Benutzerführung erleichtert den Wechsel zwischen verschiedenen Informationskategorien und das Auffinden relevanter Informationen. Eine Synchronisationsfunktion zwischen den verschiedenen EFBs im Cockpit verbessert die Zusammenarbeit der Cockpitcrew. Eine Rechenfunktion mit den Treibstoffinformationen des Flugplans und Referenzwerten vorheri-

ger Flüge unterstützt die Piloten bei der Entscheidung über die Treibstoffmenge, die abhängig vom Wetter getankt werden soll. Während des Fluges unterstützt ein elektronisches Navigationslog die Piloten beim strategischen Treibstoffmanagement. Dadurch haben die Piloten vor und während des Fluges ein genaues Bild der Treibstoffsituation. Dies dient sowohl der Flugsicherheit als auch dem wirtschaftlichen Umgang mit Treibstoff. Denn jedes Kilogramm an Bord verbraucht wiederum Treibstoff für seinen Transport.

Grundlage von e-enabling sind Daten, ihre Vernetzung und die Verbindung zwischen dem Flugzeug und Bodensystemen („inflight Connectivity“) sowie zwischen den EFBs an Bord und den Flugzeugsystemen („onboard Connectivity“). So nutzt zum Beispiel die EFB-Applikation „Flight Profile“ die elektronischen Briefingdaten, Echtzeitdaten aus der Flugzeugavionik und gemessene sowie vorhergesagte Winde, um während des Fluges die wirtschaftlich optimale Höhe und Geschwindigkeit für den verbleibenden Flug zu berechnen.

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

Die von Lufthansa entwickelte digitale Infrastruktur unterstützt Piloten bei Entscheidungsprozessen in Bezug auf Flugrouten, Tankmenge von Kerosin etc., die im Ergebnis die Ressourceneffizienz verbessern und Treibhausgas-Emissionen senken.

Auf den Punkt gebracht

Die Digitalisierung ermöglicht es der Lufthansa, weg von einer „Insellösung“ der Datenversorgung hin zu einer vollständigen Integration der digitalen Datenaufbereitung zu gelangen. Das Ziel ist dabei, den Gebrauch von Papier in jedem Schritt überflüssig zu machen und weitere elektronische Prozesse zu integrieren.

www.lufthansa.com

Ökologischer Wandel

Bosch Gruppe

Das Unternehmen und sein Umfeld

Die Bosch Gruppe ist ein global operierendes Technologie- und Dienstleistungsunternehmen mit Sitz in Stuttgart. Die Kerngeschäfte lassen sich in die Bereiche Mobility Solutions, Industrial Technology, Consumer Goods und Energy and Building Technology unterteilen.

„Wir müssen aktiv Schnittstellen verschiedener IT-Systeme finden und eine ganzheitliche Datenerhebung anstreben.“

Die Technologie- und Dienstleistungsbranche gewinnt aufgrund des zunehmenden Innovationsdruckes und des sich verschärfenden internationalen Wettbewerbs an Dynamik. Ein Treiber in der Industrie sind die politischen Rahmenbedingungen sowie Anforderungen der Investoren und Kunden im Bereich der Nachhaltigkeit. Diese fordern einen sparsamen und ökologischen Umgang mit Ressourcen.

„Grüne“ Standorte – nachhaltiger Umgang mit Ressourcen

Die Bosch Gruppe setzt sich im Zuge des betrieblichen Umweltmanagements eigens definierte Nachhaltigkeitsziele. Die „grünen“ Standorte zeichnen sich durch eine umweltgerechte Bauweise der Bürogebäude und Fertigungshallen aus, um den nachhaltigen Umgang mit Ressourcen zu fördern.

Die Digitalisierung ist eine Voraussetzung für den Einsatz der Software „Bosch Energy Plattform“ und die Etablierung „grüner“ Standorte. Die modulare Software legt den Grundstein für die Verbesserung der Energieeffizienz in den Gebäuden der Bosch Gruppe. „Bosch Energy Plattform“ erfasst relevante Leistungs- und Energieverbrauchsdaten über mehrere Standorte und ermöglicht eine Abgleichung mit historischen Daten. Die automatische Aufbereitung der Daten und die Darstellung des gesamtheitlichen ökologischen Fußabdruckes durch eine ergonomische Benutzeroberfläche erhöhen die Transparenz. So lassen sich leichter Ansatzpunkte für die weitere Optimierung identifizieren. Bestandteil der Software „Energy Plattform“ ist ein

Monitoringsystem, das Verbrauchsabweichungen automatisch erkennt. Dadurch lassen sich frühzeitig zielgenaue Reaktionen ableiten; so wird der Energieverbrauch minimiert.

Die Installation vernetzter Steuerungsmodule (zum Beispiel IndraLogic SPS) in den Fertigungshallen ermöglicht ein verbessertes und automatisiertes Kommunikationskonzept. Die Vernetzung mehrerer Klimasensoren erlaubt beispielsweise das Betreiben eines teilautomatisierten Sonnenschutzsystems.

Wettersensoren senden aktuelle Daten an eine zentrale Plattform, die eine bewegliche Schutzvorrichtung nach der Sonneneinstrahlung ausrichtet. Dadurch lassen sich 80 Prozent des aufgrund der Sonneneinstrahlung anfallenden Energiebedarfs (für Kühlungseinrichtungen etc.) vermeiden. Außerdem ermöglicht das IT-System, dass sich die Beleuchtung in den Produktionsstätten den außerhalb des Gebäudes herrschenden Witterungsverhältnissen anpasst. Dadurch wird der Energiebedarf für das Lichtsystem um bis zu 60 Prozent gesenkt.

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

Eine umweltgerechte Bauweise ermöglicht Reduktionen des CO₂-Ausstoßes, wie sich am Beispiel des Standorts Abstatt zeigt. Unter anderem wurden dort Wärmerückgewinnungsanlagen und Wärmepumpen installiert, was CO₂-Einsparungen von 5.000 Tonnen pro Jahr ermöglicht.

Die Bosch Gruppe baut das betriebliche Umweltmanagement weiter aus und wechselt von nachgelagerten Umweltschutzbemühungen zu präventiven Umweltschutzbemühungen. Intern definierte Nachhaltigkeitsziele übertreffen dabei extern geforderte Umweltschutzmaßnahmen. Beispielsweise liegt der Energieverbrauch des Bürogebäudes in Singapur rund ein Drittel unter den nationalen Anforderungen.

Auf den Punkt gebracht

Die Bosch Gruppe verfolgt präventive Umweltschutzmaßnahmen an den jeweiligen Standorten. Die genannten Steuerungsmodule, die zur Effizienzoptimierung betragen, wurden bisher in rund der Hälfte aller Fabriken weltweit installiert.

www.bosch.com

Mitarbeiter-Wandel

Deutsche Telekom

Das Unternehmen und sein Umfeld

Die Telekom ist ein führender europäischer Telekommunikations-Anbieter, der Produkte und Dienstleistungen in den Bereichen Festnetz/Breitband, Mobilfunk, Internet/Internet-TV sowie Informations- und Kommunikationstechnik anbietet. Der börsennotierte Konzern mit Sitz in Bonn beschäftigt weltweit rund 218.000 Mitarbeiter und ist in mehr als 50 Ländern vertreten.

Um auch künftig erfolgreich zu sein, entwickelt sich die Telekom von der klassischen Telefongesellschaft hin zu einer Servicegesellschaft ganz neuen Typs. Das Kerngeschäft, also der Be- und Vertrieb von Netzen und Anschlüssen, bleibt dabei die Basis. Zugleich engagiert sich der Konzern aber offensiv in Geschäftsfeldern, in denen sich für ihn neue Wachstumschancen eröffnen. Die Telekom glaubt an die Vereinbarkeit von wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Aspekten und verpflichtet sich zu verantwortungsvollem Handeln entlang ihrer gesamten Wertschöpfungskette.

„Mobilität wird von den Mitarbeitern flexibler betrachtet – mehrere Optionen werden angenommen.“

Green Car Policy – nachhaltig unterwegs

Die Telekom MobilitySolutions, eine Tochtergesellschaft der Deutschen Telekom, betreibt den Fuhrpark des Konzerns. Für die Flotte verfolgt sie die Ziele des wirtschaftlichen Betriebs, der nachhaltigen Entwicklung und der Senkung der direkten CO₂-Emissionen. Dabei spielt die Sensibilisierung der Beschäftigten für ökologische Belange sowie die Förderung umwelt- und klimafreundlichen Handelns eine wichtige Rolle. Dies soll durch das Bonus-Malus-System und die Einführung incentivierender Maßnahmen für alternative Mobilitätskonzepte erreicht werden. Weiter wird das Bewusstsein, auch persönlich für den Klimaschutz verantwortlich zu sein, durch das Angebot von Öko-Fahrertrainings, Job-Tickets, Leihrädern an bundesweit 31 Standorten sowie einem Gehaltsumwandlungsmodell für Fahrräder oder E-Bikes gestärkt. Zusätzlich kann anstelle eines Geschäftswagens eine Bahncard 100 in Anspruch genommen werden.

Nicht zuletzt wirkt sich auch die Digitalisierung positiv auf den Klimaschutz aus: Mit einem zentralen Fuhrpark-Managementsystem, das von der Bestellung über die

Werkstattsteuerung bis zur Vermarktung der Fahrzeuge sämtliche Schritte integriert, wird ein effizientes Vorgehen möglich.

Fahrleistungen und Kraftstoffverbräuche werden aufgezeichnet und analysiert. So können Fahrer von Geschäftsfahrzeugen über ein individualisiertes Nutzerportal ihren Kraftstoffverbrauch mit Durchschnittswerten ähnlicher Fahrzeuge aus der Flotte vergleichen. Das so geschaffene Bewusstsein für den Kraftstoffverbrauch trägt nachweislich zu einer umweltfreundlicheren Fahrweise bei.

Die alternativen Mobilitätskonzepte, die über eine digitale Infrastruktur angeboten werden, fördern ebenso das ökologische Bewusstsein der Mitarbeiter. Über eine „Shuttle-Applikation“ können Mitarbeiter oder ihre Gäste Fahrten mit firmeneigenen Bussen buchen, zum Beispiel zu den Flughäfen Köln/Bonn oder Frankfurt am Main beziehungsweise zum ICE-Bahnhof Siegburg/Bonn. So lassen sich Fahrten zu häufig frequentierten Orten bündeln und Ausgaben für Taxis sowie für den Treibstoff und das Parken von Geschäftsfahrzeugen sparen. Außerdem sind die Shuttle-Busse mit WLAN ausgerüstet, sodass geschäftliche Arbeiten auch während der Fahrt bequem erledigt werden können. Jährlich nutzen rund 120.000 Fahrgäste diesen unternehmensinternen Shuttle-Service (Stand: Dezember 2016). Eine alternative Mobilitätslösung für Dienstreisen über mittlere Distanzen ist per Mietfahrzeugservice möglich. Die Fahrzeuge können 24/7 über ein Online-Portal, zukünftig auch mit eigener App, angemietet werden. Eine RFID-Karte ermöglicht den Kunden zudem rund um die Uhr den schlüssellosen Zugang zum Fahrzeug.

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

Durch die Green Car Policy und die individuellen Mobilitätskonzepte konnte der CO₂-Ausstoß der Pkw-Flotte bis Ende 2015 auf durchschnittlich 110 Gramm CO₂ pro Kilometer gesenkt werden. Damit liegt die Deutsche Telekom deutlich unter den Grenzwerten der Europäischen Union von 130 Gramm CO₂ pro Kilometer.

Auf den Punkt gebracht

Durch die Digitalisierung können den Mitarbeitern Mobilitätsdienstleistungen angeboten werden, die eine intermodale und multimodale Fortbewegung unterstützen. Die Nutzung einer Applikation oder einer Website macht es möglich, für jede Situation und Anforderung das jeweils passende Mobilitätskonzept zu bestimmen und zu buchen: Shuttle-Bus, Dienstwagen, Mietfahrzeug oder Fahrrad.

www.telekom.de

Mitarbeiter-Wandel

Beiersdorf

Das Unternehmen und sein Umfeld

Beiersdorf ist ein börsennotierter Konzern mit rund 19.000 Mitarbeitern in über 160 Tochtergesellschaften weltweit (Stand Dezember 2017). Das Unternehmen untergliedert sich in den Bereich Consumer mit Haut- und Körperpflegeprodukten und den Bereich tesa, der selbstklebende System- und Produktlösungen für Industrie, Gewerbe und Endverbraucher herstellt. Den Schwerpunkt der Unternehmensaktivitäten bildet der Unternehmensbereich Consumer mit Marken wie NIVEA, Eucerin, La Prairie, 8x4 und Hansaplast.

„We care.“-Strategie bündelt Nachhaltigkeitsziele für die nächsten Jahre

Nachhaltiges Engagement hat bei Beiersdorf eine lange Tradition. Mit der Consumer Nachhaltigkeitsstrategie „We care.“ wurde ein klarer Fokus auf verantwortungsvolles Wachstum und die Integration von Nachhaltigkeit entlang der gesamten Wertschöpfungskette gelegt. Die Nachhaltigkeitsstrategie fußt auf den drei Bereichen Products, Planet und People und beinhaltet konkrete Nachhaltigkeitsziele für 2020 beziehungsweise 2025 sowie eine Reihe von Maßnahmen zur Messung des unternehmensweiten Fortschritts bei der Umsetzung der Ziele.

„We care.“ als Summe vieler „I care“

Im Zentrum des „We care.“ Engagement Programms standen von Anfang an das Engagement der Mitarbeiter und der Dreiklang aus informieren, involvieren und inspirieren. „Wir haben immer wieder deutlich gemacht, dass unsere Nachhaltigkeitsbestrebungen nur dann erfolgreich sein können, wenn jeder unserer Mitarbeiter einen Beitrag dazu leistet. Erst dann entfaltet das Gesamtunternehmen eine enorme Kraft, mit der wir unsere ambitionierten Ziele erreichen können“, beschreibt Dorle Bahr, Head of Environmental Sustainability, die Idee der Initiative. „We care.“ ist damit die Gesamtsumme vieler einzelner „I care“-Ziele.

Um alle Mitarbeiter weltweit zu erreichen, setzt Beiersdorf auf eine umfangreiche und noch immer fort-dauernde interne Kommunikation sowie auf diverse Mitarbeiter-Engagement-Kampagnen. Den Anfang machte eine Plakat- und Video-Kampagne, bei der verschiedene Kollegen ihr persönliches „I care“-Engagement darstellten und so zum eigenen Handeln inspirierten. Mit „think planet“, „A closer look at products“ sowie „All about people“ folgten weitere Kampagnen,

„Wir haben eine Antwort gefunden, wie man Umweltthemen vermitteln kann – trotz der gestiegenen Flexibilisierung des Arbeitsumfeldes.“

die das Nachhaltigkeitsverständnis und die Eigeninitiative der Mitarbeiter fördern sollten. Ein Beispiel für das Engagement der Mitarbeiter ist die Unterstützung der Initiative Foodsharing e.V., die verantwortungsvolle Ressourcennutzung und soziales Handeln verknüpft. Seit 2013 spendet Beiersdorf regelmäßig nicht verbrauchtes, frisches Essen aus dem Hamburger Betriebsrestaurant an soziale Einrichtungen der Hansestadt.

Die digitalen Unternehmensplattformen trugen maßgeblich dazu dabei, die „We care.“-Strategie sowie die einzelnen Kampagnen global zu etablieren. Während das Beiersdorf-Intranet „BlueNet“ vorwiegend über die Strategie, Ziele und die Fortschritte informiert, stehen auf der onlinebasierten Kollaborationsplattform „blueplanet“ die Bereitstellung von Materialien sowie die Interaktion mit den Kollegen in den Regionen im Fokus, beispielsweise in Form von Chats. Zusätzliche Videos – zum Teil mit nutzergeneriertem Content –, in denen Mitarbeiter ihr eigenes Nachhaltigkeitsengagement vorstellen, das interaktive Tool www.myimpact-ontheplanet.com zur Messung des eigenen ökologischen Fußabdrucks sowie ein digitales Quiz, bei dem Mitarbeiter den Herstellungsprozess für ein Produkt selber steuern können und über die Nachhaltigkeit „ihres“ Produkts aufgeklärt werden, runden den digitalen Ansatz der „We care.“-Initiative ab.

Auf den Punkt gebracht

Beiersdorf nutzt verschiedene digitale Kommunikationskanäle und Medien, um die Beschäftigten für das Thema Nachhaltigkeit zu sensibilisieren. So ist es gelungen, die Anliegen der „We care.“-Strategie konzernweit zu verankern und ambitionierte Nachhaltigkeitsziele zu verwirklichen.

www.beiersdorf.de/nachhaltigkeit

Institutioneller Wandel

TUI AG

Das Unternehmen und sein Umfeld

Die TUI Group ist ein weltweit tätiger, börsennotierter Tourismus-Konzern mit Doppelsitz in Berlin und Hannover, der seinen Kunden entlang der gesamten touristischen Wertschöpfungskette Services anbietet. Über Reisebüros und Online-Portalen kann der Kunde die Reise buchen. TUI Fly bringt die Kunden zu den Hotels und Kreuzfahrtschiffen der TUI Group. Rund um den Globus beschäftigt der Konzern rund 67.000 Mitarbeiter. Anspruchsvolle Kundenbedürfnisse verändern den Markt. Der Trend geht in Richtung authentische Reiseerlebnisse sowie weiter entfernte Reisedestinationen, wie beispielsweise Asien und die Karibik. Zusätzlich rückt das Thema Nachhaltigkeit und Ressourceneffizienz stärker in den Fokus des Reise- und Tourismusgewerbes.

„Wir wollen Wachstum mit Nachhaltigkeit in Einklang bringen.“

FTSE4Good Global Benchmark Index – Anerkennung für nachhaltiges Engagement

Die TUI Group ist seit 2010 im FTSE4Good Global Benchmark Index gelistet. Diese Indexfamilie des Londoner Anbieters FTSE nimmt Unternehmen auf, die sich in besonderem Maße im Bereich Corporate Social Responsibility engagieren. Der Index attestiert den gelisteten Unternehmen, dass ihre Maßnahmen im Bereich Nachhaltigkeit und Corporate Governance den Branchendurchschnitt deutlich übertreffen („Best in class“-Prinzip). Die Positivkriterien für die Aufnahme in die FTSEGood Index Serie basieren auf weltweit anerkannten Normen wie denen des UN Global Compact und der Menschenrechtskonvention. Unternehmen, die in den Index aufgenommen werden wollen, müssen Maßnahmen zur ökologischen Nachhaltigkeit umsetzen, die Menschenrechte achten und deren Einhaltung fördern, gute Arbeitsbedingungen und Transparenz in der Beschaffungskette sicherstellen, Korruption verhindern und den Klimaschutz vorantreiben.

Dies zeigen exemplarisch zwei Initiativen der TUI Group: In den Reisebüros in England ermöglichen Energie-Dashboards die Echtzeitdarstellung von CO₂-Emissionen der Gebäude und den Abgleich der Daten mit den jeweiligen Energiesparzielen. Die Maßnahmen, die aus den Anzeigen des Dashboards abgeleitet wurden, trugen in den Reisebüros zu einer Reduktion des CO₂-Ausstoßes um 24 Prozent innerhalb von drei Jahren bei.

TUI Cruises stattet Schiffe mit einem neuartigen EMMA-System (Energie-Monitoring- und Managementsystem, „Voyage und Trim“) aus. Dieses System verknüpft mehrere Echtzeitdaten, um den optimalen Trimm des Schiffes zu bestimmen. Unter anderem werden Gewicht, Strömung und Wetterlage miteinbezogen, um die effizienteste Route zu berechnen. Zusätzlich werden Neubauten der Schiffsflotte mit einem intelligenten Energiemanagementsystem ausgestattet. Dadurch lassen sich Treibstoffeinsparungen von bis zu zehn Tonnen Treibstoff pro Tag erreichen (zur Einordnung dieses Werts: Der durchschnittliche Verbrauch pro Tag liegt bei 200 Tonnen).

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

Die Integration des Umweltschutzes in die Unternehmensstrategie und die Einhaltung des ISO 14001 Standards tragen zur Minderung des Treibhausgas-Ausstoßes bei. Die TUI Group hat sich als Ziel gesetzt, die CO₂-Intensität im Zeitraum 2015 bis 2020 um zehn Prozent zu senken. Entsprechende Maßnahmen ziehen sich durch sämtliche Tochterkonzerne. Beispielsweise ist es TUI Fly im Geschäftsjahr 2014/2015 gelungen, den CO₂-Ausstoß pro geflogenem Passagierkilometer um 2,3 Prozent gegenüber dem Vorjahr zu reduzieren. Ein zentrales Ziel der TUI Group ist die Förderung einer nachhaltigen Tourismusbranche. Bis 2020 möchte der Konzern jährlich 10 Millionen Gästen (2015: 5,6 Millionen) eine nachhaltige Urlaubsreise, gemäß der Zertifizierung des „Global Sustainable Tourism Council“, anbieten. Darüber hinaus hat die TUI Group unter anderem die Initiative TUI Care Foundation gegründet. Das Unternehmen stärkt den Umwelt- und Naturschutz in den Urlaubsdestinationen. Auf Lanzarote wird beispielsweise der biologische, traditionelle Weinanbau der Insel gefördert.

Auf den Punkt gebracht

Die Digitalisierung beschleunigt innerhalb der TUI Group die Entwicklung des nachhaltigen Tourismus. Das Unternehmen setzt eine Cloud-Applikation ein, die die Energieverbrauchsdaten des gesamten Konzerns erfasst und den ökologischen Fußabdruck aufzeigt. Die Systemlösung ermöglicht eine hohe Datenqualität und trägt zu einer Verbesserung der Steuerung und Kontrolle umweltrelevanter Aktivitäten bei. Die TUI Group nimmt ökologische Verantwortung im jeweiligen Ziel-land wahr. Das Unternehmen fördert durch verstärktes lokales Engagement und die Kooperation mit regionalen Partnern den nachhaltigen Tourismus.

www.tui.com

Institutioneller Wandel

VAUDE Sport GmbH & Co. KG

Das Unternehmen und sein Umfeld

Die VAUDE Sport GmbH & Co. KG mit Sitz in Tett nang, Baden-Württemberg, wurde 1974 als Bergsportausrüster gegründet. Heute ist das Familienunternehmen in drei Geschäftsbereichen aktiv: Mountain Sports, Bike Sports und Packs n'Bags. Die Produktpalette umfasst Bekleidung, Schuhe, Rucksäcke, Schlafsäcke und Isomatten, Zelte, Taschen sowie Reisegepäck.

Die Outdoor-Branche verzeichnet seit einigen Jahren nur noch geringe Wachstumsraten. Dementsprechend hart ist der Verdrängungswettbewerb unter den Outdoor-Ausrüstern; derzeit ist ein Konsolidierungsprozess zu beobachten. Auf der Nachfrageseite ist ein Wertewandel erkennbar: Für die Kunden spielt das Thema Nachhaltigkeit eine zunehmend wichtigere Rolle. Gerade die natur- und sportbegeisterte Klientel der Outdoor-Branche stellt hohe Anforderungen an die Einhaltung ökologischer und sozialer Kriterien. Für die Anbieter ist Nachhaltigkeit ein Differenzierungsaspekt.

Mit grünen Themen zu schwarzen Zahlen

Die Digitalisierung erleichtert und beschleunigt das Green Controlling bei VAUDE. Schon bei der Einführung der EMAS-Zertifizierung³ im Jahr 2008 hat VAUDE konsequent nachhaltigkeitsbezogene Daten entlang der Wertschöpfungskette in den einzelnen Unternehmensbereichen erhoben. Die Innovation des Green Controlling, für die das Unternehmen mit dem Green-Controlling Preis der Péter Horváth-Stiftung ausgezeichnet wurde, basiert auf der Qualität der Datenerhebung, auf der Verknüpfung, Auswertung und Interpretation der Daten und die permanente Verbesserung der Datenqualität. So können Trends erkannt und Prozessoptimierungen vorgenommen werden. Eine interne Vernetzung macht es möglich, entlang der Wertschöpfungskette Nachhaltigkeitsziele zu messen. Ziel ist die vollständige Datenanbindung von den Materialherstellern bis zur Konfektionierung durch die Einführung eines ERP-Systems (Enterprise Resource Planning). Dabei ist ein stabiles Lieferantensystem von hoher Bedeutung. Eine vollständige Datenanbindung ermöglicht unter anderem die Bestimmung des CO₂-Footprints jedes einzelnen Produktes. Die Kunden und Stakeholder des Familienunternehmens erfahren über digitale Kommunikationskanäle,

wie VAUDE die ökonomischen, ökologischen und sozialen Nachhaltigkeitskriterien erfüllt. Auf der eigenen Website sowie über sozialen Plattformen informiert VAUDE über die Implementierung von Umweltmanagement-Systemen (ISO 14001, EMAS) und von CSR-Standards (Fair Wear Foundation, Deutscher Nachhaltigkeitskodex, GWÖ). Zudem ist die Nachhaltigkeit Kern vieler digitaler Marketingkampagnen.

„Nur wenn wir gemeinsam mit den Zulieferern den Weg gehen, gelingt die Umsetzung einer Nachhaltigkeitsstrategie entlang sämtlicher Unternehmensbereiche.“

Effekte für den Umwelt- und Klimaschutz

Zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie hat VAUDE für alle Unternehmensbereiche ein Kennzahlensystem entwickelt. Dazu wurden 2010 die VAUDE Green Shape-Kriterien definiert, die 2015 weiter verschärft wurden. Green Shape ist ein Bewertungssystem für Outdoor-Produkte, das VAUDE selbst entwickelt hat. Mit dem Label Green Shape kennzeichnet VAUDE Produkte, die ressourcenschonend und umweltfreundlich hergestellt wurden. Green Shape-Kriterien gelten nicht nur für das Material, sondern für den gesamten Produktlebenszyklus – von der Produktentwicklung über die Produktion bis hin zur Produktpflege und die Möglichkeiten des Recyclings beziehungsweise der Entsorgung. Nicht nur die textilen Hauptmaterialien, sondern auch Zutaten wie Knöpfe, Garne und ähnliches müssen den Green Shape-Anforderungen genügen. Das Green Shape-Bewertungssystem basiert auf dem bluesign® System,⁴ geht aber punktuell über die Kriterien dieser Zertifizierung für textile Materialien hinaus.

Auf den Punkt gebracht

VAUDE nutzt das Green Controlling als grünen Innovationstreiber und greift verstärkt auf Sekundärrohstoffe zurück, die durch Recycling-Prozesse gewonnen werden. Die Digitalisierung ermöglicht eine umfassende und verknüpfte Datenerhebung, die einen Hebel für Prozessoptimierungen darstellt.

www.vaude.com

3 Eco Management and Audit Scheme – Als freiwilliges Instrument der Europäischen Union zur Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes unterstützt es Unternehmen jeder Rechtsform und Größe, ihre Umweltleistung kontinuierlich zu verbessern. Es gilt als das anspruchsvollste und umfassendste Umweltmanagement-System weltweit.

4 Das bluesign® System fordert von Unternehmen, dass sie in der gesamten Produktionskette fünf Grundsätze beachten: Ressourcenproduktivität, Konsumentenschutz, Arbeitsplatzsicherheit, keine Verunreinigung von Abfall und Abwasser.

Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen

Tabelle 1:	Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung der UN-Agenda 2030	18
Tabelle 2:	Ausschnitt aus dem Indikatorensystem der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie	20
Abbildung 1:	Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz und deren Marktsegmente	27
Abbildung 2:	Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie	29
Abbildung 3:	Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Energieeffizienz	31
Abbildung 4:	Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz	34
Abbildung 5:	Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Nachhaltige Mobilität	38
Abbildung 6:	Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Kreislaufwirtschaft	40
Abbildung 7:	Marktsegmente und wesentliche Technologielinien im Leitmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft	43
Abbildung 8:	Globales Volumen der Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 (in Milliarden Euro)	45
Abbildung 9:	Volumina der Leitmärkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland 2016 (in Milliarden Euro)	46
Abbildung 10:	Entwicklung des globalen Marktvolumens für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 bis 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	48
Abbildung 11:	Entwicklung des deutschen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 bis 2025 (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	49
Abbildung 12:	Globales Wachstum der einzelnen Leitmärkte 2016 bis 2025 im Vergleich zur Entwicklung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz insgesamt (durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	50
Abbildung 13:	Wachstum der einzelnen Leitmärkte 2016 bis 2025 im Vergleich zur Entwicklung der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland insgesamt (durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	51
Abbildung 14:	Anteile der einzelnen Leitmärkte am weltweiten Gesamtmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 und 2025 (in Prozent, weltweiter Gesamtmarkt in Milliarden Euro)	52
Abbildung 15:	Anteile der Technologien zur „Anpassung an die Folgen des Klimawandels“ und „Minderung des Treibhausgasausstoßes“ am Weltmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 und 2025	54
Abbildung 16:	Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	55
Abbildung 17:	Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Erneuerbare Energien 2016 (in Prozent)	56

Abbildung 18: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Speichertechnologien 2016 (in Prozent)	57
Abbildung 19: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	58
Abbildung 20: Anwendungsfelder von Wasserstoff	62
Abbildung 21: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Energieeffizienz 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	64
Abbildung 22: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Branchenübergreifende Komponenten 2016 (in Prozent)	64
Abbildung 23: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Energieeffiziente Produktionsverfahren 2016 (in Prozent)	65
Abbildung 24: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Energieeffizienz von Geräten 2016 (in Prozent)	66
Abbildung 25: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Energieeffizienz von Gebäuden 2016 (in Prozent)	66
Abbildung 26: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Energieeffizienz (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	67
Abbildung 27: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Rohstoff- und Materialeffizienz 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	68
Abbildung 28: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Nachwachsende Rohstoffe 2016 (in Prozent)	70
Abbildung 29: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Rohstoff- und Materialeffizienz (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	71
Abbildung 30: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Nachhaltige Mobilität 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	74
Abbildung 31: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Alternative Antriebstechnologien 2016 (in Prozent)	75
Abbildung 32: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung 2016 (in Prozent)	77
Abbildung 33: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Nachhaltige Mobilität (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	78
Abbildung 34: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Kreislaufwirtschaft 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	79
Abbildung 35: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Kreislaufwirtschaft (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	80

Abbildung 36: Entwicklung des Volumens des globalen Leitmarktes Nachhaltige Wasserwirtschaft 2016 bis 2025 differenziert nach Marktsegmenten (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	83
Abbildung 37: Anteil einzelner Technologielinien am Weltmarktvolumen des Marktsegments Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung 2016 (in Prozent)	84
Abbildung 38: Entwicklung des Marktvolumens in Deutschland 2016 bis 2025 – Leitmarkt Wasserwirtschaft (in Milliarden Euro und durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	85
Abbildung 39: Ausgewählte Technologielinien mit hohem Weltmarktvolumen (in Milliarden Euro) im Jahr 2016 und hohen Wachstumsraten (durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	87
Abbildung 40: „Top 10“-Technologielinien in Deutschland nach Marktgröße 2016 (in Milliarden Euro)	88
Abbildung 41: „Top 10“-Technologielinien in Deutschland nach Wachstum 2016 bis 2025 (durchschnittliche jährliche Veränderung 2016 bis 2025 in Prozent)	89
Abbildung 42: Anteil klassischer Industrien am Weltmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz 2016 (in Prozent)	90
Abbildung 43: Anteil der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz am globalen Marktvolumen ausgewählter Industrien 2016 (in Milliarden Euro)	91
Abbildung 44: Anteil deutscher Unternehmen am Weltmarkt für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz nach Leitmärkten 2016 (in Prozent)	92
Abbildung 45: Weltmarktanteile deutscher Anbieter in ausgewählten Technologielinien der GreenTech-Leitmärkte 2016 und Trend bis 2025 (in Prozent)	93
Abbildung 46: Beschäftigte in der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland 2016	94
Abbildung 47: Marktvolumen der Umwelttechnik-Dienstleistungen und Dienstleistungsintensität auf Leitmarktebene Deutschland 2016 (in Milliarden Euro, Dienstleistungsintensität in Prozent)	95
Abbildung 48: Verteilung der Unternehmen nach Umsatzgröße (Anzahl der Nennungen in Prozent)	98
Abbildung 49: Durchschnittlicher Jahresumsatz pro Unternehmen nach Leitmarktfokus (in Millionen Euro)	99
Abbildung 50: Durchschnittlich erwartetes jährliches Umsatzwachstum bis 2021 nach Leitmarktfokus (in Prozent)	99
Abbildung 51: Verteilung der Unternehmen nach Mitarbeiterzahl (Anzahl der Nennungen in Prozent)	100
Abbildung 52: Durchschnittlich erwartetes jährliches Wachstum der Mitarbeiteranzahl bis 2021 nach Leitmarktfokus (in Prozent)	101
Abbildung 53: Durchschnittliches jährliches Produktivitätswachstum bis 2021 nach Leitmarktfokus (in Prozent)	102
Abbildung 54: Durchschnittliche FuE-Quote pro Unternehmen nach Leitmarktfokus (in Prozent)	103
Abbildung 55: Verteilung der Gesamtumsätze der Unternehmen auf die Leitmärkte (in Prozent)	104
Abbildung 56: Leistungsangebot der Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette (Anzahl der Nennungen in Prozent)	104
Abbildung 57: Beurteilung der Geschäftserwartungen differenziert nach Leitmarkt	105
Abbildung 58: Umsatzverteilung nach Regionen, differenziert nach Leitmarktfokus (in Prozent)	113

Abbildung 59: Umsatzverteilung nach Regionen von produzierenden Unternehmen und Dienstleistern (in Prozent)	114
Abbildung 60: Bedeutung internationaler Absatzmärkte im Jahr 2016 aus Sicht der befragten Unternehmen	115
Abbildung 61: Erwarteter Bedeutungszuwachs internationaler Absatzmärkte bis 2025 aus Sicht der befragten Unternehmen	115
Abbildung 62: „Top 5“-Technologielinien nach Auslandsmarkt und Attraktivität mit Leitmarktzuzuordnung	116
Abbildung 63: „Top 5“-Technologielinien nach Regionen und Attraktivität mit Leitmarktzuzuordnung	116
Abbildung 64: Die vier Hebel der digitalen Transformation und Anwendungsbeispiele	122
Abbildung 65: Amazon als zentrale Plattform mit Sog- und Druckwirkung	124
Abbildung 66: Ausgewählte industrielle Projekte und Beteiligungen von Google	125
Abbildung 67: Das digitale System Hamburger Hafen	126
Abbildung 68: Beispiele disruptiver Geschäftsmodelle unterschiedlichen Reifegrades	128
Abbildung 69: Grundsätze und Werte – Gegenüberstellung von traditionell und digital geprägten Unternehmen	129
Abbildung 70: Komponenten und Aufbau des digitalen Systems Connected Energy	135
Abbildung 71: Digitales System Connected Energy – Segmentierung und Unternehmensbeispiele	136
Abbildung 72: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Connected Energy	137
Abbildung 73: Komponenten und Kreislauf des digitalen Systems Building Information Network	138
Abbildung 74: Digitales System Building Information Network – Segmentierung und Unternehmensbeispiele	140
Abbildung 75: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Building Information Network	141
Abbildung 76: Komponenten und Aufbau des digitalen Systems Industrie 4.0	143
Abbildung 77: Digitales System Industrie 4.0 – Segmentierung und Unternehmensbeispiele	144
Abbildung 78: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Industrie 4.0	145
Abbildung 79: Komponenten und Aufbau des digitalen Systems Urban Connected Mobility	147
Abbildung 80: Digitales System Urban Connected Mobility – Segmentierung und Unternehmensbeispiele	148
Abbildung 81: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Urban Connected Mobility	149
Abbildung 82: Komponenten und Struktur des digitalen Systems Smart Grid	151
Abbildung 83: Digitales System Smart Grid – Segmentierung und Unternehmensbeispiele	152
Abbildung 84: Exemplarische Darstellung von neuen Geschäftsmodellen als Treiber der Digitalisierung im System Smart Grid	153
Abbildung 85: Zusätzlich erzielbares Marktvolumen der Leitmärkte für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland 2025 durch Digitalisierung (in Milliarden Euro)	156

Abbildung 86: Zusätzliche CO ₂ e-Einsparung (in Millionen Tonnen) durch Digitalisierung je Leitmarkt in Deutschland im Jahr 2025	159
Abbildung 87: Digitale Readiness der sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland und Bewertungskriterien	166
Abbildung 88: Einfluss der Digitalisierung auf die einzelnen Bereiche der Wertschöpfungskette	167
Abbildung 89: Auswirkungen der Digitalisierung aus Sicht der GreenTech-Unternehmen	168
Abbildung 90: Digitalisierung in der Umwelttechnik- und Ressourceneffizienz – die fünf größten Herausforderungen für deutsche GreenTech-Unternehmen	169
Abbildung 91: Anteil „grüner“ Startups an den Unternehmensgründungen in Deutschland sowie deren Verteilung auf einzelne Wirtschaftszweige (2014)	172
Abbildung 92: Anteil erneuerbarer Energien am Bruttoendenergieverbrauch in Deutschland im Zeitraum 2000 bis 2020 (in Prozent)	173
Abbildung 93: Entwicklung des Anteils der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz (normiert) in Deutschland auf das nominale Bruttoinlandsprodukt für die Jahre 2007, 2011, 2016 und 2025 (in Prozent)	174
Abbildung 94: Die fünf Felder der Grünen Transformation	175

Literaturverzeichnis

A

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0 [www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Abschlussbericht_Industrie4.0_barrierefrei.pdf; abgerufen am 8. April 2017]

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2016): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland 1990 bis 2015 [www.ag-energiebilanzen.de/10-0-Auswertungstabellen.html; abgerufen am 31. Juli 2017]

B

Bayerisches Landesamt für Umwelt (2016): Spurenstoffe im Wasser [www.lfu.bayern.de/umweltwissen/doc/uw_125_spurenstoffe.pdf; abgerufen am 25. März 2017]

BDL – Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (2017): Klimaschutzreport 2017, Berlin

Becker, Joachim (2017): China unter Strom. Süddeutsche Zeitung vom 28./29. Januar 2017

BP Statistical Review of World Energy June 2017 [www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf; abgerufen am 27. Juli 2017]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2007): GreenTech made in Germany. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland, München

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2009a): GreenTech made in Germany 2.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland, München

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2009b): Umwelttechnik-Dienstleistungen. Treiber für ökologische Modernisierung und Beschäftigung. Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2012): GreenTech made in Germany 3.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland, Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015a): Erstes globales Klimaschutzabkommen beschlossen – Pressemitteilung vom 12. Dezember 2015 [www.bmub.bund.de/pressemitteilung/klimaschuetzer-schreiben-geschichte/; abgerufen am 2. April 2017]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015b): Klimaschützer schreiben Geschichte – Pressemitteilung vom 12. Dezember 2015 [www.bmub.bund.de/pressemitteilung/klimaschuetzer-schreiben-geschichte/; abgerufen am 2. April 2017]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2015c): GreenTech made in Germany 4.0. Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland, Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016a): Hendricks: „Paris wirkt“ – Pressemitteilung vom 18. November 2016 [www.bmub.bund.de/pressemitteilung/hendricks-paris-wirkt/; abgerufen am 2. April 2017]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016b): Klimaschutzplan 2050: Kabinett beschließt Wegweiser in eine klimaneutrale Deutschland – Pressemitteilung vom 14. November 2016 [www.bmub.bund.de/pressemitteilung/klimaschutzplan-2050-kabinett-beschliesst-wegweiser-in-ein-klimaneutrales-deutschland/; abgerufen am 2. April 2017]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016c): Klimaschutz in Zahlen, Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016d): Den ökologischen Wandel gestalten. Integriertes Umweltprogramm 2030, Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2016e): Abfallwirtschaft in Deutschland. Fakten, Daten, Grafiken, Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017a): Hendricks: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie 2016 ist klares Bekenntnis zum Schutz unseres Planeten – Pressemitteilung vom 11. Januar 2017 [www.bmub.bund.de/pressemitteilung/hendricks-deutsche-nachhaltigkeitsstrategie-2016-ist-klares-bekenntnis-zum-schutz-unseres-planeten/; abgerufen am 2. April 2017]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017b): Klimaschutz in Zahlen. Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Ausgabe 2017. Berlin

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2017c): Klimaschutz in Zahlen: Der Sektor Verkehr [www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutz_in_zahlen_verkehr_bf.pdf]

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hrsg.) (2015): Stufenplan Digitales Planen und Bauen [www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/DG/stufenplan-digitales-bauen.pdf?__blob=publicationFile; abgerufen am 30. April 2017]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): Hoher Energieverbrauch des Gebäudesektors [www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2014/22/Meldung/hoher-energieverbrauch-des-gebaeudesektor.html; abgerufen am 31. Juli 2017]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017a): Erneuerbare Energien [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html; abgerufen am 31. Juli 2017]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017b): Energieeffizienz in Zahlen, Seite 9 [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=14; abgerufen am 27. Juli 2017]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017c): Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (NEEAP) 2017 der Bundesrepublik Deutschland [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/nationaler-aktionsplan-energieeffizienz-neeap.pdf?__blob=publicationFile&v=14; abgerufen am 27. Juli 2017]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017d): Pressemitteilung vom 16. März 2017: Bundesregierung schlägt G20 Ressourcenpartnerschaft vor – Weltressourcenrat präsentiert Ergebnisse zum globalen Ressourcen- und Rohstoffverbrauch [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2017/20170316-bundesregierung-schlaegt-g20-ressourcenpartner-weltressourcenrat-ergebnisse-globalen-ressourcen-rohestoffverbrauch.html; abgerufen am 17. März 2017]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017e): Der starke Kern der deutschen Wirtschaft [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/moderne-industriepolitik.html; abgerufen am 18. März 2017]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017f): Moderne Industriepolitik [www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/moderne-industriepolitik.html]; abgerufen am 8. April 2017]

Bundesregierung (Hrsg.) (2017): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. Berlin

C

CHEMIE.DE Information Service GmbH (2017): Wasserstoffherstellung [www.chemie.de/lexikon/Wasserstoffherstellung.html]; abgerufen am 3. August 2017]

China Observer (2016): Über eine Million Hektar Ackerland in China von Dürre betroffen [www.china-observer.de/index.php/2016/04/13/uber-eine-million-hektar-ackerland-in-china-von-durre-betroffen/]; abgerufen am 14. März 2017]

Christensen, Clayton M. (1997): The Innovator's Dilemma. When New Technologies Cause Great Firms to Fail. Boston

Clean Energy Partnership (2017): Wer ist die CEP? [<https://cleanenergypartnership.de/clean-energy-partnership/wer-ist-die-cep/?scroll=true>]; abgerufen am 3. August 2017]

CPC Strategy (2015): 15 Leading Product Information Management (PIM) Software Solutions for Retailers – CPC Strategy [www.cpcstrategy.com/blog/2015/02/15-pim-software-retailers/]; abgerufen am 30. April 2017]

Cylon (2017): Cylon | Intelligente Energiesteuerung [www.cylon.com/de/]; abgerufen am 30. April 2017]

D

Deutsche Bank Research (2016): Hochburg der Stabilität: Was Deutschland so erfolgreich macht [www.deutsche-bank.de/pfb/data/docs/20161215_Hochburg_der_Stabilitaet__Was_Deutschland_so_erfolgreich_macht.pdf]; abgerufen am 31. Juli 2017]

Deutsche Bank Research (2017): Unsicherheit bremst Investitionen aus [www.dbresearch.de/PROD/DBR_INTERNET_DE-PROD/PROD0000000000432852/Unsicherheit_bremst_Investitionen_aus.pdf]; abgerufen am 16. August 2017]

Deutsche Rohstoffagentur (2017): DERA-Rohstoffliste 2016 [www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Downloads/rohstoffliste-2016-zusammenfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=4]; abgerufen am 28. Juli 2017]

Deutsche Telekom AG (2017): QIVICON Die Plattform für Smart Home [www.qivicon.com/de/vorteile/?mclid=2221.14.1127219.f216b0f55785aee97c4102727e116189...0.1461934143.1.1464526143]; abgerufen am 30. April 2017]

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2015): Möglichkeiten der Elimination von anthropogenen Spurenstoffen, Seite 8 [www.dwa.de/dwa/shop/shop.nsf/Produktanzeige?openform&produktid=P-DWAL-9VE7VK]; abgerufen am 25. März 2017]

Deutsche Welle (2016) [www.dw.com/en/quote-ban-ki-moon-un/a-36213909]; abgerufen am 8. April 2017]

Deutscher Bundestag (2014): Der Rebound-Effekt: Störendes Phänomen bei der Steigerung der Energieeffizienz, Wissenschaftliche Dienste 16/14, Juni 2014 [www.bundestag.de/blob/282726/85e2970ac3cda746a05541a0269eda69/der-rebound-effekt--stoerendes-phaenomen-bei-der-steigerung-der-energieeffizienz-data.pdf]; abgerufen am 2. August 2017]

Deutschlandfunk (2015): Rüsten für den Wassermangel [www.deutschlandfunk.de/brasilien-ruesten-fuer-den-wassermangel.1773.de.html?dram:article_id=311324; abgerufen am 14. März 2017]

DRS DefectRadar GmbH (2017) [www.defectradar.com; abgerufen am 30. April 2017]

E

E.ON Energie Deutschland GmbH (2017): SmartGrid: Das Netz denkt mit [www.eon.de/pk/de/energiezukunft/erneuerbare-energien/technologie/intelligente-verteilung/smartgrid.html; abgerufen am 30. April 2017]

Earth Overshoot Day (2017) [www.overshootday.org/newsroom/press-release-german/; abgerufen am 2. August 2017]

Eastman, C. (Hrsg.) (2011): BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors, 2. ed. Hoboken, NJ

Eder, Stephan (2016): Windmühlen kommen auf See an die Leine, in: VDI Nachrichten vom 29. September 2016 [www.gicon-sof.de/fileadmin/GICON_SOF/presse/160929_VDI_Nachrichten_Seite_21.jpg; abgerufen am 25. März 2017]

eLife (2017): Ahoi Zukunft: Schwimmende Windräder [<https://elife.vattenfall.de/zukunft/schwimmende-windraeder/>; abgerufen am 25. März 2017]

EnOcean GmbH (2017) [www.enocean.com/de/; abgerufen am 30. April 2017]

Eurostat (2017) [http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/web/_download/Eurostat_Table_tsdcc210PDFDesc_20028956-8e27-4eba-93cd-57a6b980e5d4.pdf; abgerufen am 12. März 2017]

F

Fichter, Klaus / Weiß, Ralf (2016): Green Economy Gründungsmonitor 2015 [www.borderstep.de/wp-content/uploads/2016/09/Gr%C3%BCndungsmonitor-2015.pdf; abgerufen am 31. Juli 2017]

Fleig, Jürgen (2017): Disruptive Innovationen: Die Regeln der Branche radikal verändern, business-wissen.de [www.business-wissen.de/artikel/disruptive-innovationen-die-regeln-der-branche-radikal-veraendern/; abgerufen am 30. April 2017]

Fraunhofer-Einrichtung für Systeme der Kommunikationstechnik ESK (Hrsg.) (2011): Smart Grid Communications 2020. Fokus Deutschland [www.esk.fraunhofer.de/content/dam/esk/dokumente/SmartGrid_Studie_dt_web_neu.pdf; abgerufen am 1. August 2017]

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF (2012): 20 Jahre fraunhofer iof [www.iof.fraunhofer.de/content/dam/iof/de/documents/wir/Festbrosch%C3%BCre-20-Jahre-L%C3%B6sung-mit-Licht.pdf; abgerufen am 07. Juni 2017]

Fraunhofer-Projektgruppe für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie IWKS (2017) [www.iwks.fraunhofer.de/de/iwks-abteilungen/urbanmining.html; abgerufen am 26. März 2017]

Fücks, Ralf (2016): Freiwillige grüne Revolution, in: IP Zeitschrift für internationale Politik, März/April 2016, Seite 42-45

G

German Trade & Invest (2016): China forciert Umweltschutz [www.gtai.de/GTAI/Navigation/DE/Trade/Maerkte/suche,t=china-forciert-umweltschutz,did=1480830.html; abgerufen am 19. März 2017]

Global Wind Energy Council (2017): Strong Outlook for Wind Power – Pressemitteilung vom 25. April 2017 [www.gwec.net/strong-outlook-for-wind-power/; abgerufen am 1. August 2017]

Google Deutschland (Hrsg.) (2017): Damit sich Schiffe nicht im Weg stehen, in: Aufbruch Daten

Grupp, Michael (2016): IE3-Norm. Gegen den Strom, in: Industrieanzeiger [<http://industrieanzeiger.industrie.de/themen/energieeffizienz/gegen-den-strom/>; abgerufen am 30. Juli 2017]

H

Hamburg Port Authority (2017a): Güterumschlag und Potenzialprognosen [www.hafen-hamburg-2025.de/de/wachstum/Seiten/Umschlagstatistik.aspx; abgerufen am 30. April 2017]

Hamburg Port Authority (2017b): smartPORT logistics [www.hamburg-port-authority.de/de/smartport/logistics/Seiten/Unterbereich.aspx; abgerufen am 14. April 2017]

Heinrich Böll Stiftung (2017): Perspektiven der US-Klimapolitik unter Donald Trump [www.boell.de/de/2017/04/26/perspektiven-der-us-klimapolitik-unter-donald-trump; abgerufen am 26. Juli 2017]

Hüther, Michael (2015): Defizite in der Spitzentechnologie? [www.iwkoeln.de/presse/gastbeitraege/beitrag/michael-huether-in-forschung-lehre-defizite-in-der-spitzentechnologie-236352; abgerufen am 31. Juli 2017]

I

ICONAG Leittechnik GmbH (2017) [www.iconag.de/; abgerufen am 30. April 2017]

Institut für Mittelstandsforschung (2017): KMU-Definition des IfM Bonn [www.ifm-bonn.org/definitionen/kmu-definition-des-ifm-bonn/; abgerufen am 31. März 2017]

Institute for Advanced Sustainability Studies (IASS) (2014): IASS Fact Sheet 2/2014. CO₂ als Wertstoff? [www.iass-potsdam.de/sites/default/files/files/rz_fact_sheet_140708_digital_0.pdf; abgerufen am 21. März 2017]

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014a): Klimaänderung 2014. Synthesebericht. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger [www.de-ipcc.de/_media/IPCC-AR5_SYR-SPM_vorlaeufige-Uebersetzung_Dez2015.pdf; abgerufen am 19. März 2017]

Intergovernmental Panel on Climate Change (2014b): 5. Sachstandsbericht, Arbeitsgruppe 3 [www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter1.pdf; abgerufen am 2. August 2017]

Internationale Energie-Agentur (2016a): World Energy Outlook. Zusammenfassung German Translation, [www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2016_ExecutiveSummary_Germanversion.pdf; abgerufen am 18. März 2017]

International Energy Agency (2016b): Energy Efficiency Market Report 2016, Paris

International Energy Agency (2016c): CO₂ emissions from fuel combustion. Highlights 2016 [www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsfromFuelCombustion_Highlights_2016.pdf; abgerufen am 27. September 2017]

International Energy Agency (2017): Transport [www.iea.org/topics/transport/; abgerufen am 18. März 2017]

International Transport Forum (2017a): Transport Outlook 2017. Zusammenfassung in Deutsch [www.keepeek.com/Digital-Asset-Management/oecd/transport/itf-transport-outlook-2017/summary/german_2156df17-de#.WM17E2_hCUk; abgerufen am 19. März 2017]

International Transport Forum (2017b): Presseerklärung vom 30. Januar 2017: CO₂ Mitigation Measures for Transport Will Not Achieve Climate Ambitions [www.itf-oecd.org/co2-mitigation-measures-outlook-2017-media-release; abgerufen am 18. März 2017]

ITIZZIMO AG (2017) [www.itizzimo.com/; abgerufen am 30. April 2017]

K

Karlsruher Institut für Technologie (2016): Power-to-Liquid: Erste Kompaktanlage im Pilotbetrieb. Pressemitteilung vom 9. November 2016 [www.kit.edu/downloads/pi/KIT_PI_2016_156_Power-to-Liquid%20-%20Erste%20Kompaktanlage%20im%20Pilotbetrieb.pdf; abgerufen am 19. März 2017]

katholisch.de (2016): Enzyklika „Laudato si“ [www.katholisch.de/aktuelles/themenseiten/enzyklika-laudato-si; abgerufen am 9. April 2017]

Knappe, Florian / Lansche, Jens (2010): Optimierung der Verwertung mineralischer Bauabfälle in Baden-Württemberg, Heidelberg

Kreutzer, Ralph T. (2017): Treiber und Hintergründe der digitalen Transformation, in: Schallmo, Daniel R.A. et al. (Hrsg.) (2017): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen. Grundlagen, Instrumente und Best Practices, Wiesbaden, Seite 34-58

L

Lacy, Peter / Rutqvist, Jakob / Buddemeier, Philipp (2015): Wertschöpfung statt Verschwendung: die Zukunft gehört der Kreislaufwirtschaft, München

Lünendonk GmbH (2015), „5 vor 12 – Die digitale Transformation wartet nicht“, Lünendonk, Lünendonk®-Whitepaper, 2015

Lumenaza GmbH (2017) [www.lumenaza.de; abgerufen am 30. April 2017]

M

Magazino GmbH (2017) [www.magazino.eu/toru/; abgerufen am 30. April 2017]

N

Naisbitt, John (2015): „Der Horizont reicht meist nur bis zum nächsten Wahltag.“ Interview mit John Naisbitt, aus: APuZ, Aus Politik und Zeitgeschichte, 65. Jg., 31–32/2015

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017a): S-PRESSO – Praxiserprobung von wasserstoffbetriebenen Omnibussen in Stuttgart und Umgebung [www.now-gmbh.de/de/nationales-innovationsprogramm/projektfinder/verkehr/weitere-s-presso; abgerufen am 3. August 2017]

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017b): RiverCell – Konzipierung und Entwicklung einer Brennstoffzellen-Hybridanlage für ein Flussschiff (Kreuzfahrt- und Schubschiff) [www.now-gmbh.de/de/nationales-innovationsprogramm/projektfinder/stationaere-energieversorgung/rivercell; abgerufen am 3. August 2017]

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017c): Demonstrationsbetrieb BZ-Flurförderfahrzeuge Daimler Werk Düsseldorf [www.now-gmbh.de/en/national-innovation-programme/projektfinder/spezielle-maerkte/bz-flurfoerderfahrzeuge-daimler-werk-duesseldorf; abgerufen am 3. August 2017]

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017d): Callux-Praxistest mündet in Markteinführung [www.now-gmbh.de/content/2-nationales-innovationsprogramm/5-strom-und-waerme-mit-brennstoffzellen/1-callux/2015-11-26_callux_presse-info.pdf; abgerufen am 3. August 2017]

Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (2017e): Leonardo II [www.now-gmbh.de/de/nationales-innovationsprogramm/projektfinder/stationaere-energieversorgung/leonardo-ii; abgerufen am 3. August 2017]

Next Kraftwerke GmbH (2017): Über uns [www.next-kraftwerke.de/unternehmen]

O

Öko-Institut e.V. (2016): Fragen und Antworten zu Obsoleszenz [www.oeko.de/oekodoc/2464/2016-003-de.pdf; abgerufen am 19. März 2017]

O.V. (2015): Obama: „Wendepunkt für die Welt“ – dank Amerika, sueddeutsche.de vom 13. Dezember 2015 [www.sueddeutsche.de/wissen/reaktionen-auf-klimavertrag-wir-haben-geschichte-geschrieben-1.2780271; abgerufen am 8. April 2017]

O.V. (2016): Verkehrsminister Dobrindt: Selbstfahrende Autos erobern 2020 die deutschen Autobahnen, *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 1. Januar 2016

O.V. (2017a): Hunderte amerikanische Firmen stellen sich gegen Trump, in: *faz.net* vom 2. Juni 2017 [www.faz.net/aktuell/wirtschaft/wirtschaftspolitik/rueckzug-aus-klimaabkommen-us-firmen-kritisieren-donald-trump-15043616.html; abgerufen am 26. Juli 2017]

O. V. (2017b): Wal hatte 30 Plastiktüten im Magen [www.spiegel.de/wissenschaft/natur/muell-im-meer-wal-hatte-30-plastiktueten-im-magen-a-1132942.html; abgerufen am 26. März 2017]

Organisation for Economic Co-operation and Development (2014): The Cost of Air Pollution. Health Impacts of Road Transport. Zusammenfassung in Deutsch [www.oecd-ilibrary.org/docserver/download/9789264210448-sum-de.pdf?expires=1489863434&id=id&accname=guest&checksum=399279855093E4966DF6D6288ADF173C; abgerufen am 18. März 2017]

P

Patrignani, N./ Kavathatzopoulos, I. (2016): Cloud computing: the ultimate step towards the virtual enterprise?, *ACM SIGCAS Comput. Soc.*, Bd. 45, Nr. 3, Seite 68-72

Philips (2015): Philips provides Light as a Service to Schiphol Airport [www.philips.com/a-w/about/news/archive/standard/news/press/2015/20150416-Philips-provides-Light-as-a-Service-to-Schiphol-Airport.html]; abgerufen am 30. April 2017]

Piria, Raffaele/Naims, Henriette/Lorente Lafuente, Ana Maria (2016): Carbon Capture and Utilization (CCU): Klimapolitische Einordnung und innovationspolitische Bewertung. Berlin / Potsdam: adelphi, IASS [www.adelphi.de/de/publikation/carbon-capture-and-utilization-ccu-klimapolitische-einordnung-und-innovationspolitische]; abgerufen am 21. März 2017]

Proff, Heike / Schönharting, Jörg / Schramm, Dieter / Ziegler, Jürgen (Hrsg.) (2012): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität, Wiesbaden

Q

QNX Software Systems Limited (2017) [www.qnx.de/?lang=de]; abgerufen am 30. April 2017]

QT Mobilitätsservice GmbH (2017): Wo immer du hin willst: Gehe deinen eigenen Weg. Über Qixxit [www.qixxit.de/ueberqixxit/]; abgerufen am 30. April 2017]

R

Ramge, Thomas (2015): Disruption, Plattform, Netzwerkeffekt: Die drei Zauberworte, brandeins online [www.brandeins.de/archiv/2015/handel/disruption-plattform-netzwerkeffekt-die-drei-zauberworte-neue-wirtschaft/]; abgerufen am 30. April 2017]

REN 21 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (2017): Renewables Global Status Report 2017 [www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf]; abgerufen am 31. Juli 2017]

Roland Berger GmbH (Hrsg.) (2016a): Digital factories, Think Act Content [www.rolandberger.com/de/Publications/pub_digital_factories.html]; abgerufen am 31. Juli 2017]

Roland Berger GmbH (Hrsg.) (2016b): Plan D – konsequent digital [www.rolandberger.com/de/press/Neue-Studie-Plan-D-%E2%80%93-konsequent-digital-2.html]; abgerufen am 31. Juli 2017]

Roland Berger Strategy Consultants GmbH / Bundesverband der deutschen Industrie e. V. (Hrsg.) (2015): Die digitale Transformation der Industrie [http://bdi.eu/media/user_upload/Digitale_Transformation.pdf]; abgerufen am 31. Juli 2017]

S

Schalmo, Daniel et al. (Hrsg.) (2017): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen. Grundlagen, Instrumente und Best Practices, Wiesbaden

Schalmo, Daniel/Rusnjak, Andreas (2017): Roadmap zur digitalen Transformation von Geschäftsmodellen, in: Schalmo, Daniel et al. (Hrsg.) (2017): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen. Grundlagen, Instrumente und Best Practices, Wiesbaden, Seite 1-32

SERI Nachhaltigkeitsforschung und -kommunikations GmbH (2012): Nachhaltigkeit in Stadtplanung, Bauen und Wohnen [<http://seri.at/allgemeines/2012/05/02/sustainability-in-urban-planning-construction-and-living/>]; abgerufen am 2. April 2016]

Statistisches Bundesamt (2017a): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland. Indikatorenbericht 2016 [www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/IndikatorenPDF_0230001.pdf?__blob=publicationFile; abgerufen am 18. März 2017]

Statistisches Bundesamt (2017b) [www-genesis.destatis.de/genesis/online;jsessionid=E823FA0A450239F752C932D8AB5C3E69.tomcat_GO_1_1?operation=previous&levelindex=2&levelid=1490956256698&step=2; abgerufen am 31. März 2017]

Statistisches Bundesamt (2017c): Deutsche Exporte im Jahr 2016 um 1,1% gestiegen [www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Aussenhandel/GesamtentwicklungJahr.html; abgerufen am 31. März 2017]

Statistisches Bundesamt (2017d): Abfallbilanz 2014 [www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/Tabellen/TabellenAbfallbilanzKurzübersicht.html; abgerufen am 15. April 2017]

Statoil (2018): World's first floating wind farm has started production [www.statoil.com/en/news/worlds-first-floating-wind-farm-started-production.html; abgerufen am 23. Januar 2018]

U

Umweltbundesamt (2014): Rebound-Effekte [www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/oekonomische-rechtliche-aspekte-der/rebound-effekte; abgerufen am 30. April 2017]

Umweltbundesamt (2015a): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft [www.umweltbundesamt.de/publikationen/kartierung-des-anthropogenen-lagers-in-deutschland; abgerufen am 23. Januar 2018]

Umweltbundesamt (2015b): Ein Meer von Kunststoffen [www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/meere/nutzung-belastungen/muell-im-meer; abgerufen am 26. März 2017; abgerufen am 26. März 2017]

Umweltbundesamt (2016a): Die Nutzung natürlicher Ressourcen. Bericht für Deutschland 2016, Dessau

Umweltbundesamt (2016b): Urban Mining [www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/abfallwirtschaft/urban-mining; abgerufen am 26. März 2017]

Umweltbundesamt (Hrsg.) (2016c): Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“ [www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_11_2016_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_obsoleszenz.pdf; abgerufen am 19. März 2017]

Umweltbundesamt (2016d): Elektrogeräte werden immer kürzer genutzt. Pressemitteilung vom 15. Februar 2016 [www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/elektrogeraete-werden-immer-kuerzer-genutzt; abgerufen am 19. März 2017]

Umweltbundesamt (2016e): Antibiotika: Tierhaltung und Humanmedizin können das Grundwasser belasten – Pressemitteilung vom 14. Juni 2016 [www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/antibiotika-tierhaltung-humanmedizin-koennen-das; abgerufen am 25. März 2017]

Umweltbundesamt (2016f): Rebound-Effekte. Empirische Ergebnisse und Handlungsstrategien [www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/rebound-effekte_empirische_ergebnisse_und_handlungsstrategien_hintergrundpapier.pdf; abgerufen am 16. April 2017]

Umweltbundesamt (2017a): Emissionen von direkten und indirekten Treibhausgasen und von Schwefeldioxid [www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/384/bilder/dateien/3_tab_emi-direkt-indirekt-thg_2017-03-17.pdf; abgerufen am 23. November 2017]

Umweltbundesamt (2017b): Abfallaufkommen [www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/abfallaufkommen#textpart-7; abgerufen am 14. März 2017]

Umweltbundesamt (2017c): „Power to Gas / Power to Liquid“ als Zukunftstechnologien fördern [www.umweltbundesamt.de/themen/power-to-gas-power-to-liquid-als; abgerufen am 19. März 2017]

Umweltbundesamt (2017d): Emissionen des Verkehrs [www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#textpart-1; abgerufen am 1. August 2017]

Umweltbundesamt (2017e): Treibhausgas-Emissionen in Deutschland [www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland; abgerufen am 3. Januar 2018]

Umweltbundesamt/Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.) (2014): Wirtschaftsfaktor Umweltschutz. Produktion-Außenhandel-Forschung-Patente: Die Leistungen der Umweltschutzwirtschaft in Deutschland [www.umweltbundesamt.de/publikationen/wirtschaftsfaktor-umweltschutz-0; abgerufen am 18. März 2017]

UNESCO (2015): The United Nations World Water Development Report 2015. Water for a Sustainable World [<http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>; abgerufen am 31. Juli 2017]

UNESCO (2016): The United Nations World Water Development Report 2016. Water and Jobs [www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/water/wwap/wwdr/2016-water-and-jobs/; abgerufen am 31. Juli 2017]

United Nations (2017a): Pressemitteilung vom 1. Juni 2017: Secretary-General Calls United States Decision to Withdraw from Paris Agreement on Climate Change ‘Major Disappointment’ [www.un.org/press/en/2017/sgsm18548.doc.htm; abgerufen am 26. Juli 2017]

United Nations, Department of Economic and Social Affairs (2017): Sustainable Development Knowledge Platform [<https://sustainabledevelopment.un.org/sdg6>; abgerufen am 14. März 2017]

V

VAUDE (2017). [<http://nachhaltigkeitsbericht.vaude.com/gri/produkte/greenshape-konzept.php>; abgerufen am 29. April 2017]

Verband der Automobilindustrie (2017) [<http://vda.de>; abgerufen am 30. April 2017]

Vereinte Nationen Generalversammlung (2015), Siebzigste Tagung, Tagesordnungspunkte 15 und 116, Dokument Nr. A/70/L.1, deutsche Fassung

voxeljet AG (2015): 3D-Drucksysteme: Wirtschaftlichkeit inklusive [www.voxeljet.de/systems/; abgerufen am 30. April 2017]

W

Weltbank (2013): Global Waste on Pace to Triple by 2100 [www.worldbank.org/en/news/feature/2013/10/30/global-waste-on-pace-to-triple; abgerufen am 18. März 2017]

Weltbank (2016): High and Dry. Climate Change, Water, and the Economy [www.worldbank.org/en/topic/water/publication/high-and-dry-climate-change-water-and-the-economy; abgerufen am 31. Juli 2017]

Weltbank (2017) [<http://databank.worldbank.org/data/download/GDP.pdf>; abgerufen am 23. Januar 2018]

Welthungerhilfe (2017a): Wasser ist ein Menschenrecht [www.welthungerhilfe.de/wasser-ist-menschenrecht.html; abgerufen am 14. März 2017]

Welthungerhilfe (2017b): Abwasser macht krank [www.welthungerhilfe.de/abwasser-macht-krank.html; abgerufen am 14. März 2017]

Willenbrock, Harald (2016): Die Auffanglösung [www.brandeins.de/archiv/2016/gesundheit/guppy-friend-alexander-nolte-oliver-spies/; abgerufen am 17. August 2017]

Wolter, Stefan (2012): Smart Mobility – Intelligente Vernetzung der Verkehrsangebote in Großstädten, in: Proff, Heike/Schönharting, Jörg/Schramm, Dieter/ Ziegler, Jürgen (Hrsg.) (2012): Zukünftige Entwicklungen in der Mobilität, Wiesbaden, Seite 527-548

Workaround GmbH (2017): ProGlove – wearables for industry [www.proglove.de/; abgerufen am 30. April 2017]

World Wildlife Fund (2017): Living Planet Report 2016 [www.wwf.de/living-planet-report/; abgerufen am 15. März 2017]

Z

ZAE Bayern (2017): Smart Grid Solar | Netzmanagement [www.smart-grid-solar.de/arbeitspakete/netzmanagement.html; abgerufen am 30. April 2017]

Abkürzungsverzeichnis

BDL	Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft
BIM	Building Information Modelling
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMUB	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
BRICS	Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika
BZH	Brennstoffzellen-Heizsystem
CAGR	Compound Annual Growth Rate (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate)
CCS	Carbon dioxide capture and storage (CO ₂ -Abscheidung und -Speicherung)
CCU	Carbon Capture Utilisation (CO ₂ -Abscheidung und -Verwendung)
CEP	Clean Energy Partnership
CH₄	Methan
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CO₂e	Carbon dioxide equivalent (Kohlenstoffdioxid-Äquivalente)
COP21	United Nations Framework Convention on Climate Change, 21st Conference of the Parties (21. Konferenz der Vertragsstaaten der Klimarahmenkonvention)
CPS	Cyber Physical System (cyber-physisches System)
CSR	Corporate Social Responsibility (Unternehmerische Gesellschaftsverantwortung)
DERA	Deutsche Rohstoffagentur
DNA	Deoxyribonucleic acid (Desoxyribonukleinsäure)
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
EFB	Electronic Flight Bag
eFF	electronic Flight Folder
EMAS	Eco-Management and Audit Scheme (Europäisches Umweltmanagementsystem)
ERP	Enterprise Resource Planning
EU	Europäische Union
FuE	Forschung und Entwicklung
G20	Gruppe der Zwanzig
GHG	Greenhouse Gases (Treibhausgase)
GWÖ	Gemeinwohlökonomie
GWP	Global Warming Potential (Treibhauspotenzial)
H₂	Wasserstoff
HPA	Hamburg Port Authority
Hrsg.	Herausgeber
IASS	Institute for Advanced Sustainability Studies
IEA	International Energy Agency (Internationale Energie-Agentur)
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
INDC	Intended Nationally Determined Contributions (Beabsichtigte national festgelegte Beiträge)
IoT	Internet of Things (Internet der Dinge)
ISO	International Organization for Standardization (Internationale Organisation für Normung)
IT	Informationstechnologie
ITF	International Transport Forum (Weltverkehrsforum)
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Kfz	Kraftfahrzeug
KIT	Karlsruher Institut für Technologie
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
KPI	Key Performance Indicators (Leistungskennzahlen)

KrWG	Kreislaufwirtschaftsgesetz
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
kW	Kilowatt
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LED	Licht emittierende Dioden
Lkw	Lastkraftwagen
m2m	Machine to machine
MBit	Megabit
Mbit/s	Megabit je Sekunde
MDG	Millennium Development Goals
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
MSR	Mess-, Steuer- und Regeltechnik
NAPE	Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz
NASS	Neuartige Sanitärsysteme
NaWaRo	Nachwachsende Rohstoffe
NFC	Near Field Communication
NIP	Nationales Innovationsprogramm Wasserstoff
NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie
O.V.	Ohne Verfasser
O₂	Sauerstoff
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)
OHSAS	Occupational Health- and Safety Assessment Series
OLED	Organic light emitting diodes
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
Pkw	Personenkraftwagen
ProgRess	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm
P2G	Power-to-Gas (Elektrische Energie zu Gas)
PtG	Power-to-Gas (Elektrische Energie zu Gas)
PtL	Power-to-Liquid (Elektrische Energie zu Flüssigkeit)
PV	Photovoltaik
REN 21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
RÖE	Rohöleinheiten
SDG	Sustainable Development Goal (Nachhaltige Entwicklungsziele)
SOFC	Solid oxide fuel cell (Festoxidbrennstoffzelle)
t	Tonne(n)
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit (20 Fuß Standardcontainer)
TLP	Tension Leg Platform
UBA	Umweltbundesamt
UN	United Nations (Vereinte Nationen)
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Organisation der Vereinten Nationen für Erziehung, Wissenschaft und Kultur)
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
VCI	Verband der Chemischen Industrie
VDA	Verband der Automobilindustrie
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)
WWF	World Wildlife Fund
ZAE	Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung
ZSW	Zentrum für Sonnenenergie und Wasserstoff-Forschung

Bildnachweise

Titelseite: rcfotostock - Adobe Stock.com
Seite 4: BMU/Sascha Hilgers
Seite 6: © fotografixx - iStock.com
Seite 9: © wissanu01 - iStock.com
Seite 14: © Y. L. Photographies - Fotolia.com
Seite 17: Thomas Trutschel/photothek.net
Seite 23: ESB Professional/Shutterstock.com
Seite 24: © LVDESIGN - Fotolia.com
Seite 27: innogy SE
Seite 28: © trotsche - iStock.com
Seite 30: © nevarpp - iStock.com
Seite 32: © mitifoto - Fotolia.com
Seite 33: © Arthur Braunstein - Fotolia.com
Seite 35: © otoember - iStock.com
Seite 36: olaser - istock.com
Seite 38: © wellphoto - iStock.com
Seite 39: Peter Wattendorff, www.wattendorff.com
Seite 41: Mongkolchon Akesin/Shutterstock.com
Seite 43: Theerawat - Adobe Stock.com
Seite 44: Nordsee One GmbH
Seite 53: © JFL Photography - Fotolia.com
Seite 59: © Fabian - Fotolia.com
Seite 60: science photo/Shutterstock.com
Seite 61: © psdesign1 - Fotolia.com
Seite 72: © Thaut Images - Fotolia.com
Seite 73: © amarok17wolf - Fotolia.com
Seite 76: © scharfsinn86 - Fotolia.com
Seite 80: REMONDIS Lünen, Deutschland
Seite 81: © Maksym Yemelyanov - Fotolia.com
Seite 82: © apomares - istock.com
Seite 86: © Werner - Fotolia.com
Seite 96: innogy SE
Seite 107: © ollo - iStock.com
Seite 112: innogy SE
Seite 119: Monkey Business Images/Shutterstock.com
Seite 120: © gorodenkoff - iStock.com
Seite 125: © TimSiegert-batcam - Fotolia.com
Seite 133: © SFIO CRACHO - Fotolia.com
Seite 135: © kynny - iStock.com
Seite 154: Voith GmbH & Co. KGaA
Seite 163: © yoh4nn - iStock.com
Seite 164: © chinaface - iStock.com
Seite 171: Peshkova/Shutterstock.com

