



# Technologietlas Nachhaltigkeit

Familienunternehmen als Entwickler und Anwender  
von Umwelttechnologien



# Impressum

## Herausgeber:



Stiftung Familienunternehmen

Prinzregentenstraße 50

80538 München

Telefon: +49 (0) 89 / 12 76 400 02

Telefax: +49 (0) 89 / 12 76 400 09

E-Mail: [info@familienunternehmen.de](mailto:info@familienunternehmen.de)

[www.familienunternehmen.de](http://www.familienunternehmen.de)

## Erstellt von:

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Osterfelder Straße 3

46047 Oberhausen

Dr.-Ing. Markus Hiebel

Dr.-Ing. Ilka Gehrke

Lina Sommer

Annette Somborn-Schulz

Mareike Kolkmann

Prof. Dr.-Ing. Görge Deerberg

© Stiftung Familienunternehmen, München 2021

Titelbild: Chones | shutterstock

Abdruck und Auszug mit Quellenangabe

ISBN: 978-3-942467-96-4

**Zitat (Vollbeleg):**

Stiftung Familienunternehmen (Hrsg.): Technologieatlas Nachhaltigkeit – Familienunternehmen als Entwickler und Anwender von Umwelttechnologien, erstellt durch das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, München, 2021, [www.familienunternehmen.de](http://www.familienunternehmen.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.....</b>	<b>V</b>
I.    Übergreifende Ergebnisse.....	V
II.   Ergebnisse zu einzelnen Umwelttechnologien.....	V
<b>A. Motivation, Ziel und Vorgehensweise der Studie.....</b>	<b>1</b>
I.    Motivation.....	1
II.   Zielstellung.....	1
III.  Vorgehensweise.....	1
<b>B. Definitionen Umwelttechnik und Familienunternehmen.....</b>	<b>3</b>
I.    Recherchestrategie und Definitionen Umwelttechnik.....	3
II.   Definition Umwelttechnik für diese Studie.....	8
III.  Definition Familienunternehmen.....	10
IV.   Recherche nach Umwelttechnologien.....	11
V.    Methodik zur Auswahl der Umwelttechnologien.....	12
VI.   Ausgewählte Technologien.....	13
<b>C. Interviews mit Expert*innen aus Familienunternehmen.....</b>	<b>15</b>
I.    Vorgehen.....	15
II.   Interviewleitfaden.....	15
<b>D. Konzeption Technologiesteckbriefe.....</b>	<b>17</b>
<b>E. Technologiesteckbriefe.....</b>	<b>21</b>
I.    Photovoltaik.....	23
II.   Windkraft.....	33
III.  Recycling.....	39
IV.   Biotechnologie.....	47
V.    Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung.....	55
VI.   Wärmepumpen.....	61
VII.  Batterien.....	69
VIII. Wärmedämmung (thermische Isolierung).....	79

IX. Leichtbau .....	87
X. Smart Home.....	95
XI. Wasserstofftechnologie.....	101
XII. Luftreinhaltung .....	109
XIII. Biokunststoffe.....	117
XIV. E-Fuels .....	123
XV. Digitalisierung .....	131
<b>F. Diskussion und Fazit.....</b>	<b>139</b>
I. Technologiesteckbriefe .....	139
II. Expert*innengespräche.....	141
III. Nachhaltigkeit.....	143
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>145</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>147</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>149</b>

# Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

## I. Übergreifende Ergebnisse

- Familienunternehmen übernehmen in der Entwicklung und Anwendung der wichtigsten Umwelttechnologien eine wesentliche Rolle. Das gilt für die untersuchten Bereiche Photovoltaik, Windkraft, Recycling, Biotechnologie, Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung, Wärmepumpen, Batterien, Wärmedämmung (thermische Isolierung), Leichtbau, Smart Home, Wasserstofftechnologie, Luftreinhaltung, Biokunststoffe, E-Fuels sowie übergreifend für die Digitalisierung.
- In den untersuchten Umwelttechnologien sind mehr als 37.000 Familienunternehmen tätig.
- Die untersuchten Umwelttechnologien besitzen ein moderates bis großes Wachstumspotential.
- Familienunternehmen erachten den Kampf gegen den Klimawandel sowie Ressourcenverschwendung als zentrale Aufgabe und leisten wesentliche Beiträge, um die damit verbundenen Herausforderungen zu bewältigen.
- Familienunternehmen sind bereit, in Innovationen zu investieren und greifen dabei auch auf Mittel im Rahmen der Forschungsförderung zurück.
- Innovationen erfordern Technologieoffenheit. Sie wird vor allem in den Bereichen Mobilität, Energie und Biotechnologie gewünscht.
- Wesentliche Innovationstreiber im Bereich der Umwelttechnik sind oft staatliche Regulierungen wie ein Preis für CO<sub>2</sub> oder Mindestrecyclingquoten. Um eine verlässliche Steuerungswirkung zu entfalten, sollten diese länderübergreifend gültig sein.

## II. Ergebnisse zu einzelnen Umwelttechnologien

Wasserstofftechnologien, E-Fuels und Batterien sind unerlässlich zur Abkehr von fossilen Brennstoffen. Durch ihre Transport- und Speicherfähigkeit sowie ihre vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten sind sie darüber hinaus Schlüsseltechnologien zur Sektorenkopplung. Die Verbindung über Branchen und sogar über Sektoren hinaus setzt eine hohe Flexibilität der beteiligten Unternehmen voraus – eine Fähigkeit, die branchenübergreifend von allen Interviewpartner\*innen insbesondere Familienunternehmen zugesprochen wird.

Um den Ausbau der Photovoltaik zu fördern, müssten Marktbarrieren beseitigt werden. Regelungen für den Umstieg auf den Eigenverbrauch – etwa durch eine erneuerte Mieterstromregelung – sollten vereinfacht werden. Die anteilige EEG-Umlage auf selbst verbrauchten Solarstrom sollte hinterfragt werden.

---

*Wasserstofftechnologien, E-Fuels und Batterien als Schlüsseltechnologien für Sektorenkopplung*

---

*Regelungen vereinfachen*

---

---

*Faire Preise im europäischen Kontext*

---

Ein wissenschaftlich fundierter CO<sub>2</sub>-Preis schafft Transparenz für zukünftige Preisentwicklungen und erleichtert langfristige Infrastrukturinvestitionen zum Beispiel in der Photovoltaik. Der Preis sollte im europäischen Gemeinschaftsrahmen festgelegt werden.

---

*Versorgungssicherheit gewährleisten*

---

Um die Versorgungssicherheit zukünftig zu gewährleisten, müssen Speicherkapazitäten zur saisonalen und kurzfristigen Stromspeicherung deutlich ausgebaut werden. Dies ist für fluktuierende Energiequellen wie die Windkraft und die Solarenergie wichtig.

---

*Genehmigungsverfahren beschleunigen*

---

Im Windkraftbereich können Genehmigungsverfahren und die Umsetzung der Genehmigung zum Teil mehr als fünf Jahre dauern. So sind die geplanten Anlagen bis zur Genehmigung quasi schon wieder veraltet. Die Prozesse müssen dringend beschleunigt werden.

---

*Forschungsförderung als Treiber für Innovationen*

---

Der deutsche Produktionsstandort verfügt über eine solide Ausgangslage im wirtschaftlichen und technologischen Sinne, es bedarf jedoch weiterer Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen. Förderinstrumente sollten in einigen Sektoren in früheren Stadien der Technologieentwicklung zur Anwendung kommen. Partnerschaften mit Forschungsinstitutionen sind ein Lösungsweg, um Innovationen zur Marktreife zu bringen.

---

*Mitunter schwieriges regulatorisches Umfeld*

---

Als hemmend wird in der Biotechnologie-Branche zum Teil die aktuelle Gesetzgebung im Bereich Gentechnik angesehen. Vor allem kleine und mittlere Familienunternehmen sehen sich dadurch im Wettbewerb mit den Global Playern benachteiligt. Entwicklungen und Innovationen kommen in anderen Ländern (USA, China, Südamerika) früher auf den Markt als in Deutschland. Als aktuelles Beispiel wird in einem Experteninterview das Genome Editing genannt, das in vielen Ländern bereits angewandt wird, während in Deutschland noch die regulatorischen Aspekte diskutiert werden.

---

*Preis von Wärmepumpen-Strom reduzieren*

---

Der Wärmepumpen-Strompreis ist derzeit im Durchschnitt deutlich teurer als Strom für Heizungen mit fossilen Heizenergieträgern (Heizöl, Erdgas) oder Pellets. Das liegt vor allem an staatlich regulierten Preisbestandteilen wie EEG-Umlage, Netzentgelten und Steuern, mit denen andere Heizenergieträger nicht belastet werden. Hier besteht aus Sicht der Unternehmen Handlungsbedarf.

Digitalisierung spielt in den eigenen Geschäftsprozessen, aber vor allem auch im Kerngeschäft oft eine große Rolle. Eine Anwendung ist der Bereich Smart Home (Steuerung von Licht, Temperaturführung, elektrischen Geräten im Remote-Betrieb). Auch im Baubereich lassen sich Prozesse effizienter gestalten. Beispiele sind House-Printing, Beton-Printing oder die Anbringung des Putzes durch Roboter. Ein Ausbau der Infrastruktur mit entsprechenden Bandbreiten, die Standardisierung und der Datenschutz sind wichtige Handlungsfelder.

Die Recyclingfähigkeit von Produkten wie Computern, Windkraftanlagen, Solarpanels, Dämmstoffen oder auch schnell umlaufenden Kunststoffverpackungen muss weiter verbessert werden. Ein Beispiel ist Gips, der bisher aus den Rauchgasreinigungsanlagen von Kraftwerken gewonnen wird. Durch die Energiewende werden sich diese Mengen reduzieren, sodass Potenziale beim Recycling von Trocken- und Leichtbauwerken erschlossen werden müssen.

---

*Recyclingfähigkeit  
verbessern*

---



# A. Motivation, Ziel und Vorgehensweise der Studie

## I. Motivation

Die größte Herausforderung der Menschheit besteht neben der intragenerationellen Gerechtigkeit darin, den nachfolgenden Generationen eine Umwelt zu hinterlassen, die genauso lebenswert ist wie die derzeitige. Um diese Herausforderung zu meistern, haben die Vereinten Nationen globale Nachhaltigkeitsziele (SDGs: Sustainable Development Goals) definiert, von denen die Mitgliedsländer Maßnahmen ableiten. Die Staaten der Europäischen Union legen im „European Green Deal“<sup>1</sup> einen konkreten Aktionsplan fest, damit Europa bis 2050 der erste klimaneutrale Kontinent wird. Zur Umsetzung dieser Maßnahmen bedarf es technischer Werkzeuge – eines der wichtigsten sind die vielfältigen Technologien<sup>2</sup>, die sich unter den Oberbegriff der Umwelttechnik subsumieren lassen. Beispielsweise sind ohne Umwelttechniken zur Erzeugung und Speicherung regenerativer Energien die nationalen und internationalen Klimaziele nicht zu erreichen (SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“), ohne Technologien zur Luft- und Abwasserreinigung werden Krankheiten nicht zurückgehen (SDG 3: „Gesundheit und Wohlergehen“), ohne Biotechnologie, Biokunststoffe und Recycling wird keine Kreislaufwirtschaft möglich sein (SDG 12: „Nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen“).

Die allgemeine Bedeutung der Umwelttechnologie für eine zukunftsfähige Gesellschaft ist unumstritten. Doch welche Technologien und Branchen zählen konkret dazu und wie lassen sie sich priorisieren und bewerten, um ein aussagekräftiges Bild der Umwelttechnologie am Technologiestandort Deutschland zu zeichnen? Wie nutzen gerade die Familienunternehmen ihre Chancen in solch essentiellen Technologien, die im ständigen Diskurs mit Politik und Gesellschaft stehen?

## II. Zielstellung

Ziel des vorliegenden Technologieatlas ist es, den gegenwärtigen Stand der Umwelttechnik in Deutschland zu beschreiben, den Beitrag von Familienunternehmen zu identifizieren und Perspektiven für zukünftige, nachhaltige Entwicklungen – sowohl grundsätzlich als auch speziell innerhalb eines digitalen Umfelds – aufzuzeigen.

## III. Vorgehensweise

Die Autor\*innen der vorliegenden Studie beleuchten innerhalb von Technologiesteckbriefen insbesondere technisch und marktwirtschaftlich relevante Umwelttechnologien und entwickeln

---

1 Europäische Kommission 2019a.

2 Die Autor\*innen verwenden die Begriffe „Technologie“ und „Technik“ synonym.

hierfür ein eigenes Verständnis des Begriffs Umwelttechnik. Mittels einer ausgewogenen Recherche, die sowohl zielgerichtet auf Unternehmensdatenbanken als auch ergebnisoffen auf ergänzende (Online-)Quellen zurückgreift, wurden fünfzehn Umwelttechnologien priorisiert und die Anzahl der dem jeweiligen Bereich zugehörigen Familienunternehmen abgeschätzt. Als Technologien wurden betrachtet: Photovoltaik, Windkraft, Recycling, Biotechnologie, Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung, Wärmepumpen, Batterien, Wärmedämmung (thermische Isolierung), Leichtbau, Smart Home, Wasserstofftechnologie, Luftreinhaltung, Biokunststoffe, E-Fuels und übergreifend die Digitalisierung.

Zu diesen Technologien wurden Steckbriefe erstellt, die unter anderem Märkte und Arbeitsplätze, spezifische Herausforderungen und Hemmnisse, Innovationen und Zukunftsperspektiven zeigen. Die Studie und die Steckbriefe beruhen auf einer intensiven Literaturrecherche, fünfzehn Interviews mit Expert\*innen aus Familienunternehmen und dem Input aus einem Beiratstreffen im Oktober 2020 mit weiteren zwölf Vertreter\*innen aus Familienunternehmen und zwei Vertretern aus Politik beziehungsweise Gesellschaft.

## B. Definitionen Umwelttechnik und Familienunternehmen

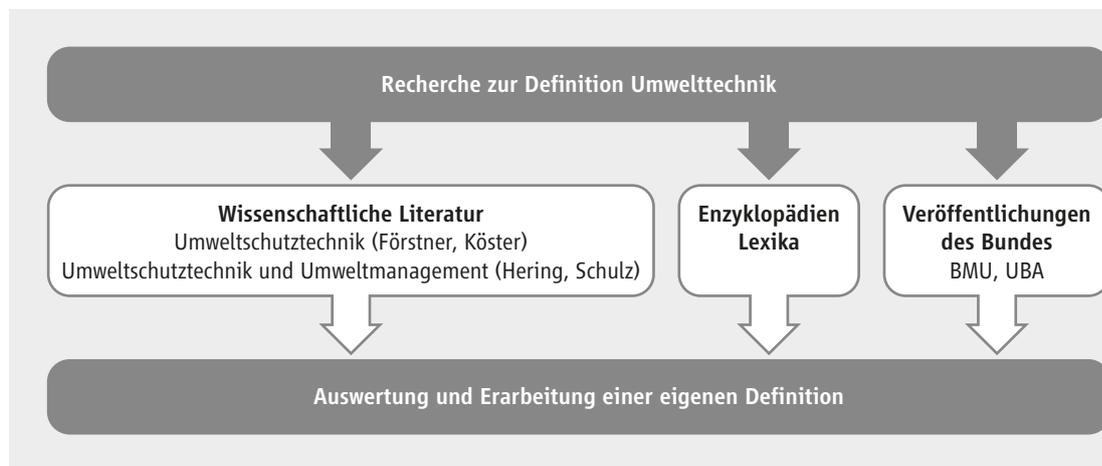
Um in der Studie ein einheitliches Begriffsverständnis zu gewährleisten, wurden die Definitionen von Umwelttechnik und Umwelttechnologie in der Literatur sowie in Online-Quellen recherchiert. Die Autor\*innen verwenden für diese Studie den Begriff der Umwelttechnik synonym zum Begriff der Umwelttechnologie. Im folgenden Kapitel werden zunächst einzelne unterschiedliche Definitionen vorgestellt, um im Anschluss daran eine dieser Studie zugrundeliegende Definition für Umwelttechnik abzuleiten.

### I. Recherchestrategie und Definitionen Umwelttechnik

#### 1. Recherchestrategie

Im Rahmen der Studie wurden Definitionen des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), des Umweltbundesamts (UBA), aus wissenschaftlicher Literatur und aus öffentlich zugänglichen Online-Quellen recherchiert (Abbildung 1).

Abbildung 1: Von der Recherche zur Definition



#### 2. Ulrich Förstner und Stephan Köster (2018): Umweltschutztechnik

„Ziel und Aufgabe der Umweltschutztechnik ist die Entwicklung und Umsetzung von Ingenieurkonzepten zum Schutz der (natürlichen) Ressourcen. Die Anwendungsgebiete reichen von der Energie- und Rohstoffversorgung, der Reinhaltung von Wasser, Luft und Boden, Projekten zum Schutz der Meere und des Weltklimas bis zur Wiederherstellung geschädigter Ökosysteme.

Der ökologische Technikansatz ist dem Vorsorgeprinzip verpflichtet, der frühzeitigen Erfassung möglicher negativer Effekte. Er folgt dem Leitbild der Nachhaltigkeit, das den Einklang von wirtschaftlicher Entwicklung, sozialer Sicherheit und der langfristigen Erhaltung der

natürlichen Lebensgrundlagen anstrebt. Die Steigerung der Ressourcenproduktivität ist eine Kernstrategie der nachhaltigen Entwicklung im Technologiebereich.“<sup>3</sup>

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Bereiche des technischen Umweltschutzes nach Förster und Köster (2018).

Tabelle 1: Die vier Bereiche des technischen Umweltschutzes und relevante Techniken<sup>4</sup>

Nachsorgender Umweltschutz	Kompensatorischer Umweltschutz	Vorsorgender Umweltschutz	Umweltbeobachtung
<b>Relevante Technologien</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abwasserbehandlung</li> <li>■ Abfallbehandlung</li> <li>■ Sanierung (Bodendekontamination, Gewässersanierung)</li> <li>■ Sekundär-Recycling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erhöhung der Belastbarkeit von Umweltmedien und Ökosystemen               <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Kalken von Wäldern, sonst. forstwirtschaftliche Maßnahmen</li> <li>▶ Gewässerbelüftung</li> <li>▶ Biotechnologische Maßnahmen zur Anpassung an veränderte Umweltbedingungen (zum Beispiel Klimaänderungen)</li> </ul> </li> <li>■ Erosionsschutz</li> <li>■ Küstenschutz</li> <li>■ Lärmschutzwände</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Additive Umwelttechnik               <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Filtertechniken</li> <li>▶ Entschwefelung</li> <li>▶ Entstickung</li> <li>▶ Katalysatoren</li> </ul> </li> <li>■ Integrierte Umwelttechnik               <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Material- und energieeffizienterer Produktionsprozess</li> <li>▶ Ersatz umweltschädlicher Einsatzstoffe</li> <li>▶ Substitution umweltschädlicher Produktionsprozesse und Produkte</li> <li>▶ Umweltverträglichere Produkte</li> </ul> </li> <li>■ Primäres Recycling</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Überwachung der Luft-, Wasser- und Bodenqualität</li> <li>■ Lebensmittelüberwachung auf Schadstoffkonzentrationen</li> <li>■ Extraterrestrische Umweltbeobachtung</li> <li>■ Lärmmessung</li> </ul>
<b>Dienstleistungen</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Altlastenerkundung</li> <li>■ Kommunale Abfallentsorgung</li> <li>■ Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) für Entsorgungsanlagen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Managementkonzept für die nachhaltige Bewirtschaftung von Ökosystemen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ UVP für Industrieanlagen</li> <li>■ Öko-Audit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Durchführung von Messkampagnen</li> </ul>

**Einschätzung:** Es liegt eine passende Definition vor, die Kriterien zur Auswahl der Technologien sind jedoch unklar. Die genannten Techniken sind entweder sehr speziell (zum Beispiel

3 Förstner und Köster 2018, S. 1.

4 Förstner und Köster 2018, S. 2.

Lärmschutzwände) oder sehr allgemein gehalten (zum Beispiel material- und energieeffiziente Produktionsprozesse).

### 3. **Ekbert Hering und Wolfgang Schulz (2018): Umweltschutztechnik und Umweltmanagement**

„Technisch gesehen ging die Entwicklung von den nachbessernden zu den integrierten Umweltschutztechnologien. Dies bedeutet, dass die Technologien möglichst Umweltschäden verhindern, anstatt diese zu behandeln. So sollte in den Produktionsprozessen darauf geachtet werden, dass möglichst wenig umweltschädliche Substanzen sich im Produktionsprozess befinden und die Energie und die Rohstoffe effizient eingesetzt werden. Der produktintegrierte Umweltschutz legt Wert auf abfall- und schadstoffarme Produkte und stellt sicher, dass eine möglichst vollständige Wiederverwertung (Recycling) zur Schonung der Rohstoffressourcen erreicht wird. Nach dem Produktionsprozess stellen sogenannte end-of-pipe-Technologien sicher, dass eventuell auftretende Schadstoffe so behandelt werden, dass sie keine schädlichen Auswirkungen haben. Beispiele dafür sind eine umweltgerechte Abfallentsorgung, Müllverbrennung, eine entsprechende Abluft- und Abwasserbehandlung sowie die Vermeidung der Belastung des Bodens durch Schadstoffe.“<sup>5</sup>

**Einschätzung:** Eine eindeutige Definition ist nicht erkennbar. Stattdessen wird die historische Entwicklung vom nachsorgenden zum vorsorgenden Umweltschutz aufgezeigt.

### 4. **Wikipedia: Umwelttechnik**

„Unter den Begriffen Umwelttechnik, Technischer Umweltschutz oder Umweltschutztechnik versteht man die technischen und technologischen Verfahren zum Schutz der Umwelt sowie zur Wiederherstellung bereits geschädigter Ökosysteme. [...]“

Gegenstand der Umwelttechnik sind:

- insbesondere die Entsorgung (zum Beispiel Abfallbeseitigung, Müllverbrennung, Recycling, das Anlegen von Deponien, Abwasserreinigung)
- technische Maßnahmen zum Gewässer-, Boden-, Lärm- und Strahlenschutz
- Verfahren zur Verminderung der Luftverschmutzung (zum Beispiel Rauchgasentschwefelung, Abgasreinigung, Entstaubungsverfahren)
- Techniken für die effektive Nutzung erneuerbarer Energien (zum Beispiel Sonnenenergie, Erdwärme, Biokraftstoffe)

---

5 Hering und Schulz 2018, S. 3f.

- die messtechnische Erfassung und Überwachung von Schadstoffen und Umweltschäden.

Daneben gibt es auch umwelttechnische Konzepte und Maßnahmen zur umweltschonenden Produktion, zum Energiesparen und zur Vermeidung bzw. Verringerung von Emissionen und Abfällen.“<sup>6</sup>

**Einschätzung:** Die Wikipedia-Definition enthält konkrete Umwelttechniken, die bis auf erneuerbare Energien auch bei Ulrich Förstner und Stephan Köster (2018) genannt werden. Kompensatorische Maßnahmen werden hingegen in der Wikipedia-Definition vernachlässigt.

## 5. Wirtschaftslexikon: Umwelttechnologie

„Wissenspotential und technische Verfahren zur Verringerung von Umweltbelastungen“ versteht das Wirtschaftslexikon unter Umwelttechnologie. „Auf der Basis mittelbar entlastender Informationstechnologien setzen direkte Problemlösungen präventiv (präventiver Umweltschutz), additiv (additiver Umweltschutz) oder integriert unmittelbar an Emissionsquellen im weiteren Sinne an. Zunehmend werden auch produktbedingte Belastungen in die Betrachtung einbezogen. Produkte der Umwelttechnologie bilden die Grundlage der Umweltschutzmärkte. Empirische Untersuchungen zeigen, dass die herausragende Stellung der deutschen Umwelttechnologie-Industrie auf dem Weltmarkt (auch) durch die strenge deutsche Umweltpolitik begründet ist. Ob sich eine Vorreiterrolle in der Umwelttechnologie unter Wohlfahrtsgesichtspunkten lohnt, ist theoretisch und empirisch umstritten.“<sup>7</sup>

**Einschätzung:** Es liegt eine generische Definition ohne Nennung von Umwelttechniken vor.

## 6. BMU: GreenTech made in Germany 2018 – Umwelttechnik-Atlas für Deutschland

Innerhalb des aktuellen Umwelttechnik-Atlas sind sechs GreenTech-Leitmärkte und ihre Marktvolumina für das Jahr 2016 in Deutschland aufgeführt:

- 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

---

6 Wikipedia 2020.

7 Feess 2018.

- Kreislaufwirtschaft: 20 Milliarden Euro

Den Leitmärkten sind jeweils verschiedene Marktsegmente zugeordnet (Tabelle 2). Den Marktsegmenten werden wiederum konkrete Technologielinien (Umwelttechniken) zugeordnet.<sup>8</sup>

*Tabelle 2: Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz sowie deren Marktsegmente<sup>9</sup>*

<p><b>Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erneuerbare Energien</li> <li>■ Umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe</li> <li>■ Speichertechnologien</li> <li>■ Effiziente Netze</li> </ul>	<p><b>Energieeffizienz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Energieeffiziente Produktionsverfahren</li> <li>■ Energieeffizienz von Gebäuden</li> <li>■ Energieeffizienz von Geräten</li> <li>■ Branchenübergreifende Komponenten</li> </ul>
<p><b>Rohstoff- und Materialeffizienz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Materialeffiziente Produktionsverfahren</li> <li>■ Branchenübergreifende Querschnittstechnologien</li> <li>■ Nachwachsende Rohstoffe</li> <li>■ Schutz von Umweltgütern</li> <li>■ Klimaangepasste Infrastruktur</li> </ul>	<p><b>Nachhaltige Mobilität</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alternative Antriebstechnologien</li> <li>■ Erneuerbare Kraftstoffe</li> <li>■ Technologien zur Effizienzsteigerung</li> <li>■ Verkehrsinfrastruktur und Verkehrssteuerung</li> </ul>
<p><b>Kreislaufwirtschaft</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Abfallsammlung, -transport und -trennung</li> <li>■ Stoffliche Verwertung</li> <li>■ Energetische Verwertung</li> <li>■ Abfalldeponierung</li> </ul>	<p><b>Nachhaltige Wasserwirtschaft</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Wassergewinnung und -aufbereitung</li> <li>■ Wassernetz</li> <li>■ Abwasserreinigung</li> <li>■ Abwasserverfahren</li> <li>■ Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung</li> </ul>

**Einschätzung:** Es liegt keine allgemeine Definition von Umwelttechnik vor, aber eine gut begründete Einteilung in sechs Umwelttechnik-Leitmärkte und deren wesentliche Technologielinien.

8 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2018b, S. 7.

9 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2018b, S. 27.

## 7. Umweltbundesamt (UBA): Portal zum Umwelttechnologietransfer „Cleaner Production Germany (CPG)“

Das Umweltbundesamt betreibt ein Portal zum Umwelttechnologietransfer namens „Cleaner Production Germany“. Dort sind über 3.000 Publikationen zu Forschungsergebnissen und Best-Practice-Beispiele zum Thema „Umwelttechnologien – Made in Germany“ gelistet. Auf den Themenseiten werden relevante Publikationen zu folgenden Themen verlinkt:

- **Umweltfreundliche Energie:** Anlagen-Energiemanagement, Bioenergie, Brennstoffzelle, Druckluft, Energiekonzepte, Energiespeicherung, Energietransport, Geothermie, Heizungstechnik, Kältetechnik, Kraftwerkstechnik, Kraft-Wärme-Kopplung, Prozesswärme, Solarstrom, Solarthermie, Wärmepumpe, Wasserkraft, Windenergie
- **Energie- und Materialeffizienz:** Bauen und Gebäude, Biotechnologie, Chemie, Drucktechnik, Elektro und Elektronik, Holz und Möbel, Kunststoffe, Landwirtschaft, Lebensmittel, Metall, Oberflächentechnik, Papier und Zellstoff, Steine und Erden, Textil und Bekleidung
- **Nachhaltige Mobilität:** Öffentlicher Personennahverkehr (ÖPNV), Elektromobilität, Leichtbau
- **Kreislaufwirtschaft:** Abfallvermeidung und Recycling, Bioabfallbehandlung, Deponierung, Klärschlammbehandlung, Konzepte der Abfallwirtschaft, mechanisch-biologische Behandlung, Sonderabfallbehandlung, thermische Behandlung
- **Wasserwirtschaft:** Abwassertechnik, Trinkwasser, Wasserwirtschaftskonzepte
- **Luftreinhaltung:** Filtertechnik, Abgas-/Abluftreinigung, Substitution von schädlichen Lösemitteln durch natürliche Einsatzstoffe
- **Sanierungstechnik:** Bodensanierung, Gebäudesanierung, Grundwassersanierung, Rüstungsaltslasten
- **Klimaschutz:** Klimaanpassung, nachhaltige Raumplanung, stoffliche Verwertung von Kohlendioxid<sup>10</sup>

**Einschätzung:** Innerhalb des Portals existiert keine Definition für Umwelttechnik, jedoch werden die für Deutschland relevanten Umwelttechniken detailliert vorgestellt und können als Einschätzung für die Themeneingrenzung der Steckbriefe genutzt werden.

## II. Definition Umwelttechnik für diese Studie

Teils sind die recherchierten Definitionen sehr allgemein formuliert und gehen nicht auf spezifische Umwelttechniken ein. Im Umwelttechnik-Atlas des Bundesministeriums für Umwelt,

---

<sup>10</sup> Umweltbundesamt (UBA) 2020i.

Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018) und vom Umweltbundesamt (UBA) werden hingegen viele konkrete Umwelttechnologien genannt.

Aus den verschiedenen Begriffsbestimmungen wird eine studienspezifische Definition erarbeitet, die sich an den wichtigsten Umweltthemen orientiert.

„Unter [...] **Umwelttechnik** [...] versteht man die technischen und technologischen Verfahren zum Schutz der Umwelt sowie zur Wiederherstellung bereits geschädigter Ökosysteme. [...]“<sup>11</sup>

Unter Umwelttechnik werden für diese Studie verstanden:

- Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie (zum Beispiel Sonnenenergie – Photovoltaik, Solarthermie –, Windkraft, Erdwärme (Geothermie), Wärmepumpen, Biogas)
- Energieeffizienz (zum Beispiel Kraft-Wärme-Kopplung, Wärmedämmung)
- Rohstoff- und Materialeffizienz und Substitution (zum Beispiel Leichtbau, Biokunststoffe)
- Nachhaltige Mobilität (zum Beispiel Biokraftstoffe, Wasserstoff, synthetische Kraftstoffe, E-Fuels)
- Kreislaufwirtschaft (zum Beispiel Abfallvermeidung, Sortierung, Recycling, Müllverbrennung, Deponietechnik)
- Nachhaltige Wasserwirtschaft (zum Beispiel Wasseraufbereitung, Abwasserbehandlung)
- Klimaanpassung (zum Beispiel Hochwasserschutz, neue Pflanzen-Anbausysteme)
- Verfahren zur Verminderung der Luftverschmutzung (zum Beispiel Rauchgasentschwefelung, Abgasreinigung, Entstaubungsverfahren)
- Biotechnologie (zum Beispiel Bioinformatik, Tissue Engineering, Antikörpertechnologien, Stammzellentherapie)

---

11 Wikipedia 2020.

Als umwelttechnikübergreifende Technologien werden verstanden:

- Digitalisierung (zum Beispiel die messtechnische Erfassung und Überwachung von Schadstoffen und Umweltschäden, Smart Meter, Track and Trace, Prozessoptimierungen/Simulationen, Internet of Things (IoT), Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), Plattformtechnologien (zum Beispiel Block-Chain), Predictive Maintenance, digitaler Zwilling, Künstliche Intelligenz, Green IT und Smart Home)
- Sektorenkopplung: Viele Industrien haben mittlerweile ein Optimum beim Ressourceneinsatz und bei den Emissionen erreicht. Eine Möglichkeit, um weitere Verbesserungen zu erreichen, ist die Kooperation über Branchengrenzen hinweg. Ein Beispiel ist die Zusammenarbeit von Stahl- und Chemieindustrie im Projekt Carbon2Chem®.<sup>12</sup>

### III. Definition Familienunternehmen

In der vorliegenden Studie werden Familienunternehmen wie folgt definiert.<sup>13</sup>

„Familienunternehmen sind nicht an eine bestimmte Größe hinsichtlich der Beschäftigten oder des Umsatzes gebunden, sie sind in fast allen Wirtschaftszweigen anzutreffen und müssen auch keine bestimmte Rechtsform besitzen. Was also ist ein Familienunternehmen? In der wissenschaftlichen Forschung und in der breiten Öffentlichkeit gibt es hierzu keine verbindliche Antwort in Form einer einheitlichen Definition [...]

[...] Ein Unternehmen beliebiger Größe ist ein Familienunternehmen, wenn:

1. sich die Mehrheit der Entscheidungsrechte im Besitz der natürlichen Person(en), die das Unternehmen gegründet hat/haben, der natürlichen Person(en), die das Gesellschaftskapital des Unternehmens erworben hat/haben oder im Besitz ihrer Ehepartner, Eltern, ihres Kindes oder der direkten Erben ihres Kindes befindet, und
2. die Mehrheit der Entscheidungsrechte direkt oder indirekt besteht, und/oder
3. mindestens ein Vertreter der Familie oder der Angehörigen offiziell an der Leitung bzw. Kontrolle des Unternehmens beteiligt ist.

---

<sup>12</sup> Deerberg et al. (o.J.).

<sup>13</sup> Stiftung Familienunternehmen (o.J.).

Börsennotierte Unternehmen entsprechen der Definition eines Familienunternehmens, wenn die Person, die das Unternehmen gegründet oder das Gesellschaftskapital erworben hat oder deren Familien oder Nachfahren aufgrund ihres Anteils am Gesellschaftskapital 25 Prozent der Entscheidungsrechte halten.

Diese Definition umfasst auch Familienunternehmen, die die erste Generationsübertragung noch nicht vollzogen haben. Sie umfasst weiterhin Einzelunternehmer und Selbstständige (sofern eine rechtliche Einheit besteht, die übertragen werden kann).“

Laut einer von der Stiftung Familienunternehmen beauftragten Studie zur „Volkswirtschaftlichen Bedeutung der Familienunternehmen“ sind über 90 Prozent aller Unternehmen im privaten Wirtschaftssektor innerhalb Deutschlands familienkontrolliert. 86 Prozent der privatwirtschaftlichen Unternehmen sind eigentümergeführte Familienunternehmen.<sup>14</sup>

#### **IV. Recherche nach Umwelttechnologien**

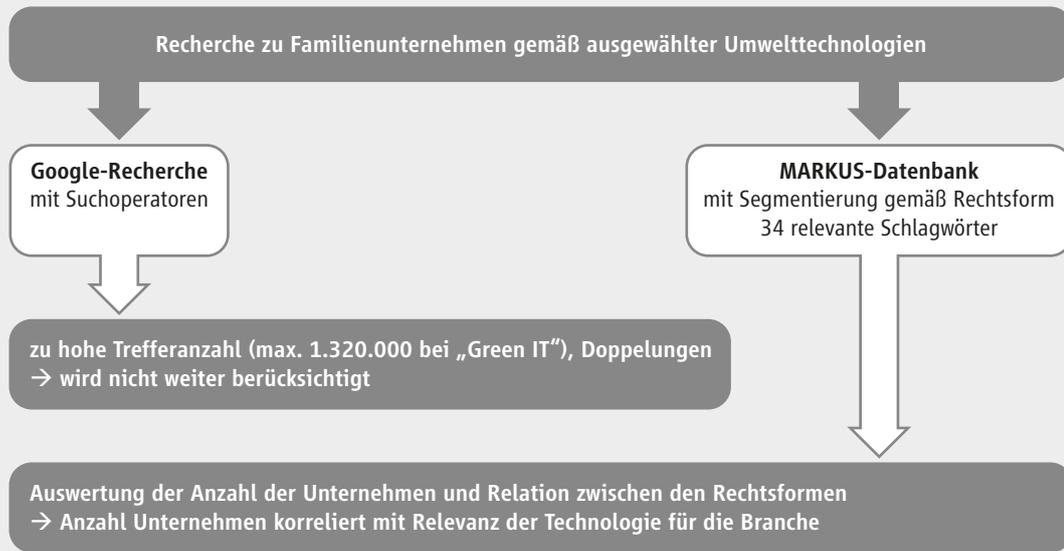
Die Voraussetzung für diese Studie ist eine nachvollziehbare und begründete Technikauswahl, die nachfolgend erläutert wird. Insgesamt wurden fünfzehn Technologien ausgewählt und in Steckbriefen beschrieben. Zwei Recherchestrategien wurden verfolgt (vgl. Abbildung 2): Eine Stichwortsuche mit einer uneingeschränkten allgemeinen Suchmaschine (Google) (vgl. Kapitel V.1) und eine Stichwortsuche sowie Segmentierung nach Rechtsform, teils auch Besitzverhältnissen, Anzahl und Umsatz von Familienunternehmen in einer Unternehmensdatenbank (vgl. Kapitel V.2). Die Autor\*innen haben sich für die MARKUS-Unternehmensdatenbank von Creditreform entschieden, die Firmen- und Beteiligungsdaten von drei Millionen im Handelsregister geführten, wirtschaftsaktiven Firmen aus Deutschland, Österreich und Luxemburg nachweist. Es können einzelne Unternehmen analysiert, nach Unternehmen mit bestimmten Charakteristika gesucht und unterschiedlichste Auswertungen vorgenommen werden.

Die der Recherche zugrundeliegende Hypothese war, dass die Häufigkeit der Nennungen der jeweiligen Umwelttechnik im Internet beziehungsweise die Anzahl der Unternehmen, die ihr in einer Unternehmensdatenbank zugeordnet wird, ihre Bedeutung relativ zu anderen Umwelttechnologien widerspiegelt. Dieses Vorgehen erlaubt ein Ranking der Umwelttechniken, die in der Definition (vgl. Abschnitt II) bezeichnet sind. Um sicherzustellen, dass Familienunternehmen und nicht börsennotierte Großkonzerne, die höchstwahrscheinlich nicht dazugehören, den Großteil der Unternehmen in der jeweils betrachteten Umwelttechnik ausmachen, erfolgte eine Analyse der Rechtsformen.

---

14 ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung und Institut für Mittelstandsforschung (IfM) 2019, S. 52f.

Abbildung 2: *Recherchestrategie über Google-Stichwortsuche und gezielt in der MARKUS-Unternehmensdatenbank*



## V. Methodik zur Auswahl der Umwelttechnologien

### 1. Internetrecherche

Zur Eingrenzung der Technikauswahl wurden die identifizierten Technologieleitlinien gemäß der zugrundeliegenden Definition der vorliegenden Studie (siehe Kapitel II) zunächst mittels einer Internetrecherche über die Suchmaschine Google gescreent. Die Absicht dahinter war, die Marktpräsenz der Familienunternehmen mit den dazugehörigen Umwelttechnologien anhand der Trefferanzahl abzuschätzen. Dazu wurden das Stichwort „Familienunternehmen“, deren relevante Rechtsformen sowie die jeweiligen Umwelttechnologien unter der Suchfunktion „wortwörtlich“ gesondert in die Suchmaske eingegeben. Weiterhin wurden verschiedene Filterkategorien hinzugezogen, um jedwede Form von sekundären Informationsverweisen (zum Beispiel Publikationen) weitestgehend von den Ergebnisseiten auszuschließen. Dieses Vorgehen zeigte sich jedoch aus verschiedenen Gründen als für das weitere Vorgehen der Analyse unbrauchbar. Die größte Herausforderung ergab sich aus der Anzahl der Trefferquote mit bis zu 1.320.000 Ergebnisseiten pro eingegebener Umwelttechnologie (*Stichwort: Green IT*). Ursache hierfür waren – trotz der angewandten Suchoperatoren – auftretende Ergebnisseiten mit Querverweisen aus Online-Artikeln oder Stellenanzeigen sowie häufige Doppelungen von Einträgen. Zudem erwies sich auch die unterschiedliche Gewichtung von englisch gegenüber deutschsprachigen Begriffen (zum Beispiel „Circular Economy“ und „Kreislaufwirtschaft“) als nachteilig für die beabsichtigte Eingrenzung der Umwelttechnologien. Aufgrund der daraus resultierenden Verzerrungen sowie den Herausforderungen hinsichtlich Vielfalt und Granularität wurde die Internetrecherche über die Suchmaschine Google verworfen und stattdessen eine Unternehmensrecherche über die MARKUS-Unternehmensdatenbank angewandt.

## 2. Unternehmensdatenbankrecherche

Auf Basis der in dieser Studie verwendeten Definition wurden 35 relevante Stichwörter beziehungsweise Branchen ausgewählt, die Anzahl der Unternehmen in der MARKUS-Unternehmensdatenbank erfasst und miteinander verglichen (vgl. Abbildung 3). Methodisch wurden Platzhalter (Trunkierung) eingesetzt, um alle Unternehmen mit Bezug zu der jeweiligen Umwelttechnologie zu finden, auch wenn sie stärker spezialisiert sind. Unter der Annahme, dass die Branche beziehungsweise die entsprechende Umwelttechnologie umso relevanter ist, je mehr Unternehmen dort tätig sind, erlaubt diese Auswertung eine erste Priorisierung der Branchen für die Steckbriefe.

Mit den Aktiengesellschaften, Gesellschaften mit beschränkter Haftung, voll- und teilhaftenden Personengesellschaften und den Einzelunternehmen wurden nur Firmen ausgewählt, die – abgesehen von den Aktiengesellschaften – mit hoher Wahrscheinlichkeit Familienunternehmen sind, da circa 90 Prozent aller privatwirtschaftlichen Unternehmen hierzu zählen.<sup>15</sup> Zur Ermittlung des Anteils börsennotierter Familienunternehmen ergeben sich laut Berechnung des Center for Entrepreneurial and Financial Studies (CEFS) und der Technischen Universität München (TUM) (2019) zwei unterschiedliche Werte, je nach Abhängigkeit der zugrundeliegenden Definition von Familienunternehmen.<sup>16</sup> Auf Basis der Founding-Family-Definition, nach der sich auch die in dieser Studie verwendete Definition richtet, waren zwischen 2009 und 2018 rund 40 Prozent der börsennotierten Unternehmen Familienunternehmen. Nach einer geschärften sogenannten  $SFI_{mod}$ -Definition, die aufgrund von Streubesitzanforderungen und daraus resultierenden Verringerungen des Anteilsbesitzes der Familienunternehmen die Stimmrechtsanteile hervorheben, beträgt der Anteil an Familienunternehmen im engeren Sinne noch gut 20 Prozent. Allerdings sind diese Familienunternehmen in vielen Fällen die umsatzstärksten Unternehmen der jeweiligen Branche und dürfen deshalb zur Einschätzung der Relevanz einer Umwelttechnik nicht vernachlässigt werden. Bei den Technologien, die für die Steckbriefe ausgewählt wurden, haben die Autor\*innen deshalb die Eigentümerrechte der Aktiengesellschaften gemäß Definition in Kapitel B.III geprüft und bei den Technologien mit einer eher geringen Trefferanzahl, aber relativ hohem Anteil an Aktiengesellschaften im Einzelfall entschieden, ob das Unternehmen Familienunternehmen zugeordnet werden kann.

## VI. Ausgewählte Technologien

Auf Grundlage der Ergebnisse aus der Unternehmensdatenbankrecherche wurden fünfzehn Technologien aufgrund der hohen Firmenpräsenz von Familienunternehmen ausgewählt (vgl. Abbildung 3). Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung wurden in einem

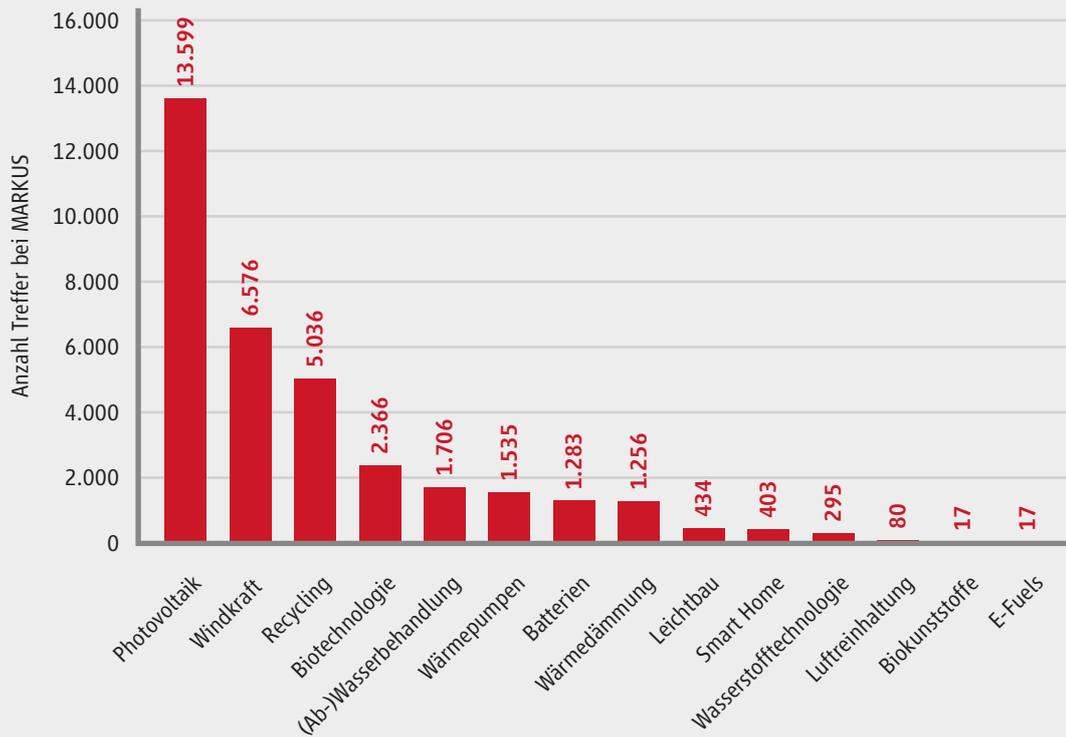
---

15 ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung und Institut für Mittelstandsforschung (IfM) 2019, S. 5.

16 Center for Entrepreneurial and Financial Studies (CEFS) und Technische Universität München (TUM) 2019, S. 1.

Technologiesteckbrief zusammengefasst und in Abbildung 3 als (Ab-)Wasserbehandlung bezeichnet. Zudem werden mit E-Fuels, Digitalisierung und Smart Home drei weitere Umweltthemen detailliert betrachtet, die die Autor\*innen der Studie als wichtige Treiber zukünftiger Entwicklungen im Bereich der Umwelttechnik einschätzen, obwohl deren Marktpräsenz derzeit noch nicht so groß wie die etablierter Umwelttechnologien ist.

Abbildung 3: Anzahl der Familienunternehmen zu den jeweiligen Umwelttechnologien



Quelle: MARKUS-Unternehmensdatenbank, Stand: 17.02.2021

## C. Interviews mit Expert\*innen aus Familienunternehmen

### I. Vorgehen

Um die familienunternehmerische Perspektive innerhalb des Technologieatlas adäquat zu berücksichtigen, wurden ausgewählte Unternehmensvertreter\*innen in etwa einstündigen Interviews um ihre Einschätzung zu Marktgeschehen und Zukunftsaussichten der jeweiligen Umwelttechnologien gebeten. Die Befragung erfolgte spezifisch zu der jeweils angewandten beziehungsweise entwickelten Technologie des Familienunternehmens und nicht zu den weiteren im Technologieatlas berücksichtigten Umwelttechniken.

Die Auswahl der befragten Familienunternehmen basierte auf der Expertise innerhalb der jeweiligen Umwelttechnologie. Hierzu wurden die Firmennetzwerke von Fraunhofer UMSICHT und der Stiftung Familienunternehmen sowie die MARKUS-Unternehmensdatenbank genutzt und Fachverbände kontaktiert. So konnte eine passgenaue Auswahl von je einem Unternehmen pro Umwelttechnologie erfolgen.

Jeweils zwei Autor\*innen der Studie führten das Interview durch, das aufgezeichnet und zusammengefasst wurde. Nach der Freigabe durch die Interviewpartner\*innen wurden besonders prägnante Aussagen – teils in komprimierter Form – in die Technologiesteckbriefe eingefügt und Zitate hervorgehoben.

### II. Interviewleitfaden

Die Interviews wurden in drei Blöcken entlang von neun Leitfragen strukturiert. Dies diente einer thematischen Vorstrukturierung, von der je nach Gesprächsverlauf situativ abgewichen werden konnte. So konnte einerseits sichergestellt werden, dass die im Vorfeld ausgewählten Blöcke berücksichtigt wurden, andererseits konnten ergänzende Informationen der Interviewpartner\*innen aufgenommen werden.

#### **Block I: Intro und Technik**

- Was motiviert Sie, Ihre Technologie weiter zu etablieren?
- Welche Relevanz hat Ihre Technologie für den Umweltschutz und für Nachhaltigkeitsziele?
- Wie sehen Sie Ihre Verantwortung als Familienunternehmen für den Umweltschutz?

## **Block II: Markt- und Unternehmenssicht**

- Was war/ist hilfreich in Ihrem Geschäft? Wen und welche Instrumente haben Sie als hilfreich empfunden (Förderung, Standardisierung, Regulierung, gesellschaftliche Lage, technologische Entwicklungen, Sonstiges)?
- Was würde Ihnen perspektivisch die Arbeit erleichtern?
- Welche Hemmnisse mussten Sie überwinden, um erfolgreich zu werden/zu bleiben (politisch, gesellschaftlich, Akzeptanz, technologische Probleme, Sonstiges)? Welche Hemmnisse bestehen noch?

## **Block III: Ausblick und Zukunft**

- Wie wird die Digitalisierung Ihr Geschäft beeinflussen?
- Welche Potenziale sehen Sie auf der Arbeitsplatzseite (Ausbildung, Arbeitsplätze, nötige Fortbildung) in Ihrem Betrieb?
- Welche Stakeholder werden welche Rolle in Ihrem Kerngeschäft spielen (Kunden, Banken, Politik, Nichtregierungsorganisationen, Gewerkschaften, Sonstige)?

Die Interviews im Steckbrief orientieren sich stark am Wortlaut der Interviewpartner\*innen, um deren authentisches Meinungsbild einzufangen. Direkte Zitate sind gekennzeichnet und wurden von den interviewten Personen beziehungsweise den Unternehmen freigegeben.

## D. Konzeption Technologiesteckbriefe

Die Steckbriefe vermitteln in komprimierter Weise die Grundlagen der ausgewählten Umwelttechnologien, ordnen die Umwelttechniken entsprechend der internationalen Nachhaltigkeitsziele ein, beschreiben die Marktsituation aus Sicht der Familienunternehmen, zeigen, welche Faktoren fördern beziehungsweise hemmen und was die Zukunft erwarten lässt. Aufgrund der derzeitigen und perspektivisch enormen gesellschaftlichen, ökologischen und wirtschaftlichen Relevanz der Digitalisierung wurde hierauf ein besonderes Augenmerk gelegt. Daher werden die Querschnittsthemen Digitalisierung und Smart Home in eigenen Technologiesteckbriefen beleuchtet.

Die Technologiesteckbriefe sind in acht Abschnitte unterteilt:

1. Technologiebezeichnung
2. Wirkungsprinzip und/oder Definition
3. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung
4. Märkte und Arbeitsplätze
5. Beitrag von Familienunternehmen
6. Herausforderungen und Hemmnisse
7. Innovation und Zukunftsperspektiven
8. Zusammenfassung

Ergänzend werden wesentliche Aspekte aus den Expert\*inneninterviews (vgl. Abschnitt C) innerhalb eines Abschnitts komprimiert zusammengefasst.

Nachfolgend werden die Abschnitte sachlogisch und nicht in der numerischen Reihenfolge beschrieben.

Die **Technologiebezeichnung (1)** beschreibt, sofern möglich, eine eindeutige Umwelttechnologie, wie zum Beispiel Luftreinhaltung, teilweise aber auch Geschäftsfelder, wie zum Beispiel Smart Home, denen verschiedene Branchen und Technologien zugeordnet werden können.

**Wirkungsprinzip und/oder Definition (2)** beschreibt das physikalisch-chemische Grundprinzip der Umwelttechnologie, zum Beispiel Umwandlung von Licht in elektrische Energie bei der Photovoltaik beziehungsweise definiert bei komplexen Technologien wie der Biotechnologie die Unterkategorien, zum Beispiel Grüne, Rote, Graue und Blaue Biotechnologie.

Der **Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung (3)** wird anhand der 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen vorrangig im Hinblick auf den Umweltschutz bewertet (vgl. Abbildung 4).<sup>17</sup>

**Märkte und Arbeitsplätze (4), Herausforderungen und Hemmnisse (6)** sowie **Innovationen und Zukunftsperspektiven (7)** wurden in aktuellen Marktstudien, Fachartikeln, Fachbüchern, bei Vereinen, Verbänden und Gremien recherchiert und mit den Einschätzungen der Autor\*innen und Interviewpartner\*innen abgeglichen. Während bei den **Herausforderungen und Hemmnissen (6)** eher nachteilige Aspekte betrachtet wurden, sind es bei **Innovationen und Zukunftsperspektiven (7)** fördernde Gesichtspunkte.

Der **Beitrag von Familienunternehmen (5)** zur Technologieentwicklung ergibt sich im Wesentlichen aus der Zusammenfassung der Ergebnisse aus der MARKUS-Unternehmensdatenbank, einer Recherche in Patentdatenbanken sowie von Umweltpreisen.

Die **Patentsituation** für die einzelnen Technologien wurde mithilfe der Datenbanken des Deutschen Patent- und Markenamts DEPATISnet<sup>18</sup> sowie der kommerziellen Datenbank PatBase<sup>19</sup> durchgeführt. In beiden Datenbanken wurde jeweils mit den englischen wie auch mit den deutschen Begriffen recherchiert. In der Regel wurde mit den Booleschen Operatoren „AND“ und „OR“ gearbeitet (AND = alle Begriffe MÜSSEN vorkommen, OR = nur einer der Begriffe MUSS vorkommen, es können aber auch alle sein). Zusätzlich werden Wildcard-Operatoren eingesetzt (Trunkierung). Die Vorgehensweise ist wie folgt: Zunächst werden mithilfe der entsprechenden Suchwörter die passenden Patente identifiziert. Im nächsten Schritt muss dann für jedes Patent kontrolliert werden, ob es sich bei den jeweiligen Anmeldern um ein Familienunternehmen handelt. Dieser Schritt kann nicht automatisiert werden.

Nach Fertigstellung der Arbeiten erfolgte eine **Evaluation** der Technologiesteckbriefe durch Fraunhofer UMSICHT-Fachexperten als ergänzende Qualitätssicherungsmaßnahme.

---

17 Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) (o.J.).

18 DEPATISnet | Einsteigerrecherche (<https://www.dpma.de/recherche/>).

19 PatBase (<https://www.patbase.com/>).

Abbildung 4: Die 17 Sustainable Development Goals – SDGs (Nachhaltigkeitsziele) der Vereinten Nationen<sup>20</sup>



Die Ziele für nachhaltige Entwicklung der Agenda 2030 richten sich an die Politik und Zivilgesellschaft sowie an die Privatwirtschaft und die Wissenschaft. Sie umfassen ökologische, ökonomische und soziale Ziele, die für die gesamte Weltgesellschaft sichergestellt werden sollen:<sup>21</sup>

Ziel 1: Beendigung von Armut

Ziel 2: Beendigung von Hunger, Förderung von Ernährungssicherheit und einer nachhaltigen Landwirtschaft

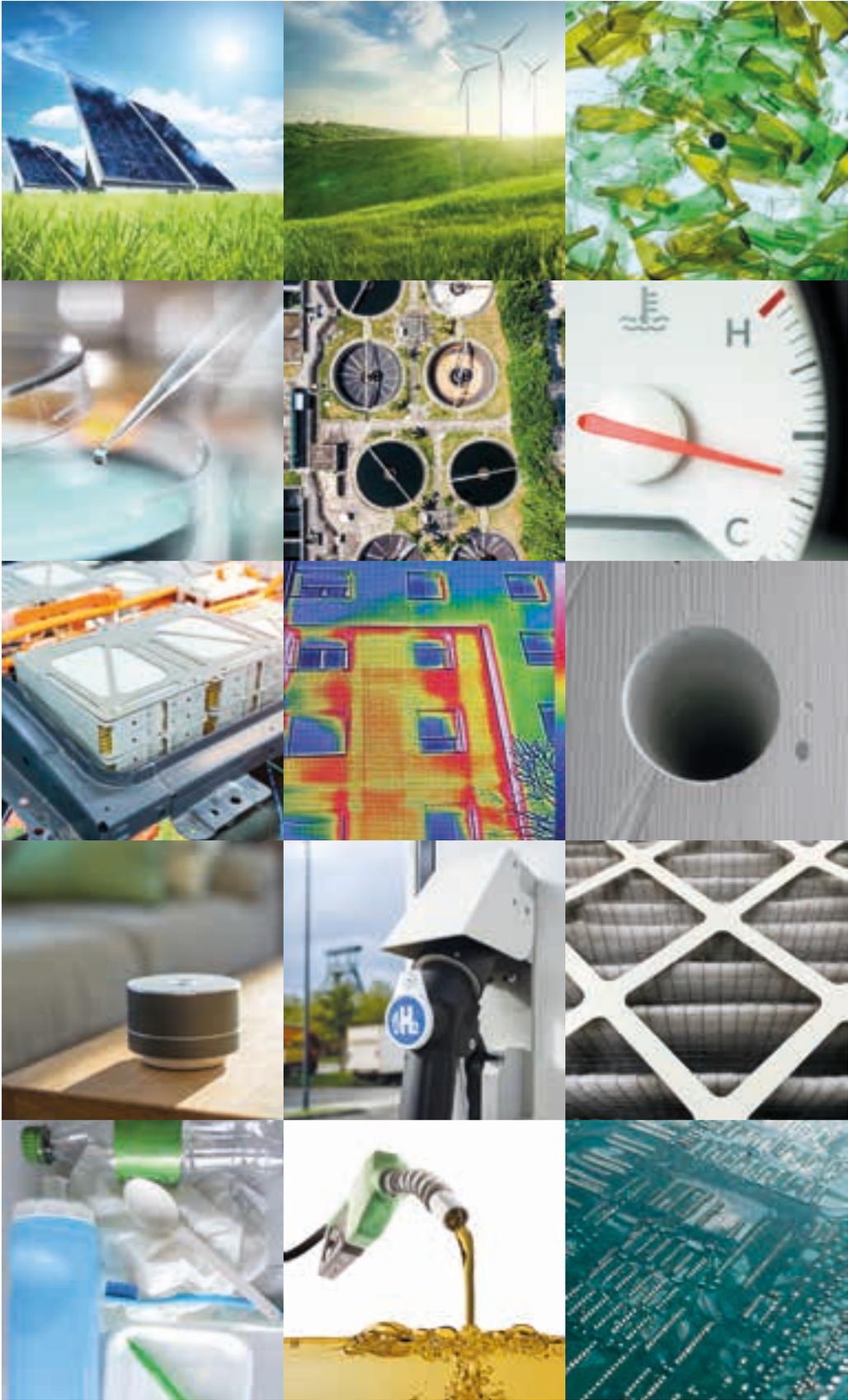
Ziel 3: Gewährleistung eines gesunden Lebens

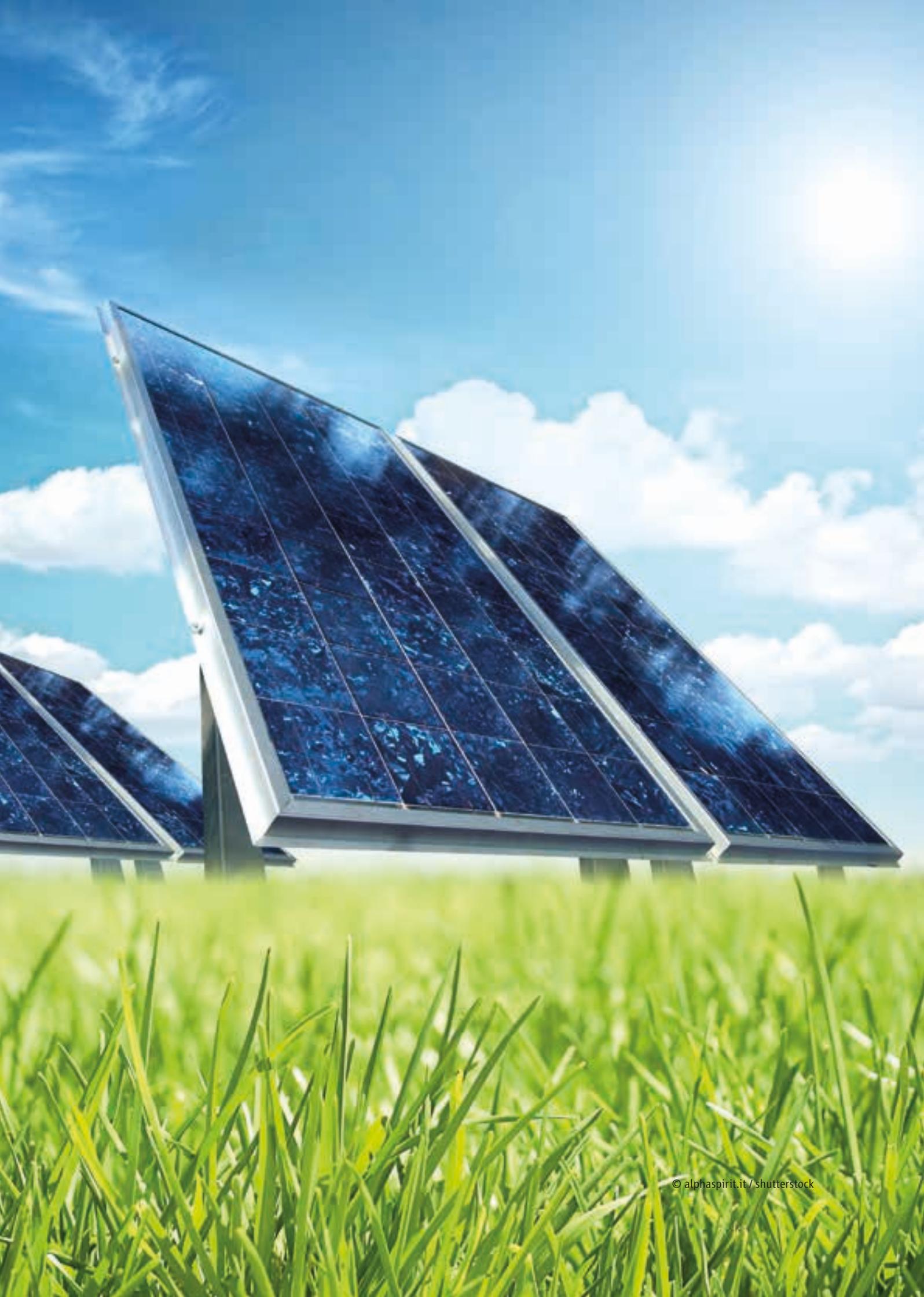
20 Vereinte Nationen 2020.

21 United Nations 2020.

- Ziel 4: Förderung einer inklusiven, gleichberechtigten und hochwertigen Bildung sowie von lebenslangem Lernen
- Ziel 5: Geschlechtergleichstellung und Befähigung zur Selbstbestimmung von Frauen und Mädchen
- Ziel 6: Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung
- Ziel 7: Zugang zu bezahlbarer, verlässlicher, nachhaltiger und moderner Energie
- Ziel 8: Dauerhaftes, inklusives und nachhaltiges Wirtschaftswachstum mit produktiver Vollbeschäftigung und menschenwürdiger Arbeit
- Ziel 9: Aufbau einer widerstandsfähigen Infrastruktur und Unterstützung einer inklusiven, nachhaltigen und innovativen Industrialisierung
- Ziel 10: Verringerung der globalen Ungleichheit
- Ziel 11: Gestaltung inklusiver, widerstandsfähiger und nachhaltiger Städte und Siedlungen
- Ziel 12: Sicherstellung nachhaltiger Produktions- und Konsummuster
- Ziel 13: Ergreifung von Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels und dessen Auswirkungen
- Ziel 14: Nachhaltige Nutzung und Erhaltung der Ozeane, Meere und Meeresressourcen
- Ziel 15: Schutz und Wiederherstellung der Landökosysteme und der biologischen Artenvielfalt
- Ziel 16: Zugang für alle Menschen zu Justiz und Aufbau rechenschaftspflichtiger, inklusiver Institutionen auf allen Ebenen
- Ziel 17: Stärkung der globalen Partnerschaften und deren Umsetzungsmittel

# E. Technologiesteckbriefe





# I. Photovoltaik

## 1. Wirkungsprinzip und Definition

Photovoltaik bezeichnet ein technisches Verfahren zur direkten Umwandlung von solarer Strahlungsenergie in elektrische Energie. Grundlegender Bestandteil von Photovoltaik-Anlagen sind Solarmodule, die die dafür notwendigen Solarzellen enthalten. Physikalische Grundlage bildet der photoelektrische Effekt, bei dem infolge der Bestrahlung mit Photonen, die sich durch das elektrische Feld im Übergang der Solarzelle zwischen positiver p-Schicht und negativer n-Schicht bewegen, elektrische Spannung erzeugt wird. Der daraus entstehende Gleichstrom kann über einen Wechselrichter in Wechselstrom umgewandelt und ins Netz eingespeist oder für den direkten Eigenverbrauch verwendet werden.<sup>22</sup>

## 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Photovoltaik erzeugt Strom aus erneuerbaren Energien und trägt damit zur Energiewende bei. Die Nutzung von Solarstrom wirkt sich auch auf die Umweltbilanz anderer nachhaltiger Technologien aus, beispielsweise bei der Verwendung von CO<sub>2</sub>-neutralem Solarstrom im Bereich der Elektromobilität. Laut UBA betragen die Einsparungen von CO<sub>2</sub> durch Photovoltaik im Jahr 2019 rund 30 Millionen Tonnen.<sup>23</sup> Im selben Jahr belief sich die Stromerzeugung aus Photovoltaik auf 19,5 Prozent innerhalb der erneuerbaren Energieträger.<sup>24</sup> Photovoltaik adressiert damit direkt das übergreifende SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“. Durch die weitgehend ortsunabhängige Verfügbarkeit der Sonneneinstrahlung ist die Energieerzeugung politisch und/oder wirtschaftlich unabhängig von Importen. Allerdings ist zu bedenken, dass die möglichen Erträge von Photovoltaik-Anlagen je nach Jahresgang und Standort starken Schwankungen unterliegen können. Photovoltaik liefert einen direkten Beitrag zum SDG 7: „Bezahlbare und saubere Energie“.

## 3. Märkte und Arbeitsplätze

Bis zum Jahr 2010 bewegte sich der Photovoltaik-Markt auf einem expansiven Wachstumspfad. Im Jahr 2012 betrug der Zubau in Deutschland 7.604 Megawatt.<sup>25</sup> Nach dem Jahr 2012 brach der Zubau massiv ein. Als Ursache hierfür gelten die starken Einschnitte bei der Solarförderung infolge der politischen Anpassungen des Rechtsrahmens des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG). Seit dem Jahr 2018 erfährt die Branche jedoch wieder Zuwachs.<sup>26</sup>

---

22 Umweltbundesamt (UBA) 2020f.

23 Umweltbundesamt (UBA) 2020e, S. 16.

24 Umweltbundesamt (UBA) 2020e, S. 8.

25 Strom-Report 2020.

26 Bundesnetzagentur 2019, S. 59.

Die Anzahl der Beschäftigten in der Photovoltaik-Branche ging bis zum Jahr 2017 in Deutschland um über 70 Prozent zurück. Seitdem ist jedoch ein Aufwärtstrend zu verzeichnen; im Jahr 2018 waren rund 45.700 Personen im Bereich Solarenergie beschäftigt.<sup>27</sup> Ursächlich für die gesunkene Beschäftigung ist neben der Kürzung der Solarstromförderung auch der Preisdruck durch die Konkurrenz vor allem aus dem asiatischen Raum. Durch fortschrittliche Entwicklungen in den Bereichen Netzausbau und Speicherfähigkeit könnte sich jedoch laut Schätzungen im Jahr 2030 die Anzahl der Beschäftigten in Deutschland gegenüber dem Jahr 2010 um 18 Prozent erhöhen.<sup>28</sup>

Vor allem durch den Ausbau der Elektromobilität und Power-to-X-Anwendungen (Technologien zur Speicherung und anderweitigen Nutzung von Stromüberschüssen) könnte der Branchenumsatz auf geschätzte 11,1 Milliarden Euro im Jahr 2025 gegenüber rund 2,9 Milliarden Euro im Jahr 2018 (Umweltschutzgüter und Umweltschutzleistungen) ansteigen.<sup>29, 30</sup>

Ende des Jahres 2019 betrug die installierte Photovoltaik-Leistung in Deutschland 49,1 Gigawatt mit einem Gesamtbestand der Photovoltaik-Anlagen von rund 1,87 Millionen.<sup>31</sup> Im selbigen Jahr verfügte Bayern mit Abstand über die höchste installierte Leistung mit rund 13,5 Gigawatt, gefolgt von Baden-Württemberg mit rund 6,3 Gigawatt und Nordrhein-Westfalen mit rund 5,4 Gigawatt.<sup>32</sup>

Hinsichtlich der globalen Marktentwicklung gelten laut einer Studie der International Energy Agency (IEA) (2020) China, die USA, Indien und Japan als die zentralen Photovoltaik-Leitmärkte im Jahr 2019, wobei Deutschland den achten Rang belegt.<sup>33</sup> Am europäischen Photovoltaikmarkt verzeichnet Deutschland im Jahr 2019 mit 3,68 Gigawatt den zweithöchsten Zubau von Photovoltaik-Anlagen und liegt damit knapp hinter Spanien mit 3,99 Gigawatt.<sup>34</sup> Die weltweite Solarstromproduktion lag im Jahr 2019 bei 623,2 Gigawatt gegenüber 70,4 Gigawatt im Jahr 2011.<sup>35</sup>

---

27 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020b, S. 36.

28 Roland Berger Strategy Consultants und Prognos AG 2020, S. 47.

29 EuPD Research Sustainable Management GmbH 2019.

30 Statistisches Bundesamt (Destatis) 2018, S. 5.

31 Bundesnetzagentur 2019, S. 3ff.

32 Bundesnetzagentur 2019, S. 25.

33 Masson und Kaizuka 2020, S. 14.

34 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020b, S. 56.

35 Masson und Kaizuka 2020, S. 11.

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind gemäß der MARKUS-Unternehmensdatenbank 14.710 Unternehmen unter dem Stichwort „Photovoltaik\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 92 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 92 AGs
- 5.997 GmbHs
- 475 vollhaftende Personengesellschaften
- 6.631 teilhaftende Personengesellschaften
- 404 Einzelunternehmen

Ein klassisches Familienunternehmen der Branche ist die **Goldbeck Solar GmbH**, die seit fast 20 Jahren gewerbliche und industrielle Photovoltaik-Anlagen als Solardächer oder Solarparks realisiert.

Stellvertretend für die hohe Innovationsfähigkeit von Familienunternehmen in der Photovoltaikbranche steht die **SMA Solar Technology AG**, die im Jahr 2012 den Deutschen Umweltpreis für Solar-Wechselrichter erhielt.<sup>36</sup>

#### 5. Interview

Goldbeck Solar GmbH, Joachim Goldbeck (Geschäftsführer):

Die Folgen der Klimakrise sieht Herr Goldbeck als die größte Herausforderung der Zukunft und gleichzeitig für viele Familienunternehmen auch als Chance, sich wirtschaftlich neu zu positionieren und zu wachsen. Für Photovoltaik ist „[...] im Großen und Ganzen der Weg frei gegeben nach vorne [...]“, wobei die ansteigende wirtschaftliche Rentabilität und das wachsende Umweltbewusstsein in der Bevölkerung wichtige Treiber darstellen. Das wirkt sich sowohl auf die Anwendung der Technologie zum Beispiel auf Industriedächern als auch auf die Marktteilnehmer in dieser wachsenden Branche aus.

Die Inanspruchnahme von Fördermitteln spielte abgesehen von der Gründungsphase des Tochterunternehmens Goldbeck Solar GmbH Anfang der 2000er Jahre eine untergeordnete Rolle. „Was man natürlich jedoch als Förderung bezeichnen kann, ist das EEG als solches, welches

---

36 Deutsche Bundesstiftung Umwelt 2012.

in Deutschland als marktgestaltende Maßnahme den Einsatz unserer Technologie unterstützt hat und auch noch unterstützt, definitiv.“

Perspektivisch hält Herr Goldbeck die Etablierung eines wissenschaftlich fundierten CO<sub>2</sub>-Preis-Entwicklungspfades als allgemein anzuwendenden Referenzpfad für die Europäische Union für sinnvoll: „Der direkte Weg, eine CO<sub>2</sub>-Reduktion zu erreichen, ist, einen ausreichend hohen CO<sub>2</sub>-Preis anzusetzen [...] Das heißt, nicht nur der CO<sub>2</sub>-Preis von heute hat eine Steuerungswirkung, sondern auch die Transparenz des zu erwartenden CO<sub>2</sub>-Preises in der Zukunft. Speziell für Infrastrukturinvestitionen, die einen längeren Zeitraum betreffen, ist bereits jetzt eine Visibilität nötig, wie sich der Preis in zehn, zwanzig oder dreißig Jahren gestaltet. So können auf lange Sicht vermiedene hohe CO<sub>2</sub>-Kosten etwas höhere Kosten für klimafreundliche Technologien bei Neuinvestitionen wirtschaftlich rechtfertigen und incentivieren.“ Zukunftsrelevant bei der flächendeckenden Umstellung auf erneuerbare Energien seien weiterhin alle Arten von Speichern. Dabei „[...] spielen Batterie-Speicher eine massive Rolle und Wasserstoff ist aus meiner Sicht definitiv eine andere wichtige Komponente.“ Wichtig wäre Herrn Goldbeck eine umfassende und gemeinsame Energiestrategie der Europäischen Union auf Basis einer unabhängigen Studie.

Einen entscheidenden Vorteil von Familienunternehmen sieht er in ihrer „[...] greifbaren und identifizierbaren Verantwortung [...]“, die sich nicht nur gegenüber den Mitarbeitenden und Kund\*innen zeigt. Das Familienunternehmen Goldbeck Solar GmbH betrachtet sich als Unternehmen der Umwelttechnik auch in der Verantwortung gegenüber den Nachhaltigkeitszielen und engagiert sich auch für den Erhalt der Biodiversität. So können bei Freiflächenanlagen etwa über Totholz-Haufen, Sandbereiche oder Wildblumenwiesen natürliche Lebensräume neu geschaffen werden. Über einen anderen Ansatz ermöglicht das Konzept Agri-Photovoltaik die gleichzeitige Nutzung einer Fläche für Ackerbau und Stromerzeugung.

Auf die Frage nach der Rolle der Digitalisierung für die Photovoltaik sieht Herr Goldbeck auf der Unternehmensebene in naher Zukunft einen „moderaten“ Einfluss über eine kontinuierliche Weiterentwicklung, etwa durch den Einsatz eines roboterisierten Anlagenbaus. Größeres Einflusspotenzial berge dagegen auf der Prozessebene die „[...] intelligente Vernetzung zwischen Produktion und Abnahme des sauberen Stroms mit automatisierbaren Stromprognosen und Aktivierung steuerbarer Lasten als neues, angrenzendes Geschäftsfeld“.

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Um den Ausbau der Photovoltaik zu sichern, müssten weitere Marktbarrieren wegfallen beziehungsweise Regelungen für den Umstieg auf den Eigenverbrauch – etwa durch eine erneuerte Mieterstromregelung – vereinfacht werden.<sup>37</sup>

Die Nutzung von Solarenergie durch Photovoltaik ist stark abhängig von dem geografischen Ort, der Jahreszeit und dem Zeitpunkt innerhalb eines Tages.<sup>38</sup> Besonders während der Mittagszeit kann die Verfügbarkeit von Solarenergie den Eigenverbrauch schnell übersteigen. Um in Deutschland während des einstrahlungsärmeren Winterhalbjahres die Sonnenstrahlung möglichst effizient zu nutzen, müssten die Solarzellen zum einen kontinuierlich der Sonne nachgeführt werden. Zum anderen können die Solarzellen, um auch die diffusen Sonnenstrahlen zu nutzen, horizontal ausgerichtet werden. Diffuse Strahlung meint eine Streuung der Sonneneinstrahlung, deren Anteil bei Bewölkung oder Luftverschmutzung höher ist als bei klaren Wetter- beziehungsweise Luftverhältnissen. Um die Versorgungssicherheit zukünftig zu gewährleisten, müssen zudem die Speicherkapazitäten zur saisonalen und kurzfristigen Stromspeicherung und somit zeitunabhängigen Stromnutzung deutlich ausgebaut werden.<sup>39</sup> Die Sektorenkopplung, das heißt die Verwendung von Strom und Gas in sektorübergreifenden Anwendungen wie Mobilität und Wärme, wird die Stromnachfrage zusätzlich erhöhen. Batteriespeicheranwendungen stellen eine zentrale Technologie dar, um die Energiewende voranzutreiben.<sup>40</sup> Während sich Lithium-Ionen-basierte Batterietechnologien zunehmend auf dem Markt etablieren, befindet sich die Anwendung von Redox-Flow-Batterien (ähnlich einem Akkumulator, jedoch liegen die Reaktionspartner in einem Lösungsmittel in gelöster Form vor), Salzwasserbatterien oder Batterien mit Natrium-Nickelchlorid-Technologie noch in einem frühen Entwicklungsstadium.

Für das Jahr 2030 werden 1,7 bis 1,8 Millionen Tonnen Photovoltaikabfall weltweit erwartet. Schadstoffe, die in Photovoltaik-Modulen enthalten sind, bestehen hauptsächlich aus Blei, Cadmium und Tellur. Weitere Gefahrenpotenziale entstehen, wenn die Module durch mechanische Einflüsse beschädigt werden und Schadstoffe in die Umwelt gelangen.<sup>41</sup>

Herausforderungen zeigen sich auch hinsichtlich des Flächenbedarfs für die großtechnische Photovoltaiknutzung. Betreiber\*innen von Photovoltaik-Anlagen konkurrieren mit Landwirt\*innen um Ackerflächen sowie mit Kommunen und Naturschutzverbänden um

---

37 Bundesnetzagentur (o.J.).

38 Wesselak und Voswinckel 2012, S. 22f.

39 EuPD Research Sustainable Management GmbH 2019, S. 60.

40 EuPD Research Sustainable Management GmbH 2019, S. 34f.

41 International Renewable Energy Agency (IRENA); International Energy Agency (IEA), 2016, S. 34.

Naturschutz-, Freizeit- oder Erholungsflächen. Mögliche negative Auswirkungen auf die Umwelt zeigen sich dabei nicht nur bei punktuellen Versiegelungen, sondern beispielsweise auch hinsichtlich einer Änderung der Wasserversorgung, Landschaftszerschneidung und weiteren Beeinträchtigungen durch die Bauphasen oder Wartungsarbeiten.<sup>42</sup>

Die sogenannte integrierte Photovoltaik, die auf Flächen von Gebäuden, Verkehrswegen oder Lärmschutzwänden installiert wird, sowie die gemeinsame Flächennutzung mit der Landwirtschaft können Nutzungskonflikten entgegenwirken.<sup>43</sup>

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Es wird eine Steigerung des Wirkungsgrades von Solarzellen auf Basis von Siliziumscheiben erwartet. Derzeit liegt der Mittelwert des nominellen Wirkungsgrades bei 17,5 Prozent, aber es werden auch Spitzenwerte von bis zu 22 Prozent erreicht. Das entspricht einer Nennleistung von 175 Watt pro Quadratmeter, bei Spitzenmodulen bis 220 Watt pro Quadratmeter. Im Betrieb treten jedoch zusätzliche Verluste auf, sodass eine Performance Ratio von 80 bis 90 Prozent erreicht wird. Die nominellen Wirkungsgrade und die Performance Ratio sollten in Zukunft weiter verbessert werden.<sup>44</sup>

Um die Ziele der Energiewende zu erreichen, ist ein massiver Ausbau der installierten Photovoltaik-Leistung in Deutschland notwendig (120 bis 650 Gigawatt).<sup>45</sup> Gebäude sollen bis zum Jahr 2050 klimaneutral sein. Dafür ist ein höherer Anteil erneuerbarer Energien notwendig, darunter auch Photovoltaik-Anlagen zur Eigenstromerzeugung.<sup>46</sup> Die Akzeptanz in der Bevölkerung von Photovoltaik-Anlagen ist im Allgemeinen hoch einzuschätzen.<sup>47</sup>

Neben dem positiv erwarteten Beschäftigungsanstieg bei der Herstellung, Installation und Wartung<sup>48</sup> eröffnet der Photovoltaik-Zubau in Deutschland auch auf der Ebene kommunaler Handlungsstrategien neue Beschäftigungsmöglichkeiten in Form von Solarbeauftragten für die Entwicklung von Beratungsprogrammen für spezielle Zielgruppen.<sup>49</sup>

---

*Für die Energiewende ist ein massiver Ausbau der Photovoltaik-Leistung notwendig*

---

42 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2017.

43 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 39.

44 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 42.

45 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 5.

46 Bürger et al. 2016, S. 110.

47 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 40f.

48 EuPD Research Sustainable Management GmbH 2019, S. 62ff.

49 Deutscher Städte- und Gemeindebund et al. 2013, S. 34.

Für eine erfolgreiche Energiewende spielt die Digitalisierung eine Schlüsselrolle. Sie bringt neben der notwendigen Transparenz auch Flexibilität in das Energiesystem, ermöglicht die Umsetzung von Smart Grids und erlaubt den Verbraucher\*innen, zum Beispiel Betreiber\*innen von häuslichen Solaranlagen, eine größere aktive Beteiligung im Energiesektor. Laut des „Barometers zur Digitalisierung der Energiewende“ (2020) im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) wird der Fortschritt bei der Umsetzung des „Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende“ für das Berichtsjahr 2019 mit einem Gesamt-Barometerwert von 36 der insgesamt 100 möglichen Punkte gegenüber 22 Punkten im Jahr 2018 bewertet.<sup>50</sup> Als besonders positiv wird im Bericht die angestiegene Zahl der zertifizierten Smart-Meter-Gateway-Administratoren (Datenübertragung im intelligenten Messsystem) bewertet sowie der Bereich der Marktkommunikation und der Rollouts für moderne Messeinrichtungen.<sup>51</sup> Der Informationsstand zum Rollout intelligenter Messsysteme zeigt sich in der Bevölkerung jedoch als sehr gering, was sich an der Bekanntheit des Begriffs „Smart Meter“ mit nur 15 Prozent verdeutlicht.<sup>52</sup>

## 8. Zusammenfassung

Die Photovoltaiktechnologie ist mittlerweile in Deutschland etabliert. Verglichen mit anderen Umwelttechniken ist sie führend, was die Anzahl der in dieser Branche tätigen Familienunternehmen betrifft. Ein weiterer Anstieg ist aufgrund der wachsenden Stromnachfrage durch die zunehmende Sektorenkopplung zu erwarten. Es sind weitere Verbesserungen hinsichtlich des Wirkungsgrades notwendig.<sup>53</sup>

Im Kostenvergleich liegen die Grenzkosten<sup>54</sup> für Kohlestrom bei drei bis sieben Cent pro Kilowattstunde, für Gasstrom bei sechs bis neun Cent pro Kilowattstunde gegenüber vier bis sechs Cent pro Kilowattstunde bei Photovoltaik-Strom aus neuen Kraftwerken im Megawatt-Bereich unter der Voraussetzung, dass der Strom vollständig durch die Verbraucher\*innen abgenommen wird.<sup>55</sup> Dank des technologischen Fortschritts fällt die Preisentwicklung für Aufdachanlagen von zehn bis 100 Kilowatt seit dem Jahr 2006 kontinuierlich ab. Es wird dabei von einer sogenannten „Preis-Erfahrungskurve“ ausgegangen. Bei einer Verdopplung der gesamten installierten Leistungen werden die Preise um einen konstanten Prozentsatz sinken. Auch zukünftig wird aufgrund dieser Gesetzmäßigkeit ein Trend erwartet, nach dem

---

50 Ernst & Young GmbH 2020a.

51 Ernst & Young GmbH 2020b.

52 Ernst & Young GmbH 2020c.

53 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 84.

54 Grenzkosten allgemein: zusätzliche Kosten durch erhöhte Produktion; im Strommarkt: an der Strombörse wird das Merit-Order-Verfahren praktiziert, bei dem sich die Angebote in etwa an den Grenzkosten orientieren.

55 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 6f.

eine Preisreduktion um 24 Prozent bei einer Verdopplung der kumulierten installierten Leistung angenommen wird.<sup>56</sup>

---

*Schwankende  
Verfügbarkeit der  
Solarenergie und  
Weiterentwicklung  
von Speicher-  
technologien sind  
herausfordernd*

---

Eine bleibende Herausforderung ist die schwankende Verfügbarkeit der Solarenergie und damit verbunden die Weiterentwicklung von Speichertechnologien sowie die Konkurrenz um Flächen.<sup>57</sup> In Deutschland sind bisher lediglich 180.000 Photovoltaik-Stromspeicher installiert. Die gesamte installierte Batteriekapazität in Deutschland ist derzeit noch kleiner als eine Gigawattstunde und die Pumpspeicher-Kapazität liegt bei 38 Gigawattstunden.<sup>58</sup> Hinsichtlich der Entsorgung von Photovoltaik-Modulen bestehen aus Unternehmenssicht große Potenziale. Diesbezüglich sollten großtechnische Recyclingverfahren entwickelt und ausgebaut werden.<sup>59</sup>

---

56 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 8.

57 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 69f.

58 Fraunhofer-Institut ISE 2020, S. 69f.

59 Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) und Institut für Photovoltaik (ipv) 2012.





## II. Windkraft

### 1. Wirkungsprinzip

Der Wind versetzt den Rotor einer Windkraftanlage in Bewegung. Nach dem Prinzip der Flugzeugtragfläche – also gemäß dem Prinzip des aerodynamischen Auftriebs – wird die Luft ober- und unterhalb des Rotorblattes entlanggeführt. Aufgrund der Wölbung des Blattes hat die Luft oberhalb des Blattes einen längeren Weg als unterhalb des Blattes und muss daher schneller fließen. So entsteht oberhalb des Blattes ein Unterdruck und unterhalb des Blattes ein Überdruck. Diese Druckdifferenz führt zu einer Auftriebskraft, die das Rotorblatt antreibt und den Rotor in Drehung versetzt. Diese (Dreh-)Bewegungsenergie wird dann mithilfe eines Generators in Strom umgewandelt. Von dort aus fließt die elektrische Energie in das Stromnetz.<sup>60</sup>

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Windkraft erzeugt Strom aus erneuerbaren Energien und trägt damit wesentlich zum SDG 7: „Bezahlbare und saubere Energie“ bei. Die Senkung der CO<sub>2</sub>- und Feinstaubemissionen wirkt sich auch auf andere nachhaltige Technologien – wie zum Beispiel Elektrofahrzeuge – aus. Laut UBA betragen die Einsparungen von CO<sub>2</sub> durch Windkraft im Jahr 2019 rund 89 Millionen Tonnen. Im selben Jahr belief sich die Stromerzeugung aus Windkraft je nach Quelle auf 126 Milliarden Kilowattstunden und somit auf 21,7 Prozent<sup>61</sup>, rund 124 Milliarden (2018: 109 Milliarden Kilowattstunden)<sup>62</sup> beziehungsweise 128 Milliarden Kilowattstunden, also rund 21 Prozent des Bruttostromverbrauchs in Deutschland.<sup>63</sup> Die Bundesregierung spricht sogar von 24,5 Prozent.<sup>64</sup> Damit war die Windenergie erstmals wichtigster Energieträger im deutschen Strommix und adressiert übergeordnet das SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“.

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Nach einem Hoch im Jahr 2016 gingen in der Windenergiebranche in Deutschland im Jahr 2017 knapp 26.000 Arbeitsplätze verloren; es verblieben somit 135.100:<sup>65</sup>

- Anzahl Beschäftigte 2015: 149.700
- Anzahl Beschäftigte 2016: 161.000
- Anzahl Beschäftigte 2017: 135.100

---

60 Bundesverband WindEnergie BWE 2020b.

61 Bundesregierung 2020.

62 Windbranche.de. (o.J.).

63 Statista 2020a.

64 Bundesregierung 2020.

65 Deutscher Bundestag 2019c.

Der Zubau von Windkraftanlagen ist durch strenge Auflagen nach wie vor erschwert. Je nach Bundesland müssen bestimmte Abstände zu Straßen und zu bewohnten Gebäuden eingehalten werden. Im September 2019 einigte man sich auf einen Mindestabstand von 1.000 Metern zum nächsten bewohnten Gebäude. Dies gilt deutschlandweit. Allerdings erkannte der Gesetzgeber bald, dass so circa die Hälfte aller für Windkraftanlagen in Frage kommenden Flächen weggefallen wären. Auch das Repowering, also der Ersatz von Altanlagen durch neue und effektivere Windräder, wäre dadurch unmöglich geworden. Im Mai 2020 wurde beschlossen, dass die Festlegung von Abständen in den Zuständigkeitsbereich der Bundesländer fällt.<sup>66</sup> Eine konkrete Vorgabe existiert zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht.

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 6.842 Unternehmen unter dem Stichwort „Windkraft\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 96 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 35 AGs
- 2.215 GmbHs
- 155 vollhaftende Personengesellschaften
- 4.122 teilhaftende Personengesellschaften
- 49 Einzelunternehmen

Die Innovationsfähigkeit deutscher Familienunternehmen in diesem Sektor demonstriert die Vielzahl angemeldeter Patente. Beispielsweise hält die **Max Bögl Wind AG** allein 20 Patente.

Ein weiteres Unternehmen dieser Branche ist die **Stahl Windenergie GmbH** – ein klassisches Familienunternehmen, das seit über 20 Jahren Windkraftanlagen plant, vertreibt und betreibt. Ein weiteres Standbein der Stahl Gruppe hinsichtlich nachhaltiger Technologien ist der Bereich Photovoltaik.

#### 5. Interview

Stahl Windenergie GmbH, Florian Stahl (Geschäftsführer):

„Aus meiner Sicht ist die Windkraft die einzig sinnvolle Alternative zu den konventionellen Energieträgern.“ Herr Stahl betont, dass die Wirtschaftlichkeit natürlich wichtig ist, aber noch

---

66 Bauchmüller 2020.

wichtiger sei es, ein nachhaltiges, gutes Produkt zu haben, „[...] hinter dem man auch stehen kann, von dem man auch selber zu einhundert Prozent überzeugt ist“. Darüber hinaus wird innerhalb des Unternehmens „[...] so nachhaltig wie möglich“ gehandelt: „Wir versuchen zurzeit, unseren kompletten Fuhrpark auf Elektromobilität umzustellen und die Elektrofahrzeuge auch nur mit Strom aus regenerativen Quellen zu versorgen.“ Dazu gehöre zum Beispiel auch Strom aus den eigenen Photovoltaikanlagen. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) sei für die Windkraft ein großer Gewinn und habe den ganzen Stein ins Rollen gebracht. Diese Form der Regulierung sieht Herr Stahl sehr positiv, allerdings bedauert er, dass Genehmigungsverfahren und die Umsetzung der Genehmigung mit zum Teil mehr als fünf Jahren einfach zu lange dauern. So sind die geplanten Anlagen bis zur Genehmigung quasi schon wieder veraltet. Eine Förderung erfolge mittlerweile kaum noch, was aber die Akzeptanz in der Bevölkerung sogar tendenziell erhöhe. „Wir versuchen, mit unserem Familienunternehmen die geforderten Ziele zu erfüllen und hoffen auf mehr Unterstützung seitens der Politik.“

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Wegen strenger Umweltauflagen dauern Genehmigungsverfahren zurzeit vier bis sechs Jahre – ein Zeitraum, den kleinere Familienunternehmen nicht oder nur schwer überbrücken können. Zudem stellt die Standortsuche durch die bestehenden Abstandsregeln eine weitere Herausforderung dar.<sup>67</sup> Für die Planung von Windparks sind das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und das Baugesetzbuch (BauGB), für den Betrieb, die Netzanbindung und die Einspeisevergütung das EEG maßgeblich. Aber auch Bau-, Straßen- und Luftverkehrs- sowie Naturschutzrecht sind relevant.

Neben detaillierten Angaben zur Bauplanung und zu den geplanten elektrischen Anlagen muss der oder die Antragsteller\*in Gutachten zu Schallentwicklung, Schattenwurf, Sichtbarkeit und Auswirkungen auf das Landschaftsbild sowie zu ökologischen Einflüssen des Vorhabens vorlegen, was letztlich eine Folge der nachlassenden Akzeptanz und von Protesten in der Bevölkerung ist.<sup>68</sup> Zusätzlich werden bei den Abständen zu Wohngebieten, Verkehrswegen oder Gewässern auch die Gesetzgebungen der Länder wirksam, wodurch unter Umständen auch Höhenbegrenzungen festgelegt werden. Oft werden auch die nicht verbindlichen Empfehlungen der Bundesländer in die Planung mit einbezogen. So wirken beispielsweise Naturschutzbehörden und die Bauämter der Gemeinden bei der Genehmigung mit. Ist der Windpark in Betrieb, so regelt das Steuerrecht die Verteilung der Gewerbesteuer.

---

*Genehmigungsverfahren dauern aufgrund strenger Auflagen oftmals sehr lange*

---

---

67 Bundesverband WindEnergie BWE 2020a.

68 Deutscher Bundestag 2019b.

Weitere große Herausforderungen sind sowohl der Netzausbau als auch die Erweiterung der Speichermöglichkeiten von Windkraft, sodass auch Energie zur Verfügung steht, wenn die Windräder stillstehen.<sup>69</sup>

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Moderne Windkraftanlagen haben einen Wirkungsgrad von circa 30 Prozent.<sup>70</sup> Die Windenergie an Land hat einen Anteil von über 15 Prozent an der deutschen Stromversorgung. Wird die Windenergie an Land und auf See zusammengerechnet, so nimmt sie mit einem Anteil von – je nach Quelle – 21,7 Prozent<sup>71, 72</sup> beziehungsweise 24,5 Prozent<sup>73</sup> den ersten Platz ein (Stand: 2019). Ein weiterer Ausbau ist vor allem auf See (offshore) und durch den Ersatz von alten und kleineren Anlagen durch leistungsstärkere Anlagen (Repowering) geplant. Ein Problem muss künftig jedoch gelöst werden: Windräder werden zum größten Teil aus Verbundmaterialien hergestellt. Bis heute ist noch nicht geklärt, wie beispielsweise die Rotorblätter nach dem Rückbau verwertet oder recycelt werden können. Speziell zu diesem Thema hat sich der Verbund RDRWind e.V. gegründet, der sich dieser Aufgaben annimmt: So wurde im Oktober des Jahres 2020 eine entsprechende DIN SPEC<sup>74</sup> erarbeitet, die sich mit dem nachhaltigen Rückbau, der Demontage, dem Recycling und der Verwertung von Windenergieanlagen befasst.<sup>75</sup>

## 8. Zusammenfassung

Es gilt abzuwarten, ob der vom Bundeswirtschaftsministerium Ende des Jahres 2019 vorgelegte Aktionsplan zur Steigerung der Windenergie durchsetzbar ist, da die Widerstände in der Bevölkerung vergleichsweise groß sind und eine Trendwende bislang nicht absehbar ist. Allerdings wird zunehmend versucht, den Anliegen der Bevölkerung zu entsprechen. Die herstellenden und betreibenden Familienunternehmen versuchen zunehmend, den Anforderungen, die an sie gestellt werden, gerecht zu werden. So soll zum Beispiel das Dauerblinken der Windräder auf eine bedarfsgerechte Nachtkennzeichnung umgestellt werden.

Laut Umweltbundesamt bietet die Nutzung des Windes als Energiequelle kurz- bis mittelfristig das wirtschaftlichste Ausbaupotenzial unter den erneuerbaren Energien.<sup>76</sup>

---

69 Krack et al. 2017.

70 Bundesverband WindEnergie BWE 2020a.

71 Umweltbundesamt (UBA) 2020h.

72 Statista 2020a.

73 Bundesregierung 2020.

74 DIN SPEC: Eine DIN SPEC (SPEC = specification) ist ein Standarddokument, das unter Leitung von DIN, nach dem PAS-Verfahren (Publicly Available Specification) erarbeitet wird.

75 ICS 27.180; 91.200.

76 Umweltbundesamt (UBA) 2020h.





### III. Recycling

#### 1. Definition

Recycling beschreibt die Nutzung der stofflichen Eigenschaften von Abfällen zur Herstellung von Sekundärrohstoffen.<sup>77</sup> Dabei werden verschiedene Arten von Recycling unterschieden.

Das stoffliche oder funktionelle Recycling umfasst die Wiederverwendung des Produkts ohne Zerkleinerung oder Zerlegung in Einzelbestandteile. Obwohl dieser Ansatz als erster bei der Produktverwertung anzustreben ist, zählt er nicht zum Recycling im klassischen Sinne sondern zur Wiederverwendung.<sup>78</sup>

Das werkstoffliche Recycling von Metallen, Kunststoffen, Glas, Papier und Textilien bedeutet, dass der Abfall nach Aufbereitung und Verarbeitung als Wertstoff für ein neues Produkt genutzt wird (beispielsweise für Kunststoffgranulate, Recyclingpapier oder Glas). Die chemische Struktur des Stoffes bleibt erhalten.<sup>79</sup>

Können die Abfallstoffe auf diese Weise nicht weiterverwendet werden, ist die rohstoffliche Verwertung eine weitere Option. Hierbei wird der Abfall in seine chemischen Bestandteile zerlegt, welche dann wieder als Rohstoffersatz genutzt werden. Für Kunststoffe soll das chemische Recycling die Erschließung neuer, bislang noch nicht werkstofflich verwertbarer Abfälle ermöglichen. Dieses Verfahren ist bislang jedoch noch nicht rentabel.<sup>80</sup>

#### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Die Gewinnung und Verarbeitung natürlicher Ressourcen verursachen circa 50 Prozent der weltweiten Treibhausgase. Ein nachhaltiger Umgang mit Ressourcen trägt vor allem zur Erreichung der umweltschutzbezogenen SDGs (13, 14, 15, 17) und besonders zu SDG 12: „Nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen“ bei.<sup>81</sup>

Die zu erwartenden Treibhausgaseinsparungen tragen unmittelbar zum Schutz des Klimas bei. Der Beitrag einer Kreislaufwirtschaft zum Umwelt- und Klimaschutz wird am Beispiel der **ALBA Group** deutlich. Im Jahr 2019 hat das Unternehmen durch die Kreislaufführung von sechs

---

77 Martens und Goldmann 2016.

78 Bertling et al. 2019, S. 18.

79 Martens und Goldmann 2016.

80 Umweltbundesamt (UBA) 2020c.

81 United Nations Environment Programm (unep) 2019, S. 8f.

Millionen Tonnen Wertstoffen zur Einsparung von 32,3 Millionen Tonnen Primärressourcen und 4,2 Millionen Tonnen Treibhausgasemissionen beigetragen.<sup>82</sup>

Die Europäische Union hat als Baustein des European Green Deals bereits zwei Aktionspläne (2015 und 2020<sup>83</sup>) für die Kreislaufwirtschaft verfasst.<sup>84</sup> Allgemeines Ziel ist es, durch neue kreislaforientierte Geschäftsmodelle in allen Bereichen eines Produktlebenszyklus den Ressourcenverbrauch innerhalb der Europäischen Union zu verringern und die Rate der Verwendung von Sekundärmaterialien zu erhöhen.<sup>85</sup>

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Die Branche der Kreislaufwirtschaft erzielte im Jahr 2017 in Deutschland insgesamt einen Umsatz von 84 Milliarden Euro mit einem Wachstum von circa zwei Prozent pro Jahr und beschäftigt über 310.000 Erwerbstätige.<sup>86</sup> Im Jahr 2017 waren in Deutschland circa 10.700 kommunale und private Unternehmen in den Marktsegmenten der Kreislaufwirtschaft tätig.<sup>87</sup>

Der Bericht „Growth Within“ (2015) geht von einer Steigerung des europäischen Bruttoinlandsprodukts um elf Prozent bis 2030 im Vergleich zum Basisjahr 2012 aus. Ohne die Kreislaufwirtschaft würde das Bruttoinlandsprodukt gemäß der Prognose um nur vier Prozent steigen.<sup>88</sup> Eine Studie der Europäischen Kommission untersuchte, welche Auswirkungen durch die Maßnahmen des Kreislaufwirtschaftsaktionsplans der Europäischen Union auf dem europäischen Arbeitsmarkt zu erwarten sind. Bis zum Jahr 2030 werden netto<sup>89</sup> vermutlich circa 700.000 neue Arbeitsplätze entstehen. Diese werden zum größten Teil im Sektor Abfallmanagement entstehen, um den steigenden Bedarf an Recyclingprozessen inklusive Sammlung, Sortierung, Aufbereitung und Weiterverarbeitung zu decken.<sup>90</sup> Die britische Organisation Waste and Resources Action Programme (WRAP) ermittelte – bezogen auf die Europäische Union – ein Arbeitsplatz-Potenzial der Kreislaufwirtschaft für das Jahr 2030 von 950.000 bis zu 2,48 Millionen zusätzlicher Stellen (in diesem Wert wurde bereits eingerechnet, dass an anderen Stellen dafür Arbeitsplätze wegfallen).<sup>91</sup>

---

82 ALBA Group 2020, S. 5.

83 Europäische Kommission 2020a.

84 Europäische Kommission 2020c.

85 Umweltbundesamt (UBA) 2020g.

86 ASA Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e. V. et al. 2020, S. 81.

87 ASA Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e. V. et al. 2020, S. 71.

88 Ellen MacArthur Foundation 2015, S. 33

89 Der Begriff „netto“ wird verwendet, um darauf hinzuweisen, dass nicht nur Arbeitsplatzgewinne, sondern auch Arbeitsplatzverluste, z. B. durch neue Geschäftsmodelle, berücksichtigt wurden.

90 Europäische Kommission 2018a., S. 39

91 Waste & Resources Action Programme (WRAP) 2015, S. 29.

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 5.620 Unternehmen unter dem Stichwort „Recycling\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021), die einen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft leisten. Davon sind 90 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 62 AGs
- 3.865 GmbHs
- 67 vollhaftende Personengesellschaften
- 855 teilhaftende Personengesellschaften
- 187 Einzelunternehmen

Familienunternehmen greifen neue Technologien auf und bringen sie in die Anwendung. Ein Beispiel hierfür ist das Unternehmen **Interseroh**: Der Einsatz des Kaskaden-Extrusionssystems COREMA® spart im Kunststoffrecyclingprozess Energie und Ressourcen. Interseroh und der Technologiehersteller **EREMA** wurden dafür im Jahr 2019 mit den Plastic Recycling Show Europe Award in der Kategorie „Recycling Machinery Innovation of the Year“ ausgezeichnet.<sup>92</sup>

#### 5. Interview

ALBA Services Holding GmbH/Interseroh Dienstleistungs GmbH, Markus Müller-Drexel, (Geschäftsführer/CEO):

„Die Recyclingwirtschaft in Deutschland ist sehr leistungsfähig. Um das volle Potenzial des Recyclings zu heben, müssen die Rahmenbedingungen so gesetzt werden, dass zum Beispiel Kunststoffkreisläufe wirtschaftlich geschlossen werden können. Verpflichtende Mindesteinsatzquoten für Rezyklate in Produkten würden einen Anreiz und einen Markt schaffen, um vor allem mehr Kunststoffe aus Haushalten (Post-Consumer Abfälle) zu recyceln.“

Die Gesellschaft muss ihren Umgang mit Abfällen verändern und Stoffkreisläufe schließen. Dazu gehört auch die Vermeidung des Eintrags von Kunststoffen in die Meere. Neben der Energiewende ist eine Rohstoffwende notwendig. Der Staat sollte der Wirtschaft in diesem Bereich etwas zutrauen – es muss aber eine Richtung vorgegeben werden (zum Beispiel durch Deponieverbote oder Pfandpflicht). Durch diese Vorgaben entsteht Investitionssicherheit für die Unternehmen. Nötig sind am besten weltweite Vorgaben, damit andere prosperierende

---

*Verändertes  
gesellschaftliches  
Bewusstsein, welt-  
weite Vorgaben  
und Vertrauen  
in die Wirtschaft  
als Grundlage  
für erfolgreiche  
Kreislaufwirtschaft*

---

---

92 Interseroh 2020.

Nationen die Chancen einer Kreislaufwirtschaft nutzen und nicht bisherige Wirtschaftsweisen mit zu hohen Rohstoffverlusten kopieren.

Der Recyclingmarkt in Deutschland ist in Bewegung und neue Akteure erweitern ihre Wertschöpfungsketten. Dazu gehört zum Beispiel die Schwarz-Gruppe, die mit PreZero Dual ein eigenes duales System aufgebaut hat.

Um die Stoffkreisläufe besser zu schließen, muss am Produktdesign und am Trennverhalten gearbeitet werden. Dafür müssen Handel und Industrie als Produzenten genauso wie die privaten Verbraucher bezüglich ihres Trennverhaltens als Akteure gewonnen werden.

## **6. Herausforderungen und Hemmnisse**

Um hohe Recyclingquoten zu erreichen, müssen Herausforderungen, die sich in technologische, ökologische und ökonomische Aspekte unterteilen lassen, gelöst werden.<sup>93</sup>

Eine technische Herausforderung im Recycling ist eine miniaturisierte Produktgestaltung, welche aufgrund von nicht lösbaren Klebeverbindungen oder verschweißten Bauteilen die Demontage erschwert und somit die Reparier- und Rezyklierbarkeit vermindert. Der Einsatz von vernetzten Werkstoffen ist in vielen Anwendungen bislang notwendig, um die erforderliche Stabilität oder Elastizität der Fertigungsprodukte zu erreichen. Diese Vernetzung ist oft irreversibel und erschwert ein werkstoffliches Recycling. Bei Werkstoffen aus gemischten Substanzen stellt die Identifikation und die Heraustrennung der enthaltenen, oft dispersiv verteilten Stoffe ein großes Hemmnis für das werkstoffliche Recycling dar. Auch bei Vielschichtmaterialien ist teilweise eine Trennung der Verbundstoffe nicht möglich.<sup>94</sup>

Ökologische Herausforderungen bestehen im Umgang mit Schadstoffen, die die Recyclingprozesse stören oder erschweren und zudem mit kritischen Emissionen, die bei der Aufbereitung der Stoffe entstehen. Eng verbunden damit ist die rechtliche Herausforderung im Zusammenspiel von Abfall-, Produkt- und Chemikalienrecht. Chemische Inhaltsstoffe können in älteren Chargen unter anderem Stoffe sein, die heute verboten oder streng reguliert sind. Die europäische Kommission arbeitet an der Erreichung einer vollständigen Kohärenz zwischen den Durchführungsvorschriften im Abfall- und Chemikalienrecht.<sup>95</sup> Zusätzlich gilt es zu beachten, dass der Aufwand zur Erzeugung und Weiterverarbeitung des Sekundärrohstoffs den des Primärrohstoffs nicht überschreitet.<sup>96</sup>

---

93 Fraunhofer-Institut UMSICHT 2017b, S. 115f.

94 Fraunhofer-Institut UMSICHT 2017b, S. 115f.

95 Europäische Kommission 2018b.

96 Fraunhofer-Institut UMSICHT 2017b, S. 117ff.

Ökonomische Herausforderungen ergeben sich aus der Gefahr, dass Sekundärrohstoffe im Vergleich zu den Primärrohstoffen wirtschaftlich nicht rentabel genug sind. Dieser Fall kann entweder aufgrund von niedrigen Preisen für Primärrohstoffe oder durch komplexe und aufwendige Recyclingverfahren eintreten.<sup>97</sup>

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Eine Transformation in der Produktgestaltung, welche die Demontage einzelner Bestandteile ermöglicht, steigert die Rezyklierbarkeit. Durch die Substitution vernetzter Werkstoffe und nicht trennbarer Verbundwerkstoffe ergeben sich Innovationspotenziale für physikalisch reversibel vernetzte Werkstoffe, für Verbundwerkstoffe mit der Möglichkeit zur Trennung der Komponenten oder – anstatt gemischter Stoffe – für den Einsatz von Einstoffsystemen. Bei Anwendungen, welche nicht auf Verbundwerkstoffe verzichten können, bedarf es neuer, effizienter chemischer und rohstofflicher Recyclingverfahren. Des Weiteren können Systeme zur lebenszyklusweiten Identifikation von Produkten und deren Materialien zur Steigerung der Rezyklierbarkeit beitragen.<sup>98</sup>

Zusätzlich richtet sich der Blick auf Geschäftsmodelle, die den Wert der Produkte erhalten. Dies fängt beim genannten Produktdesign an (Modularität, Reparaturfreundlichkeit, Updatefähigkeit bei IT-Produkten) und umfasst die Materialwahl (ökologischer Rucksack der Materialien). In der Nutzungsphase tragen Möglichkeiten wie „Product as a service“<sup>99</sup>, „Reuse“, Reparatur oder „Remanufacturing“ und „Refurbishment“ zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft bei. Nach der verlängerten Nutzungsphase folgt das Recycling: Durch recyclingfreundliches Design, verbesserte Erfassung und Sortierung sowie optimierte technische Prozesse können höhere Recyclingquoten erreicht werden. Schadstoffe, zum Beispiel in älteren Produkten, können beispielsweise über die thermische Verwertung ausgeschleust werden.

## 8. Zusammenfassung

Der Sektor Abfall- und Kreislaufwirtschaft ist bereits etabliert und sichert die Entsorgung und das Recycling. Er soll stärker zur Ressourcenschonung und zum Klimaschutz beitragen. Dies fordert unter anderem die Europäische Union, eine entsprechende Gesetzgebung wird dies befördern. Daher werden im Bereich der Kreislaufwirtschaft in den nächsten Jahren Arbeitsplatzgewinne erwartet. Hierzu richtet sich der Blick stärker auf Geschäftsmodelle, die den Wert der Produkte erhalten.

---

97 Fraunhofer-Institut UMSICHT 2017b, S. 118ff.

98 Fraunhofer-Institut UMSICHT 2017b, S. 120f.

99 Unter „Product as a service“ wird verstanden, dass nicht das Produkt verkauft wird, sondern der Nutzer einen Zugang zur Leistung bekommt. Durch „Reuse“ (Wiederverwendung) können Produkte zum Beispiel über Tauschplattformen weitergegeben werden. Das „Remanufacturing“ umfasst die komplette Aufarbeitung des Produkts („wie neu“). Beim „Refurbishment“ werden Produkte wieder in einen guten gebrauchsfähigen Zustand versetzt.

Zur Realisierung einer Kreislaufwirtschaft sind viele Akteure entlang der gesamten Wertschöpfungskette mit Know-how im Produktdesign, Reparatur, Sammlung und Aufbereitungstechnik nötig. Recycling ist damit eine Option, wobei Optionen, die mehr Wert erhalten (zum Beispiel durch Wiederverwendung), zu bevorzugen sind.

Der Markt ist in Bewegung und bietet durch den Wandel zur Kreislaufwirtschaft für Familienunternehmen Zukunftsperspektiven.<sup>100</sup> Gefordert wird dazu allerdings ein systemisches und lebenszyklusübergreifendes Denken.

---

<sup>100</sup> Um die vielfältigen Aspekte der Kreislaufwirtschaft in Familienunternehmen näher zu beleuchten, wird die Stiftung Familienunternehmen im Jahr 2021 eine entsprechende Studie veröffentlichen.





## IV. Biotechnologie

### 1. Definition

Gemäß OECD ist Biotechnologie die Anwendung von Wissenschaft und Technik auf lebende Organismen, Teile von ihnen, ihre Produkte oder Modelle von ihnen zwecks Veränderung von lebender oder nichtlebender Materie zur Erweiterung des Wissensstandes, zur Herstellung von Gütern und zur Bereitstellung von Dienstleistungen.<sup>101</sup> Grundsätzlich handelt es sich um eine klassische Querschnittstechnologie zwischen Biologie, Chemie, Medizin und Ingenieurwissenschaften. Da sich die Anwendungsmöglichkeiten biotechnologischer Verfahren auf die unterschiedlichsten Technologiesektoren erstrecken, hat sich dieses weite Feld in Unterkategorien aufgeteilt.

Zur einfachen Unterscheidung werden die unterschiedlichen Anwendungsgebiete durch Farben gekennzeichnet. Die klassischen Vertreter, die Grüne, Weiße und Rote Biotechnologie, sind relativ geläufige Begriffe. Doch inzwischen gibt es auch Zuordnungen, die bereits die Blaue, Braune, Graue und Gelbe Biotechnologie umfassen. Kurz zusammengefasst beschäftigt sich die Grüne Biotechnologie vor allem mit Pflanzen und Landwirtschaft, die Rote Biotechnologie mit Medizin und Pharmazie, die Weiße Biotechnologie mit industriellen Prozessen. Die Blaue, Graue und Braune Biotechnologie sind Nebenfarben der Biotechnologie und werden gelegentlich mit unterschiedlichen Inhalten in Verbindung gebracht. Die Blaue Biotechnologie, die sich mit der Nutzung von Meeresressourcen befasst, ist mittlerweile etabliert. Üblicherweise beschreibt die Bezeichnung Braune Biotechnologie die Umwelttechnik, die Graue Biotechnologie wird sowohl für den Bereich der Abfallwirtschaft als auch synonym für die Weiße Biotechnologie verwendet.<sup>102</sup>

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Ziel der biotechnologischen Verfahren ist es, umweltfreundliche Wege zur Herstellung oder Verarbeitung oft genutzter und derzeit auf fossilen Rohstoffen basierender Produkte zu bieten (beispielsweise Umweltentlastung durch Produktsubstitution oder auch durch neue, alternative Produkte mit ähnlichen Eigenschaften). Dies umfasst auch in der Natur besser abbaubare Chemikalien. Die Herstellung von Biogas auf Basis von (Rest-)Biomasse (zum Beispiel vergorene Pflanzenreste, Energiemais, Wirtschaftsdünger) zählt ebenso dazu wie die Herstellung von Biokerosin aus Algen oder Biokraftstoff, der aus Stroh gewonnen wird, Kautschuk aus Löwenzahn oder Spinnenseide unter Zuhilfenahme des Bakteriums *Escherichia coli*.<sup>103</sup> Als eher klassisches Beispiel sei hier auch der Zusatz von Enzymen zu Waschmitteln

---

101 Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) 2007.

102 BIONITY.com 2013.

103 Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) 2019.

genannt, mit denen bei Einsatz geringerer Waschmittelmengen oftmals bessere Ergebnisse in Hinblick auf Sauberkeit erzielt werden können als mit herkömmlichen Produkten. Auch in der Medizin basiert die Herstellung vieler Produkte (zum Beispiel Penicillin, diverse Impfstoffe, Medikamente gegen Hepatitis C und zur Behandlung von Multipler Sklerose) ebenso wie im Bereich Life Science in der Nahrungsmittelindustrie (zum Beispiel Bier, Käse, Wein) oder bei der ressourcenschonenden Herstellung von natürlichen Aromen auf biotechnologischen Verfahren<sup>104</sup> und unterstützt gemäß SDG 3: „Gesundheit und Wohlergehen“.

Die beschriebene Förderung nachhaltiger Konsum- und Produktionsmuster folgt direkt dem Anspruch von SDG 12: „Nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen“.

Expert\*innen trauen der Biotechnologie zu, durch Saatgutoptimierung und Synthese von proteinbasierten Lebensmittelimitaten einen erheblichen Beitrag zur Lösung des weltweiten Ernährungsproblems zu leisten. Bereits die ersten beiden SDG 1: „Armut beenden“ und SDG 2: „Ernährung sichern“ fordern derartige Lösungsansätze.

### **3. Märkte und Arbeitsplätze**

Für diesen Bereich belastbare Zahlen zu finden, gestaltete sich herausfordernd. Die MARKUS-Unternehmensdatenbank ergibt weit über 3.000 Treffer, wobei hier auch viele Unternehmen gelistet sind, die sich lediglich am Rande mit Biotechnologie befassen (beispielsweise Logistikunternehmen). Eine Eingrenzung der Suche auf Unternehmen der Forschung und Entwicklung, deren Kerngeschäft die Biotechnologie ist, reduziert die Anzahl auf 1.339 Unternehmen. Gemäß Biocom, einem konzernunabhängigen Verlags- und Fachinformationsunternehmen, das auf die Bereiche Biotechnologie und Life Sciences spezialisiert ist, existierten im Jahr 2018 in Deutschland 679 Biotech-Unternehmen, von denen rund 50 Prozent im Bereich Gesundheit und Medizin tätig sind.<sup>105</sup> Die Anzahl der in diesem Bereich tätigen Unternehmen ist in den letzten zehn Jahren langsam aber beständig gestiegen. Im Jahr 2018 konnten von diesen Unternehmen 4,51 Milliarden Euro umgesetzt werden. Gemäß Bio Deutschland und dem Deutschen Biotechnologie-Report (2020) stieg in den Jahren 2008 bis 2019 die Anzahl der in Deutschland beschäftigten Mitarbeiter\*innen der Biotechnologiebranche von 9.794 auf 33.706, wobei ab dem Jahr 2014 eine erweiterte Definition zugrunde gelegt wurde. Die Zahlen sind daher nur schwer vergleichbar. Innerhalb des Zeitraums der Jahre 2014 bis 2019 verdoppelten sie sich aber dennoch, ein deutlicher Aufwärtstrend ist klar erkennbar.<sup>106</sup>

---

104 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2015.

105 BIOCOM 2019.

106 Ernst & Young GmbH 2020b, S. 43.

Die Bruttowertschöpfung in der gesundheitsrelevanten Biotechnologie wurde für das Jahr 2016 auf 8,8 Milliarden Euro eingeschätzt, dies entsprach einem Wachstum von 5,7 Prozent pro Jahr.<sup>107</sup>

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 3.192 Unternehmen unter dem Stichwort „Biotechnologie\*“ zu finden (Stand 17.02.2021). Davon sind 74 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 100 AGs
- 1.950 GmbHs
- 10 vollhaftende Personengesellschaften
- 282 teilhaftende Personengesellschaften
- 24 Einzelunternehmen

Viele der in dieser Branche angesiedelten Unternehmen sind Global Player und oftmals die Tochterunternehmen von großen, internationalen Firmen. Diese großen Unternehmen folgen dem Trend Biotechnologie und haben entweder entsprechende Abteilungen eingerichtet oder Tochterfirmen gegründet, die biotechnologische Themen bearbeiten. Auch Familienunternehmen haben sich in dieser Branche etablieren können. Dies gilt insbesondere für die Pharma- und Medizintechnikbranche. Wie groß aber deren Einfluss auf die Gesamtentwicklung ist, kann nicht abgeschätzt werden. In der MARKUS-Unternehmensdatenbank finden sich 447 Familienunternehmen im Bereich Forschung und Entwicklung von Biotechnologie mit maximal fünf Gesellschafter\*innen und Firmensitz in Deutschland.

Auch das Familienunternehmen **Sartorius** ist in diesem Bereich angesiedelt. Der weltweit agierende Konzern erwirtschaftete im Jahr 2020 mit über 10.000 Mitarbeitern einen Umsatz von 2,335 Milliarden Euro.<sup>108</sup> Sartorius übernahm im Jahr 2000 die Sparte **B. Braun Biotech International (BBI)** von **B. Braun Melsungen**, einem Hersteller von Fermentern (Bioreaktoren) und Zellkultursystemen. Daraus hervorgegangen ist die Sartorius Stedim Systems GmbH (früher Sartorius BBI Systems GmbH) als Tochterunternehmen der Sartorius Stedim Biotech GmbH, die sich ausschließlich auf biotechnologische Entwicklungen fokussieren.

---

107 BIO Deutschland 2017.

108 Sartorius AG 2020, S. 2.

Ein weiteres Familienunternehmen aus dieser Branche ist die Firma **Phytowelt Green-Technologies GmbH**. Das Unternehmen beschäftigt 30 Mitarbeiter\*innen, widmet sich seit dem Jahr 1998 der Auftragsforschung sowie der Verbesserung und Optimierung von Industrieprozessen und versucht, die Zusammenarbeit von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) der deutschen Biotechnologiebranche zu stärken. Dafür wurde das Familienunternehmen im Dezember des Jahres 2018 mit dem BioTech SME Award als „innovativstes EU Biotech KMU im Bereich Agra BioTech“ ausgezeichnet.<sup>109</sup>

## 5. Interview

Phytowelt GreenTechnologies GmbH, Dr. Peter Welters (CEO):

„Meine Hauptmotivation ist die Überzeugung, das Richtige zu tun, in wissenschaftlich-technischer Hinsicht die besten Lösungen für Nachhaltigkeit und Umweltschutz zu entwickeln als auch im Hinblick auf das Gemeinwohl und den Klimaschutz [...] Unsere Technologie ermöglicht es, die technische Produktion von Rohöl auf nachwachsende Rohstoffe umzustellen. Das bedeutet aber auch, dass Stoffe in größerer Reinheit darzustellen sind. Stoffe, die in ihren chemischen Eigenschaften zwar gleich sind, in ihren biologischen Eigenschaften aber große Unterschiede aufweisen und von vornherein nur diese Form produzieren, die von ihrem Verhalten in der Umwelt und ihrem Körper, also in der Interaktion mit der biologischen Welt, nur die Eigenschaften aufweisen, die wir uns wünschen und keine unbeabsichtigten Nebenwirkungen haben.“

Herr Dr. Welters befürwortet die Forschungsförderung in Deutschland, würde sich aber bessere Förderbedingungen gerade für KMU wünschen. Als hemmend sieht er die aktuelle Gesetzgebung im Bereich Gentechnik, die den Wettbewerb zwischen den Global Playern und den KMU zu Ungunsten der KMU einschränkt und letztendlich die Vielfalt, das heißt die Biodiversität in der Landwirtschaft reduziert. Hinzu kommt aus seiner Sicht der wirtschaftliche Schaden: Entwicklungen und Innovationen werden in Deutschland zurückgehalten und kommen in anderen Ländern (USA, China, Südamerika) auf den Markt. Als aktuelles Beispiel nennt Herr Dr. Welters das Genome Editing, das bereits weltweit angewandt wird, während in Deutschland noch regulatorische Aspekte diskutiert werden.

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Die rasante Entwicklung der Biotechnologie spielt sich zu großen Teilen im Aufmerksamkeits-schatten der Digitalisierung ab. So können zum Beispiel Algorithmen aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz die Anzahl der Labortests stark dezimieren und Entwicklungs- und

---

<sup>109</sup> Assenmacher 2019.

Produktionsprozesse erheblich beschleunigen. Allerdings gelingt es gerade KMU oft nicht, eine/n der raren Bioinformatiker\*innen zu gewinnen.

Die großen Chancen, die Biotechnologie ermöglicht, sind oftmals auch ethischen Fragen und Risikodebatten ausgesetzt, da – zugespitzt formuliert – letztlich die Baupläne der Natur manipuliert werden. Biotechnologie wird von vielen Menschen von zwei unterschiedlichen Seiten betrachtet: Biokunststoff und Biosprit aus Reststoffen stoßen bei der Bevölkerung auf Zuspruch, Laborfleisch und grüne Gentechnik werden hingegen abgelehnt.<sup>110</sup> Mangelnde Akzeptanz erschwert jedoch die Weiterentwicklung dieser Technologie. Um die Akzeptanz zu erhöhen, ist es nach Auffassung der Körber Stiftung und der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften dringend notwendig, die Bevölkerung transparent zu informieren, besser noch, zu integrieren und über den gesellschaftlichen Nutzen von Technologien aufzuklären, da rein ökonomische Ziele hierfür oftmals nicht ausreichen.

## **7. Innovation und Zukunftsperspektiven**

Viele Anwendungen der Biotechnologie basieren auf einem guten Verständnis für die Funktionsweise von Organismen. Durch neue Methoden und Ansätze, wie zum Beispiel der Genomsequenzierung und daran angeschlossene Forschungsbereiche wie der Bioinformatik, werden Erkenntnisse hinzugewonnen, wodurch zusätzliche medizinische Anwendungen möglich werden.

In der Weißen Biotechnologie können bestimmte chemische Verbindungen, zum Beispiel für pharmazeutische Zwecke oder als Grundstoff der chemischen Industrie, erzeugt und Pflanzen für bestimmte Umweltbedingungen oder ihren Nutzungszweck optimiert werden. Typische Beispiele sind Enzyme oder Biokatalysatoren, aber auch Mikroorganismen, die kohlenstoffreiche Abfälle zu Bausteinen der Industrieproduktion umwandeln. Häufig können auch bisherige Anwendungen durch vorteilhaftere biotechnische Verfahren ersetzt werden, wie zum Beispiel umweltbelastende chemische Herstellungsverfahren in der Industrie. Die genannten Anwendungsfelder lassen erwarten, dass sich das Wachstum der Biotechnologie-Branche in Zukunft fortsetzen wird.

## **8. Zusammenfassung**

Biotechnologie hat das Potenzial, aufgrund ihrer vielseitigen Anwendbarkeit zahlreiche Branchen, zum Beispiel durch den Ersatz von fossilen Rohstoffen, zukünftig nachhaltiger zu gestalten.<sup>111</sup> Ob sich biotechnologische Produkte und Verfahren in Deutschland durchsetzen, ist noch ungewiss und zu großen Teilen von der Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber Technologien

---

<sup>110</sup> Weitze und Zilker 2020.

<sup>111</sup> Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) 2019.

und Produkten abhängig. Inwiefern sich die aktuelle Diskussion um mRNA-Impfstoffe im Zuge der Covid-19 Pandemie auf die Einstellung der Gesellschaft auswirkt, bleibt abzuwarten.





## V. Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung

### 1. Wirkungsprinzip

Unter Wasseraufbereitung wird die Anpassung von Rohwasser an die Anforderungen der Trinkwasser- und Nutzwasserverordnung verstanden. Der Begriff Abwasser beschreibt durch häuslichen, gewerblichen, industriellen oder landwirtschaftlichen Gebrauch in seinen Eigenschaften verändertes Wasser sowie das bei Trockenwetter damit zusammen abfließende Schmutzwasser als auch das bei Niederschlägen von bebauten oder befestigten Flächen abfließende Niederschlagswasser.

Je nach Wasserqualität und dem zugrundeliegenden Anforderungsprofil kommen unterschiedliche physikalische, biologische und chemische Verfahrenstechniken zur Reinigung des verunreinigten Wassers (zum Beispiel Keime, Schadstoffe, Eisen, Mangan, Kalk), zur Konditionierung bestimmter Wässer oder zur Rückgewinnung von Wertstoffen zum Einsatz. Dies sind unter anderem Filtration (Grob-, Mikro-, Ultra- und Nanofiltration) sowie Umkehrosmose, Adsorption, Desinfektion, Chlorierung, Entkalkung, Enteisung oder Denitrifikation.

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Wasser ist ein kostbares Gut, daher werden alle Abwässer zunächst von Schmutz und Schadstoffen befreit, bevor sie wieder in den Wasserkreislauf gelangen. Dieses Vorgehen dient als Schutz für die natürlichen Gewässer und für das Trinkwasser. Durch Wasseraufbereitung werden unter anderem die Abwasserent- sowie die Trinkwasserversorgung sichergestellt. Dadurch wird ein Beitrag zu SDG 3: „Gesundheit und Wohlergehen“ sowie zu SDG 6: „Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen“ geleistet.

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Der weltweite Wasser- und Abwassermarkt ist gemäß Frost & Sullivan (F&S) im kommunalen Bereich innerhalb der Jahre 2018 auf 2019 um 6,6 Prozent auf 564,2 Milliarden US-Dollar und im industriellen Sektor sogar um 7,6 Prozent auf 179,51 Milliarden US-Dollar angestiegen. In Europa beträgt die Steigerung 5,4 Prozent (von 44,52 auf 46,94 Milliarden US-Dollar).<sup>112</sup> Innerhalb des Sektors ist eine sukzessive Wandlung von Apparaten und Systemen hin zu Prozesslösungen und Services erkennbar. Die F&S-Studie identifiziert Wasserwiedernutzung, ZeroLiquid Discharge Technologien und Datenanalytik als die wesentlichen Technologietreiber des industriellen Wasser- und Abwassermarkts. Im Bereich des kommunalen Wasser- und Abwassermarkts sind es die Produkte und Verfahren der Digitalisierung (zum Beispiel Information und Kommunikation, Software-Lösungen und Automatisierung) mit einem Wachstum von

---

112 Frost & Sullivan 2019c, S. 19ff.

21,4 Prozent (2018) auf 22,87 Milliarden US-Dollar Marktanteil im Jahr 2019, die zukunftsweisende technologische Innovationen erwarten lassen.

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 1.960 Unternehmen unter den Stichworten „Wasseraufbereitung\*“ und „Abwasserbehandlung\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 87 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 27 AGs
- 1.323 GmbHs
- 11 vollhaftende Personengesellschaften
- 258 teilhaftende Personengesellschaften
- 87 Einzelunternehmen

Im Jahr 2019 waren im Bereich Wasseraufbereitung/Abwasserbehandlung 27.436 Mitarbeitende in den Rechtsformen AG, GmbH, voll- und teilhaftende Personengesellschaften sowie Einzelunternehmen beschäftigt.

Ein Beispiel ist die Firma **Cornelsen Umwelttechnologie GmbH**, die im Jahr 2001 in Essen gegründet wurde und dort aktuell 25 Mitarbeitende beschäftigt (dazu zählen unter anderem vier Auszubildende). Weitere 15 Mitarbeitende sind in einem Tochterunternehmen in Großbritannien tätig. Das große Innovationspotenzial dieses Familienunternehmens zeigt sich durch elf Patentanmeldungen sowie durch den vom Netzwerk ZENIT e.V. ausgeschriebenen Innovationspreis, den Cornelsen 2018 erhielt.<sup>113</sup>

Ein weiteres Beispiel ist das Familienunternehmen **WILO SE**, ein in Dortmund ansässiges Familienunternehmen, das sich über die Jahre mit 8.000 Mitarbeitenden weltweit und über 200 Patentanmeldungen zu einem Global Player entwickelt hat. WILO SE erhielt im Jahr 2020 den Preis des F.A.Z.-Institutes in Zusammenarbeit mit dem IMWF Institut für Management und Wirtschaftsforschung als eines der besten Familienunternehmen Deutschlands.<sup>114</sup>

---

113 Zenit 2018.

114 Hoffmann 2020.

## 5. Interview

Cornelsen Umwelttechnologie GmbH, Martin Cornelsen (Geschäftsführer):

„Gerade bei kleinen Unternehmen ist es wichtig, ‚Überzeugungstäter‘ zu sein. [...] Ich bin aber sehr positiv, was unsere Forschungsstruktur angeht, finde auch die Förderinstrumente im Allgemeinen sehr gut, gerade hier in NRW, wer sich beklagt, dass wir hier keine Förderinstrumente hätten, der hat sich überhaupt noch nicht orientiert, da staunen manche anderen Bundesländer nur, was NRW seit Jahr und Tag auf die Reihe kriegt [...], aber manches ist, wie schon erwähnt, zu bürokratisch, zu overloaded, was die ganzen Rahmenbedingungen angeht.“

Herr Cornelsen betonte, wie wichtig auch gerade die Beiträge kleinerer Unternehmen sind und bedauerte, dass zwar eine Förderung zur Innovationsentwicklung angeboten wird, aber bei der anschließenden Phase der Markteinführung keine Unterstützung angeboten würde. Gerade diese Phase erfordere aber fast immer einen extrem großen Zeit- und Arbeitsaufwand, was mit hohen Kosten gleichzusetzen ist.

Die Firma Cornelsen ist sehr aktiv auf dem Gebiet der Entfernung von perfluorierten Tensiden aus verschiedenen Wässern. Diese Tenside wurden bis zu ihrem Verbot unter anderem häufig in Löschschäumen eingesetzt. Das Familienunternehmen entwickelt hierzu spezielle Verfahren und setzt diese gezielt zur Wasseraufbereitung ein. „Ich darf ja auch bei der IPEN mitarbeiten; das bedeutet International POP<sup>115</sup> Elimination Network, eine sehr interessante Umweltschutzorganisation, die sich das Ziel gesetzt hat, die Verbreitung, Produktion und Anwendung dieser POP-Stoffe anzugehen [...]. Das Zusammenführen von Praxis, Forschung, Behörden und Politik ist auf jeden Fall ein guter Weg.“

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Eine der großen Herausforderungen bei vielen Familienunternehmen dieser Branche ist die Digitalisierung. So muss auch der ländliche Raum innerhalb der unterschiedlichen Digitalisierungsstrategien der einzelnen Bundesländer adäquat integriert werden (Stichworte: Mobilfunkabdeckung und Breitbandausbau). Zudem muss gemeinsam mit der Wasserwirtschaft die IT-Sicherheit großer Abwasseranlagen – die zur kritischen Infrastruktur zu zählen sind – entwickelt werden. Mindestsicherheitsstandards sollten auch von KMU eingehalten werden können.<sup>116</sup>

---

115 POP = persistent organic pollutants/persistente organische Schadstoffe.

116 Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) 2017.

Als weitere Herausforderungen in der Wasserwirtschaft gelten die Konkurrenz um Wasser zwischen Mensch und Natur, wodurch eine hohe Steigerung der Wassernutzungseffizienz entsteht, sowie die Notwendigkeit, die existierende Wasserinfrastruktur durch Sanierung und Modernisierung zu erhalten und Wasserverluste zu vermeiden beziehungsweise an neue Rahmenbedingungen (zum Beispiel demografischer Wandel, Klimawandel) anzupassen.<sup>117</sup>

Auch die zunehmend besser werdende chemische Analytik wird zur Herausforderung: Es werden immer mehr Schadstoffe im Wasser nachweisbar, die es anschließend zu entfernen gilt. So müssen neuartige Methoden entwickelt werden, um neu nachweisbare Substanzen aus dem Wasser abzutrennen. Dies ist aber gerade aufgrund der oft niedrigen Konzentrationen der Schadstoffe eine herausfordernde Aufgabe.

Ebenfalls ein Hemmnis sind die Hürden bei der Markteinführung neuer Innovationen, insbesondere im Falle erklärungsbedürftiger Technologien. In diesem Bereich finden die Familienunternehmen kaum Unterstützung. Sie sind auf sich allein gestellt, die relevanten Behörden zu kontaktieren, zu überzeugen und ihre Produkte zu platzieren. Dies kostet viel Zeit und ist gleichbedeutend mit hohem finanziellen Aufwand.

## **7. Innovation und Zukunftsperspektiven**

Die in dieser Branche ansässigen Familienunternehmen tragen eine große Verantwortung und müssen immer wieder neue Methoden zur Wasserreinigung entwickeln und in bestehende Verfahren integrieren. Der Wasserbedarf wird perspektivisch nicht sinken, aber die Ressource Wasser wird knapper, sodass dieser Branche eine große und sogar noch wachsende Bedeutung zukommt. Dies gilt für den kommunalen Bereich und vor allem auch für ausländische Märkte. Auch die Digitalisierung bietet Chancen für zahlreiche Innovationen zur Steigerung von Effizienz und Resilienz, wie zum Beispiel Predictive Maintenance, KI-Steuerungen oder Digitale Zwillinge (vgl. Steckbrief XV zur Digitalisierung).

Die europäische und deutsche Gesetzgebung treibt zudem mit immer neuen Grenzwerten und der Aufnahme neuer Substanzen in die Liste kritischer Spurenstoffe technische Innovationen – zum Beispiel in der Membrantechnik, Adsorptionstechnik und den oxidativen Aufbereitungsverfahren – in der kommunalen und industriellen Wasser- und Abwassertechnik voran.

## **8. Zusammenfassung**

Der Bereich der Wasseraufbereitung/Abwasserbehandlung ist für die Zukunft gut aufgestellt, das heißt, dass die Branche den auf sie zukommenden Anforderungen gelassen entgegenblickt.

---

<sup>117</sup> Hillenbrand et al. 2013, S. 59.

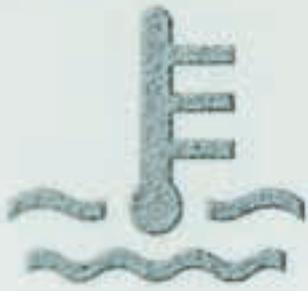
Da die Ressource Wasser im Zuge der weltweit fortschreitenden Industrialisierung immer relevanter wird, erscheinen die Arbeitsplätze innerhalb dieser Branche langfristig gesichert. Familienunternehmen haben sich in dieser Sparte gut positioniert und zeichnen sich zudem durch eine große Innovationsfähigkeit aus.

Die zugrundeliegende Technik ist weitgehend ausgereift; weitere Innovationsimpulse sind von der Digitalisierung, wie zum Beispiel Predictive Maintenance, Smart Meter und Machine Learning zu erwarten. Diese werden zunehmend im Bereich der industriellen Abwasserreinigung eingesetzt. Vor allen in den Industrienationen ist die Eliminierung von Mikroverunreinigungen wie zum Beispiel Medikamentenrückständen oder Mikroplastik ein Treiber für neue verfahrenstechnische Innovationen.

---

*Industrielle  
Abwasserreinigung  
kann durch die  
Digitalisierung  
Innovationsimpulse  
erhalten*

---



H

C

## VI. Wärmepumpen

### 1. Wirkungsprinzip

Zugrunde liegt der Technik einer Wärmepumpe der Joule-Thomson-Effekt, demzufolge sich ein Gas durch Kompression erwärmt und bei Druckminderung wieder abkühlt. Die Wärmepumpe entzieht ihrer Umgebung (Wasser, Luft, Erde) Wärme und gibt diese dann wieder ab. Sie besteht in der Regel aus einem Verdampfer, einem Kompressor, einem Kondensator und einem Ventil. In der Wärmequellenanlage zirkuliert eine Flüssigkeit, in der Regel ein mit Frostschutzmittel versetztes Wasser. Diese Flüssigkeit nimmt Wärme aus ihrer Umgebung auf und transportiert sie über einen Wärmetauscher zu einem Kältemittelkreislauf. Das Kältemittel verdampft nun durch die eingebrachte Wärme und wird in der Folge durch den Kompressor wieder verdichtet und damit auf ein höheres Temperaturniveau angehoben.

In einem zweiten Wärmetauscher, dem Verflüssiger, wird das unter hohem Druck stehende, heiße Kältemittelgas nun kondensiert, wobei es seine Wärme wieder abgibt. Durch das Entspannungsventil, die sogenannte Drossel, wird das wieder flüssige und entspannte Kältemittel zum Verdampfer zurückgeführt. Die abgegebene Wärme wird an ein Heizmedium (in der Regel handelt es sich um Wasser) weitergegeben. Luftwärmepumpen arbeiten nach einem ähnlich Prinzip: Diese saugen die Außenluft über einen Ventilator an und führen so der Wärmepumpe die Umgebungswärme zu.

Wärmepumpen arbeiten umso effizienter, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und dem Heizsystem ist, weshalb Grundwasser oder das Erdreich die überwiegend besseren Wärmequellen – verglichen mit Luft – sind. Diese Medien verfügen über eine relativ hohe und stabile Durchschnittstemperatur. Für ihren Betrieb benötigen Wärmepumpen Strom.<sup>118, 119, 120</sup>

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Auf Heizung und Warmwasser entfallen mehr als 80 Prozent des Energieverbrauchs in deutschen Haushalten.<sup>121</sup> Die Wärmepumpentechnologie macht Umweltenergie für Heizzwecke nutzbar. Da sie je nach Energiequelle bis zu 80 Prozent Energie aus der Umwelt verwertet, die von der Natur immer wieder erneuert wird, zählt sie zu den erneuerbaren Energien. Neben Wasser, Luft und Erde können auch Abwärme aus Abluft oder Abwasser als Wärmequellen genutzt werden. Durch den Einsatz von Wärmepumpen kann auf fossile Brennstoffe verzichtet

---

118 Endres 2018.

119 Nguyen 2020.

120 Hegglin (o.J.).

121 Endres 2018.

werden. Da keine Verbrennung stattfindet, wird auch kein CO<sub>2</sub> emittiert. 25 Prozent der benötigten Heizenergie werden durch reinen Strom beigetragen; wenn aber Wärmepumpen mit ökologisch erzeugtem Strom betrieben werden, fällt ihre Umweltbilanz positiv aus.

Auch bei den eingesetzten Kältemitteln gibt es Unterschiede: Die ehemals vor allem in Kühlschränken eingesetzten FCKW sind bereits seit dem Jahr 1995 verboten,<sup>122</sup> weitere Einschränkungen traten im Januar des Jahres 2020 in Kraft.<sup>123</sup> Mittlerweile werden umweltfreundlichere, nicht halogenierte Kältemittel wie CO<sub>2</sub>, Propan, Propen, Ammoniak oder auch Butan eingesetzt.<sup>124, 125</sup>

Die Technologie der Wärmepumpen liefert einen direkten Beitrag zu SDG 7: „Bezahlbare und saubere Energie“ und SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“.

### **3. Märkte und Arbeitsplätze**

Da Entwicklung und Einbau von Wärmepumpen nicht nur von quantifizierbaren spezialisierten Wärmepumpenherstellern erfolgen, sondern vielfach von Elektrofachfirmen durchgeführt werden, ist es nicht möglich, belastbare Arbeitsplatzzahlen zu finden, die sich ausschließlich auf diese Technologie beziehen. Stattdessen werden hier die Absatzzahlen von Wärmepumpen betrachtet, die eine gute Übersicht über die wirtschaftliche Situation bieten.

Der Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie erfasst jährlich den Jahresabsatz an Wärmeerzeugern. Demnach hat sich der Heizungsmarkt in Deutschland im vergangenen Jahr um zwei Prozent gesteigert – auf 748.000 Wärmeerzeuger. Der Marktanteil der Wärmepumpen lag bei 11,5 Prozent (dies entspricht 86.020 Stück) und konnte sich damit um zwei Prozent im Vergleich zum Vorjahr steigern. Im Jahr 2009 lag er noch bei 8,6 Prozent (dies entspricht 54.868 Stück). Zu den Heizungswärmepumpen zählen Luft/Wasser-Wärmepumpen sowie erdgasgekoppelte Wärmepumpen.<sup>126</sup>

Der Trend ist – nicht zuletzt aufgrund der Förderung, die beim Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) und/oder bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) beantragt werden kann<sup>127</sup> – ungebrochen. Deshalb dürften die Arbeitsplätze in diesem Sektor als relativ gesichert gelten.

---

122 Schnepel 2009.

123 Europäische Union 2014.

124 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2018a.

125 Endres 2018.

126 HeizungsJournal 2020.

127 Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) 2019.

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 1.754 Unternehmen unter dem Stichwort „Wärmepumpe\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 88 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 7 AGs
- 1.192 GmbHs
- 23 vollhaftende Personengesellschaften
- 217 teilhaftende Personengesellschaften
- 96 Einzelunternehmen

Das Familienunternehmen mit dem größten Umsatz ist laut MARKUS-Unternehmensdatenbank die Firma Bosch. In der Patentdatenbank PatBase werden unter den Suchkriterien „Bosch“ AND „Wärmepumpe“ insgesamt 710 Treffer angezeigt. Die Patentschriften beziehen sich auf die verschiedenen Einsatzgebiete von Wärmepumpen, wie zum Beispiel Warmwasserspeicher, Heizanlagen, Wäschetrockner oder Luftkonditionierer. Diese vergleichsweise hohe Zahl an Patenten ist ein Anzeichen für eine ausgeprägte Innovationsfähigkeit der Unternehmen, die in diesem Bereich tätig sind. Eines davon ist das Familienunternehmen **Viessmann**.

#### 5. Interview

Viessmann Werke GmbH & Co. KG, Jan Hofmann (Director Strategy):

Herr Hofmann erklärt das Leitbild des Familienunternehmens Viessmann: Ziel ist es, Lebensräume für zukünftige Generationen zu schaffen! Viessmann ist ein Familienunternehmen in der vierten Generation, das sich seit mehr als 100 Jahren mit Aspekten des Themas „Wärme“ im privaten wie auch im gewerblichen Bereich befasst. Das Unternehmen erwirtschaftet damit einen Umsatz von rund 2,7 Milliarden Euro pro Jahr und hat Nachhaltigkeit eindeutig zu einem Unternehmensziel erklärt. Dies bedeutet, dass Viessmann bis zum Jahr 2050 CO<sub>2</sub>-Neutralität erreichen möchte und bereits seit dem Jahr 2012 ununterbrochen innerhalb der Klimaschutzziele liegt. Dies betrifft sowohl die Bürogebäude als auch den Fertigungsstandort. Die Erzeugung von Wärme (inklusive Prozesswärme) ist für rund 40 Prozent des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes verantwortlich. Die Technologie der Wärmepumpe kann zu den Nachhaltigkeitsbemühungen beitragen, den Klimawandel zu verzögern, da sie extrem effizient und ressourcenschonend ist und somit Teil der Gesamtlösung sein kann.

Hilfreich, um das Familienunternehmen weiterhin gut zu positionieren, ist auf jeden Fall Berechenbarkeit; ein Unternehmen kann vieles realisieren, aber dazu müssen die Dinge – vor allem auch die politischen Rahmenbedingungen – planbar sein. Wünschenswert wäre auch ein Zusammenbringen von Expertise verschiedener Fachrichtungen. Durch eine intensive Zusammenarbeit verschiedener Sparten kann eine größere Innovationsfähigkeit geschaffen werden. Vereinfacht werden könnte das durch einheitliche – im besten Fall sogar weltweit einheitliche – Standards. Darüber hinaus ist es wichtig, ein Bewusstsein beim Verbraucher zu schaffen, dass wirklich jeder einen Beitrag leisten kann/muss. Dazu muss der Wärmebereich aber noch mehr in den Fokus gerückt werden. Um erfolgreich sein zu können, ist es notwendig, dass eine gemeinsame, partnerschaftliche Verantwortung von Hersteller und Installateur besteht.

Digitalisierung ist in der Produktion bislang noch nicht übermäßig wichtig, aber da Wärmepumpen in die Smart Home-Oberfläche bestens integrierbar sind, ist die Zukunft ohne Digitalisierung kaum noch vorstellbar. Da sich gerade Familienunternehmen durch eine große Umsetzungsstärke und eine schnelle Entscheidungsfindung auszeichnen, nimmt Viessmann die Digitalisierung als Chance wahr. Und das auch und gerade im Kontakt zu den wichtigsten Stakeholdern, die als die Endkund\*innen beziehungsweise Anlagenbetreiber\*innen, Partner\*innen (also ausführende Installationsbetriebe), politische Entscheidungsträger\*innen und nicht zuletzt als Mitarbeitende identifiziert werden.

Zitat: „Was macht uns (Viessmann als Familienunternehmen) aus? [...] Das ist die extreme Überzeugung für die Sache. [...] Das Thema treibt uns an und wir haben ein gemeinsames Ziel!“

## **6. Herausforderungen und Hemmnisse**

Entscheidend für die Beurteilung der Nachhaltigkeit von Wärmepumpen ist die Jahresarbeitszahl (JAZ). Sie gibt an, wie effizient eine Wärmepumpe in der Praxis arbeitet und wie viel Wärme aus einer Kilowattstunde Strom erzeugt werden kann. Eine effiziente Anlage weist eine JAZ von 3,0 bis 4,5 auf. Bei Erreichung einer Mindest-JAZ kann beim BAFA oder bei der KfW eine staatliche Förderung beantragt werden (die geforderten Mindest-JAZ sind abhängig von der Art der Wärmequelle<sup>128</sup>). Die Förderung kann bis zu 35 Prozent der förderfähigen Kosten betragen und führt zu einer deutlich niedrigeren Amortisationszeit der Anlagen.<sup>129</sup> Erdwärmepumpen, die mit Erdkollektoren ausgestattet sind, haben den Nachteil, dass sie etwa das 1,5- bis 2-fache der Fläche einnehmen, die beheizt werden soll. Im Gegensatz zu horizontal verlegten Erdwärmepumpen beanspruchen Pumpen mit Sonden weniger Fläche. Dafür sind aufwendige Tiefenbohrungen erforderlich, für die vorab eine Genehmigung eingeholt werden

---

128 Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) 2020.

129 Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) 2019.

muss. Für den Einbau einer Grundwasserwärmepumpe ist ebenfalls eine Genehmigung für die Installation einer Grundwasserpumpe nötig. Grundsätzlich ausgeschlossen ist dies in Wasserschutzgebieten.<sup>130</sup>

Der Wärmepumpen-Strompreis ist derzeit im Durchschnitt deutlich teurer als Strom für Heizungen mit fossilen Heizenergieträgern (Heizöl, Erdgas) oder Pellets. Das liegt vor allem an staatlich regulierten Preisbestandteilen wie EEG-Umlage, Netzentgelten und Steuern, mit denen die meisten anderen Heizenergieträger nicht belastet werden. Diese machen fast 70 Prozent des Preises aus.

Die Agora-Studie zur Wärmewende spricht von einer Wärmepumpenlücke: In Trendszenarien werden bis zum Jahr 2030 rund zwei Millionen Wärmepumpen installiert – gebraucht werden aber zur Einhaltung der Klimaziele schätzungsweise fünf bis sechs Millionen Wärmepumpen.<sup>131</sup> Bislang ist nur bei Neubauten über 50 Quadratmetern Wohnfläche gesetzlich vorgeschrieben, dass ein Teil der benötigten Wärme aus erneuerbaren Energien stammen muss.<sup>132</sup> Um das Ziel zu erreichen, sollten Wärmepumpen jedoch nicht nur in Neubauten, sondern auch in Altbauten frühzeitig installiert werden.<sup>133</sup>

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Der Bund der Energieverbraucher konstatiert, dass die politisch gewollten Wärmepumpen zwar viele Vorteile aufweisen, aber die Datenblatt-Leistungsangaben von Wärmepumpen in der Praxis fast nie erreicht werden. Zudem würden häufig Einbaufehler die gute Absicht zunichtemachen: Eine Umfrage zur Fehlerhäufigkeit bei der Planung und Ausführung von Wärmepumpen bei Sachverständigen kam zu dem Ergebnis, dass sich fast ein Drittel der geprüften Anlagen als irreparabel erwiesen, die Hälfte der Probleme bereits in den ersten beiden Jahren auftauchten und die Kosten der Mängelbeseitigung im Durchschnitt 13.000 Euro betragen. Die Autor\*innen fordern unter anderem eine bessere Schulung der entsprechenden Planer\*innen und Handwerker\*innen.<sup>134</sup> Dies liegt im allgemeinen Interesse, weswegen dieser Technologie – insbesondere in Verbindung mit dem Einsatz erneuerbarer Energien – eine sehr gute Zukunft in Aussicht gestellt wird.<sup>135, 136, 137, 138</sup>

---

130 Bauratgeber Deutschland 2020.

131 Fraunhofer-Institut IWES und Fraunhofer-Institut IBP 2017.

132 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020c.

133 Fraunhofer-Institut IWES und Fraunhofer-Institut IBP 2017.

134 Auer et al. 2019.

135 energie Zukunft – Das Portal für Erneuerbare Energien und die bürgernahe Energiewende 2019.

136 Stawiarski (o.J.).

137 Brumme 2019.

138 Hegglin (o.J.).

---

*Wärmepumpen  
können den  
Einsatz fossiler  
Energieträger stark  
vermindern*

---

## **8. Zusammenfassung**

Durch Vorgaben, Förderung und sonstige finanzielle Anreize sind Wärmepumpen im Trend. Die zugrundeliegende Technik ist bereits ausgereift, die technische Umsetzbarkeit weit fortgeschritten, nun will die Branche noch größeren Wert auf Fortbildungen der Planer\*innen und der Installateur\*innen legen, um die technische Umsetzung zu verbessern. Die Zukunftsaussichten sind vielversprechend, da es sich um eine sehr saubere Technologie handelt und durch den Einsatz von Wärmepumpen der Einsatz fossiler Energieträger stark vermindert werden kann. Zudem ist sie ein zentrales Instrument zur Sektorenkopplung.





## VII. Batterien

### 1. Definition

Batterien sind elektrochemische Energiespeicher und weisen eine große Bandbreite auf, von Kleinstanwendungen in Smartphones bis zu großen stationären Systemen zur Stabilisierung des Stromnetzes. Der vorliegende Technologiesteckbrief fokussiert Lithium-Ionen-Batterien beziehungsweise -Akkumulatoren, die beispielsweise in Elektrofahrzeugen eingesetzt werden. Lithium-Ionen-Batterien gehören zur Gruppe der Sekundärzellen, welche durch die Wiederaufladbarkeit der elektrochemischen Energiespeicher gekennzeichnet ist.<sup>139</sup> Die Lebensdauer eines Batteriespeichers wird in Lebenszyklen gemessen, welche zwischen 100 und bis mehrere Tausend zählen können. Im Vergleich zu anderen wiederaufladbaren Batteriesystemen wie beispielsweise Blei-Säure-Batterien weisen Lithium-Ionen-Batterien eine höhere Energiedichte auf. Das heißt, sie besitzen eine höhere Kapazität zur Speicherung von Energiemengen.<sup>140</sup> Die Energiedichte beeinflusst wiederum das Eigengewicht und das Gehäusevolumen. Je größer die Energiedichte, desto leichter beziehungsweise kleiner fällt der Akkumulator aus. Bei elektrisch betriebenen Fahrzeugen werden bevorzugt Lithium-Ionen-Akkumulatoren eingesetzt, um eine größtmögliche Reichweite zu erzielen.

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Elektrofahrzeuge, die mit Lithium-Ionen-Akkumulatoren betrieben werden, verursachen während ihrer Nutzung keinen CO<sub>2</sub>-Ausstoß oder andere Luftschadstoffe wie Feinstaub und Stickoxide. Betrachtet man die gesamte Lebensdauer der Batterie, das heißt einschließlich ihres Herstellungsprozesses, besitzen Elektrofahrzeuge der Kompaktklasse nach einer Gesamtfahrleistung von 150.000 Kilometern laut einer Modellrechnung des Instituts für Energie und Umweltforschung (ifeu) gegenüber benzinbetriebenen Fahrzeugen der Kompaktklasse eine 24-prozentige Emissionsverminderung und gegenüber dieselbetriebenen eine 16-prozentige.<sup>141</sup> Geht man von dem Szenario einer fortschrittlichen Batterieentwicklung hinsichtlich einer höheren Energiedichte im Zusammenspiel mit der Verwendung von CO<sub>2</sub>-ärmeren Strom bei der Herstellung aus, könnte sich die Emissionsminderung im Jahr 2030 auf 41 beziehungsweise 35 Prozent belaufen.<sup>142</sup> Lithium-Ionen-Akkumulatoren besitzen somit eine Schlüsselfunktion zur Erreichung des SDG 11: „Nachhaltige Städte und Gemeinden“. Werden zusätzlich erneuerbare Energien über die Lithium-Ionen-Batterien gespeichert, werden zudem SDG 7: „Bezahlbare und saubere Energie“ und SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“ unterstützt. Der Einsatz von Lithium-Ionen-Batterien trägt maßgeblich zur Sektorenkopplung zwischen dem Stromsektor und der Mobilität bei.

---

139 VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. 2015, S. 2.

140 Manthiram 2020, S. 1.

141 Agora Verkehrswende 2019a, S. 9.

142 Agora Verkehrswende 2019a, S. 10.

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Seit Anfang der 1990er Jahre weisen Lithium-Ionen-Batterien auf dem globalen Markt ein fast exponentielles Wachstum auf.<sup>143</sup> Die Wachstumsprognosen sind eng verknüpft mit den ansteigenden Verkaufszahlen von Elektrofahrzeugen. Im Jahr 2019 waren weltweit 7,2 Millionen Elektroautos zugelassen und damit über zwei Millionen mehr als im Vorjahr.<sup>144</sup>

Ein Grund für die steigende Kaufnachfrage nach Elektroautos ist auch die Preisreduktion von Lithium-Ionen-Akkumulatoren. Kosteten diese im Jahr 2010 noch 600 Euro pro Kilowattstunde, wird der Preis laut Schätzungen bis zum Jahr 2025 auf 83 Euro pro Kilowattstunde sinken.<sup>145</sup>

In Deutschland erwirtschaftete die Batteriebranche im Jahr 2020 einen Umsatz von rund 4,7 Milliarden Euro.<sup>146</sup> Unter diese Branche fällt auch die Herstellung von Akkumulatoren. Nach Schätzungen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) wird sich der weltweite Bedarf an mobilen und stationären Stromspeichern bis zum Jahr 2030 verzehnfachen.<sup>147</sup> Die Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien von derzeit jährlich 200 Gigawattstunden wird sich laut Expert\*innenmeinungen im selben Jahr auf 2.000 Gigawattstunden erhöhen.<sup>148</sup>

Laut Melderegister des Batteriegesetzes (BattG) waren im August 2020 circa 8.000 Batteriehersteller auf dem deutschen Markt tätig.<sup>149</sup> Dabei entfallen aufgerundet 83 Prozent auf Hersteller von Gerätebatterien, 13 Prozent auf Industriebatterien, zu denen auch die in Elektro- und Hybridfahrzeugen zum Vortrieb eingesetzten Akkumulatoren zählen, und fünf Prozent auf Fahrzeugbatterien für Anlasser, Beleuchtung und Zündung.

Die Anzahl der Beschäftigten in der Batteriebranche betrug im Jahr 2010 6.041 und im Jahr 2020 10.867 Personen.<sup>150</sup>

### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 1.458 Unternehmen unter dem Stichwort „Batterie\*“ zu finden (Stand: 27.11.2020). Davon sind 88 Prozent gemäß dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

---

143 Luber et al. 2018, S. 39.

144 International Energy Agency (IEA) 2020, S. 40.

145 Horváth & Partners 2020, S. 15f.

146 Statista 2020d.

147 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2018b, S. 2.

148 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.)a.

149 Umweltbundesamt (UBA) 2020d.

150 Statistisches Bundesamt (Destatis) 2020.

- 21 AGs
- 996 GmbHs
- 24 vollhaftende Personengesellschaften
- 165 teilhaftende Personengesellschaften
- 77 Einzelunternehmen

Ein Beispiel ist das Unternehmen **HOPPECKE Batterien GmbH & Co. KG**. Das seit 1927 bestehende Familienunternehmen ist der größte Hersteller von Industriebatteriesystemen in Europa. In vierter Generation im Besitz der Familie Zoellner ist das Familienunternehmen in den Anwendungsbereichen emissionsfreie Antriebe, abgesicherte Stromversorgung, Speicherung regenerativer Energien sowie Bahn- und Metrosysteme tätig.

## 5. Interview

Accumulatorenwerke HOPPECKE Carl Zoellner & Sohn GmbH, Ludwig Merz (Interne Strategieberatung):

Das Familienunternehmen Hoppecke will mit seinen Blei-Batterien (und mit dem neu gegründeten Schwesterunternehmen Intilion seit 2019 auch mit Lithiumbatterien) elektrische Energie für jeden und überall zur Verfügung stellen. Der Vorteil der Blei-Technologie liegt in dem Vorhandensein eines kompletten Recyclingkreislaufs. Dieser ist für die Lithiumtechnologie heute noch nicht vollständig leistbar. Wenn Recycling aber technisch machbar ist, muss dies auch regulatorisch europaweit gefordert werden. Was dem Markt fehlt, ist eine bessere Förderung für neue Produkte und darauf aufbauend für neue Geschäftsmodelle.

„Wir machen elektrische Energie für jeden und überall verfügbar. [...] Im Bereich Lithium wird ja heute auch viel über das Thema Recycling diskutiert und bei den Blei-Batterien ist dies bereits seit Jahren gelöst und deswegen sehen wir schon, dass die Technologie der Blei-Batterie eine gewisse Relevanz hat und auch behalten sollte. [...] Wir brauchen für beide Technologien den kompletten Kreislauf!“

Herr Merz sieht in der Batterietechnologie einen wichtigen Baustein für die Energiewende. Diesbezüglich haben sowohl Blei- als auch Lithiumbatterien ihre Daseinsberechtigung, da sie in unterschiedlichen Bereichen eingesetzt werden (Blei tendenziell in stationären Anwendungen, Lithium beispielsweise innerhalb des Bereichs Automotive). Die Digitalisierung birgt weiteres Anschubpotenzial für die Branche, da durch die Einführung des 5G-Standards auch die Anforderungen an die Verfügbarkeit von Energie steigen. Digitalisierung spielt ebenfalls eine Rolle für Remote-Services, also der Distanz-Überwachung von Batterien aus der

Entfernung und für den Bereich Predictive Maintenance. Die Nutzung des digitalen Zwillings von Batterien, um beispielsweise das Alterungsverhalten zu simulieren, steckt dagegen noch in den Kinderschuhen.

Einer der wichtigsten Stakeholder ist die Politik. Sie beeinflusst und lenkt die Energiewende und öffnet neue Märkte. Ebenso wichtig sind Kund\*innen, die Vertrauen in die neuen Technologien setzen. Verlässliche Lieferanten sind darüber hinaus genauso bedeutend wie die öffentliche beziehungsweise veröffentlichte Meinung. Der Banken-Sektor, der potenzielle Innovationen (vor-)finanziert, ist ebenfalls von Relevanz.

Herr Merz geht von einer positiven Entwicklung im Bereich „Energiespeicher“ aus und stützt seine Meinung auf aktuelle Marktprognosen. Den großen Vorteil von Familienunternehmen, um erfolgreich agieren zu können, sieht er in einer sehr guten Kommunikation innerhalb des Unternehmens und weniger Druck von externen Stakeholdern.

## **6. Herausforderungen und Hemmnisse**

Der Abbau von Rohstoffen wie Lithium, Kupfer oder Kobalt, die für die Herstellung von Lithium-Ionen-Batterien benötigt werden, birgt Konflikte mit Umweltbelangen und Arbeitsstandards in Abbaugebieten wie Chile, Bolivien oder der DR Kongo.<sup>151, 152</sup> Für den Abbau von Lithium oder Kupfer betreffen diese vor allem Nutzungskonflikte mit Wasserressourcen. Fehlende Umwelt- und Sicherheitsstandards innerhalb des Kleinbergbaus zur Kobalt-Förderung bergen für die dortig prekär Beschäftigten oftmals hohe gesundheitliche Risiken.<sup>153</sup>

Mit Hilfe physikalischer und chemischer Verfahren können mineralische Rohstoffe wie Kobalt und Nickel zu einem großen Teil wiederverwendet werden. Laut Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) beträgt der derzeitige Sekundäranteil von Kobalt und Nickel an der weltweiten Produktion steigerungsfähige zehn Prozent.<sup>154</sup> Lithium weist nur einen sehr kleinen Anteil an der Gesamtmasse der Batterien auf und besitzt zudem nur einen geringen Kaufpreis, weshalb dessen Recycling bisher noch als wenig wirtschaftlich erachtet wird.<sup>155</sup> Es bestehen hier Forderungen an die Bundesregierung, durch das Setzen von gezielten Anreizen die Recyclingquoten von Lithium zu erhöhen.<sup>156</sup>

---

151 Steinbach 2019, S. 10.

152 Deutscher Bundestag 2019a, S. 1.

153 Steinbach 2019, S. 10f.

154 Steinbach 2019, S. 5.

155 VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. 2015, S. 21.

156 Deutscher Bundestag 2019a, S. 2.

Lithium-Ionen-Batterien besitzen eine hohe Brandgefahr und werden deshalb als Gefahrstoff betrachtet. Vielen Sammelstellen mangelt es an einer entsprechenden Ausrüstung und den nötigen Fachkenntnissen, um für deren Annahme berechtigt zu werden.<sup>157</sup> Zudem befindet sich das Recyceln von Lithium noch in einem Anfangsstadium. Ein Wissensaustausch mit Ländern, in denen die Elektromobilität weiter vorangeschritten ist als in Deutschland, wie beispielsweise Norwegen, könnte die Entwicklung entsprechender Recyclingvorhaben vorantreiben.<sup>158</sup>

Das Inverkehrbringen, die Rücknahme und auch die Entsorgung von Batterien jeglicher Art wird durch das Batteriegesetz (BattG) geregelt. Laut diesem sind Produzierende, Importeure und Vertreiber\*innen grundsätzlich dazu verpflichtet, die Verantwortung für die unentgeltliche Rücknahme und Entsorgung der Batterien zu übernehmen. Das BattG ist ein wichtiger Treiber, um die Schadstoffbelastung der Umwelt durch den herkömmlichen Abfall zu verringern und die dort enthaltenen Rohstoffe so weit möglich sicherzustellen. Im Jahr 2019 konnte die Rücknahmequote um 17,2 Prozent gegenüber dem Vorjahr gesteigert werden. Somit wurde eine Sammelquote von insgesamt 52,2 Prozent erreicht.<sup>159</sup> Die Masse der Lithium-Ionen-Batterien stieg dabei stärker an als jedes andere Batteriesystem. Allerdings umfassen die Lithium-Ionen-Batterien auch fast zwei Drittel der neu in Verkehr gebrachten Batterien. Trotz des allgemeinen Erfolgs des BattG mit der Erreichung der gesetzlichen Mindestquote zur Rücknahme von 45 Prozent werden fast die Hälfte der Altbatterien nicht ordnungsgemäß erfasst und entsorgt beziehungsweise recycelt. Die Regelungen des derzeitigen BattG stehen weiterhin in der Kritik, da sie lediglich für Geräte-Altbatterien eine Mindestsammelquote vorschreiben, für Industrie- und Fahrzeugbatterien jedoch nicht.<sup>160</sup>

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Am 1. Januar 2021 waren 309.083 Elektroautos sowie 1.004.089 Hybridfahrzeuge in Deutschland zugelassen.<sup>161</sup> Um die Klimaziele zu erreichen, müssten laut Bundesregierung bis zum Jahr 2030 sieben bis zehn Millionen Elektroautos auf Deutschlands Straßen fahren.<sup>162</sup> Mithilfe übergreifender Fördermaßnahmen und gezielter Forschungs- und Entwicklungsprogramme ist somit ein wachsender Bedarf an Lithium-Ionen-Akkumulatoren zu erwarten. Denn mit bis zu 30 bis 40 Prozent Wertschöpfungsanteil gehören Lithium-Ionen-Akkumulatoren zu den wichtigsten Komponenten eines Elektrofahrzeuges.<sup>163</sup>

---

157 umweltwirtschaft.com 2019.

158 umweltwirtschaft.com 2019.

159 Umweltbundesamt (UBA) 2020a.

160 Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und Ausschuss für innere Angelegenheiten 2020, S. 23.

161 Kraftfahrt-Bundesamt 2021.

162 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020a.

163 Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2016, S. 5.

Die Ansiedlung einer Batteriezellproduktion in Deutschland gilt als wichtiger Baustein für die wirtschaftliche Entwicklung. Die deutsche Automobilbranche und starke Forschungs- und Entwicklungslandschaft bieten dafür gute Voraussetzungen. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) stellte im Jahr 2019 für das Vorantreiben einer industriellen Fertigung von Batteriezellen für mobile und stationäre Energiespeicher am Standort Deutschland drei Milliarden Euro aus dem sogenannten Energie- und Klimafonds (EKF) bereit.<sup>164</sup> Ein zukunftsweisendes Alleinstellungsmerkmal im globalen Wettbewerb könnte die Ausrichtung einer nachhaltigen Batteriefertigung hinsichtlich des gesamten Lebenszyklus abbilden.<sup>165</sup> Wettbewerbsfähige Energiekosten sind dabei ein wichtiger Faktor, um die Attraktivität deutscher beziehungsweise europäischer Standorte zu erhöhen.<sup>166</sup> Ein Forschungsfeld mit Zukunftsperspektive ist außerdem der Einsatz von Alternativmaterialien – beispielsweise zur Reduzierung des Kobaltanteils.<sup>167</sup> Trotz der allgemein guten Voraussetzungen mangelt es laut der Nationalen Plattform für Elektromobilität (NPE) in Deutschland derzeit noch an qualifizierten Batterieexpert\*innen.<sup>168</sup>

Besonders für Deutschland als rohstoffärmeres Land birgt das Recycling von knappen Ressourcen wie Kobalt, Nickel oder Mangan, welche als Materialien für die Elektroden verwendet werden, ein großes wirtschaftliches Potenzial.<sup>169</sup> China gilt derzeit als führende Industrienation hinsichtlich der Rohstoffproduktion und Weiterverarbeitung entlang der Wertschöpfungskette der Batterierohstoffe, nicht zuletzt auch durch strategische Allianzen mit beispielsweise australischen Lithiumproduzierenden und Kupfer-/Kobaltprojekten in der DR Kongo.<sup>170</sup> Die Standorte der Produktionsstätte verlagern sich jedoch zunehmend auch nach Europa, weshalb große Geschäftspotenziale auch für den deutschen Maschinen- und Anlagebau in den Märkten der Elektromobilität erwartet werden.<sup>171</sup>

Durch bisherige Forschungsförderungen und Unternehmenskompetenzen innerhalb Deutschlands konnte sich bereits eine gute Basis zur Umsetzung von Recyclingverfahren für Lithium-Ionen-Batterien etablieren. Allerdings besitzen diese weitere Innovations- und Optimierungspotenziale, die es auszuschöpfen gilt. Mögliche zukünftige Zielvorgaben für die Rückgewinnungsraten von Elementen wie Lithium oder Kobalt verstärken diesen Anspruch.<sup>172</sup>

---

164 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020a.

165 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.)a.

166 Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2018, S. 38f.

167 Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2018, S. 68.

168 Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2016, S. 26.

169 VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. 2015, S. 22.

170 Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2018, S. 69.

171 Michaelis et al. 2018, S. 82.

172 Buchert und Sutter 2020, S. 5f.

Laut einer Vielzahl bisheriger Forschungsberichte besitzen Lithium-Ionen-Batterien ein großes Potenzial für Recyclingverfahren.<sup>173</sup> Durch den Aufbau einer eigenen Wertschöpfungskette von Lithium-Ionen-Zellen innerhalb Europas können die Umweltbilanzen erhöht und bessere Arbeitsbedingungen gegenüber außereuropäischen Standorten sichergestellt werden. Das so generierte Wissen könnte wiederum in einem zweiten Schritt an die entsprechenden Akteure außerhalb der Europäischen Union weitervermittelt werden.

Noch ehe die Lithium-Ionen-Batterien in den Recycling-Prozess gelangen, weisen sogenannte Second-Life-Konzepte ein weiteres ökologisches sowie auch ökonomisches Potenzial hinsichtlich der Wiedervermarktung auf.<sup>174, 175</sup> Mit dieser Art von Konzept ist eine Zweitanwendung der Lithium-Ionen-Batterien mit geringeren Anforderungen gemeint, nachdem ihr Leistungspotenzial in der ursprüngliche Anwendung ausgeschöpft wurde, zum Beispiel als Hausspeicher in Verbindung mit Photovoltaik-Anlagen. Fahrzeugbatterien besitzen nach der Erstnutzung oftmals noch bis zu 80 Prozent ihrer Ladekapazität und können so beispielsweise als Energiepuffer für acht bis zwölf weitere Jahre innerhalb von Megawatt-Dimensionen eingesetzt werden.<sup>176</sup>

Vor allem hinsichtlich des zunehmenden Anspruches einer Erhöhung der Reichweite von Elektrofahrzeugen besteht die Anforderung, die Energiedichte der Lithium-Ionen-Batterien zu erhöhen und das bei einem geringeren Gewicht und einer verringerten Größe der Batterien.<sup>177</sup>

## **8. Zusammenfassung**

Durch den wachsenden Markt der Elektromobilität wird sich die vorherrschende Marktdominanz von Lithium-Ionen-Batterien in den kommenden Jahren weiterhin verstetigen.<sup>178</sup> Strenger werdende Emissionsgrenzwerte treiben diesen Trend voran. Die Elektrifizierung des Antriebes ist ein wichtiger Eckpfeiler, um klimaschädliche und gesundheitsschädliche Emissionen zu verringern.

Der dazu erforderliche ansteigende Rohstoffbedarf muss jedoch an transparenten Handels- und Wettbewerbsverhältnissen ausgerichtet sein. Die Einhaltung von Sozial- und Umweltstandards beziehungsweise deren Kontrolle durch internationale Richtlinien muss im Sinne

---

173 Buchert und Sutter 2020, S. 5.

174 VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. 2015, S. 22.

175 umweltwirtschaft.com 2019.

176 umweltwirtschaft.com 2019.

177 Manthiram 2020, S. 7.

178 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.)a.

einer verantwortungsvollen Lieferkette zu den obersten Prioritäten von staatlicher sowie auch privatwirtschaftlicher Seite aus gehören.<sup>179</sup>

Der Aufbau fortschrittlicher Recyclinganlagen und innovativer Verfahren für die Wiederverwertung von Lithium-Ionen-Batterien innerhalb des europäischen Raumes besitzt eine hohe Relevanz. Der deutsche Produktionsstandort verfügt bereits über eine solide Ausgangslage im wirtschaftlichen und technologischen Sinne, es bedarf jedoch weiterer Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen.

---

*Das Recycling von  
Lithium-Ionen-  
Batterien ist von  
hoher Relevanz*

---

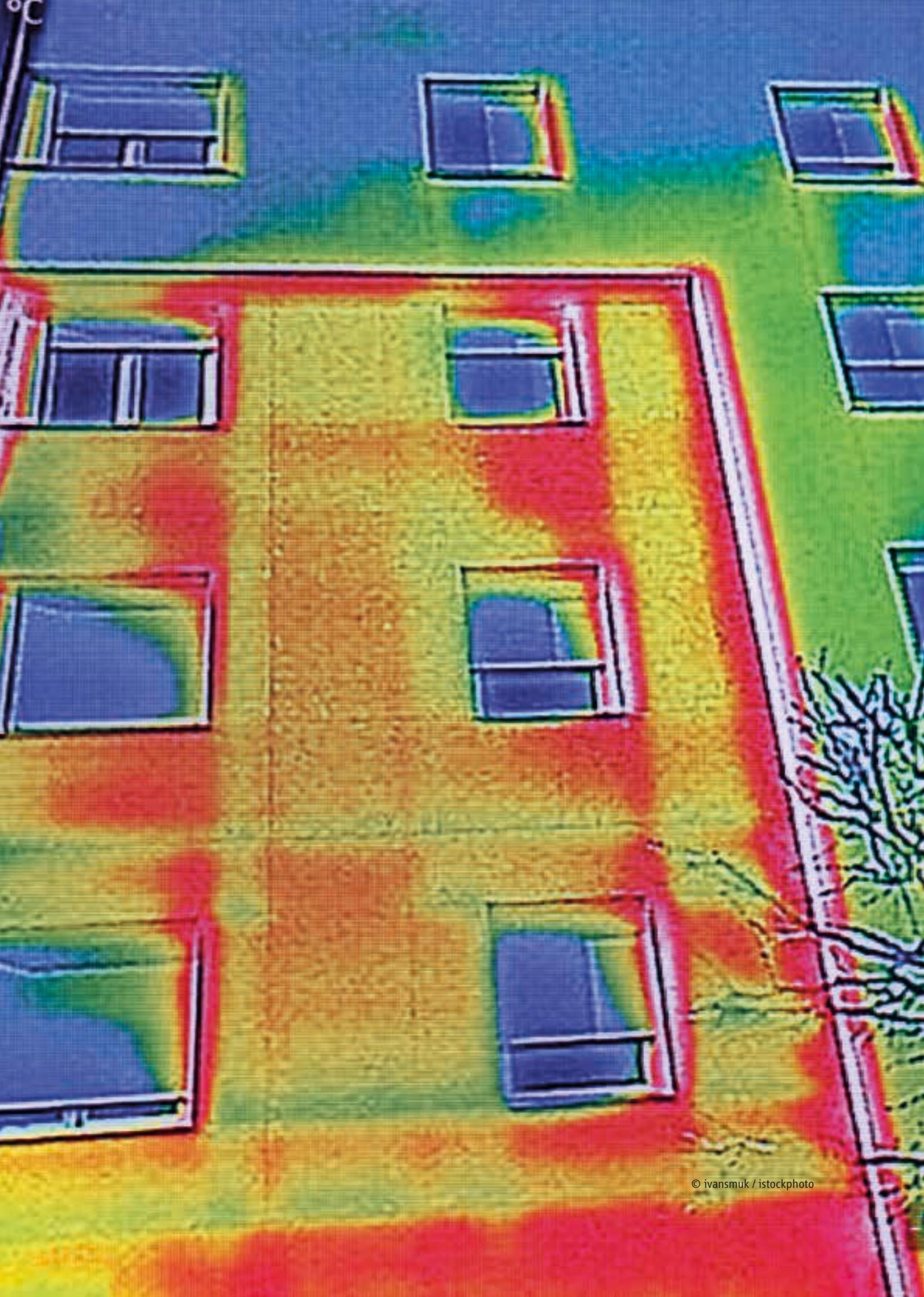
Die Wiederverwertung von Lithium steht derzeit bei nur wenigen Recyclingverfahren im Fokus. Hinsichtlich des zu erwartenden Anstiegs von Zulassungszahlen für Elektrofahrzeuge kann die Rückgewinnung von Lithium jedoch an Bedeutung gewinnen. Neben dem Recycling zur Rückgewinnung der Rohstoffe gilt es ferner auch die Themenfelder Batteriesicherheit, Second-Life sowie Forschungsvorhaben zu Alternativmaterialien und Batterien der nächsten Generation mit einer erhöhten Energiedichte und verbesserten Zellchemie voranzutreiben.<sup>180</sup>

---

179 Steinbach 2019, S. 15.

180 Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) 2018, S. 71.





## VIII. Wärmedämmung (thermische Isolierung)

### 1. Wirkungsprinzip

Als Wärmedämmung werden Schutzmaßnahmen gegen Temperatureinflüsse bezeichnet. Wärmedämmstoffe besitzen niedrige Zahlenwerte für die Wärmeleitfähigkeit.<sup>181</sup> Die Wärmeleitfähigkeit ist eine Stoffeigenschaft. Sie ist ein Maß für den Wärmestrom durch ein Material. Je niedriger der Wärmestrom ist, desto geringer ist die Wärmeleitfähigkeit und desto höher die Wärmedämmung.

Die Außenwanddämmung mittels Wärmedämmverbundsystemen (WDVS), Innendämmung und das nachträgliche Anbringen einer Vorhangfassade oder multifunktionalen Fassade sind die gängigsten Arten der thermischen Wärmeisolierung. Der Begriff Vorhangfassade meint die Konstruktion einer äußeren Gebäudehülle, die außerhalb des eigentlichen Tragwerkes steht. Multifunktionale Fassaden beinhalten neben der Funktion als Dämm- oder Witterungsschutz weitere Haustechnikbereiche wie beispielsweise Photovoltaikanlagen oder Verschattungssysteme. Daneben wird die Wärmedämmung auch an Dächern oder Kellerdecken vorgenommen.<sup>182</sup> Dichtungen an Türen und Fenstern senken die Luftwechselrate und verringern dadurch Wärmeverluste.

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Die Beheizung von Gebäuden ist für rund 30 Prozent des Energieverbrauchs in Deutschland verantwortlich. Der Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden mittels Wärmedämmung kommt daher eine tragende Rolle zu. Laut der Zielsetzung der Bundesregierung zur Verringerung der Treibhausgasemissionen sollen entsprechend des SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“ bis zum Jahr 2050 der Primärenergiebedarf in Gebäuden stufenweise um bis 80 Prozent verringert und die Sanierungsrate für Gebäude von derzeit weniger als ein Prozent auf zwei Prozent verdoppelt werden.<sup>183</sup>

Diese Maßnahmen adressieren auch das SDG 11: „Nachhaltige Städte und Gemeinden“, „[...] bis 2020 die Zahl der Städte und Siedlungen, die integrierte Politiken und Pläne zur Förderung [...] der Ressourceneffizienz, der Abschwächung des Klimawandels, [...] beschließen und umsetzen, wesentlich [zu] erhöhen [...]“. Unsanierete Altbauten müssen beispielsweise bei einer Außentemperatur von Null Grad Celsius circa 30 bis 40 Watt pro Quadratmeter Wärmeleistung

---

181 Post und Schmidt 2019, S. 66.

182 Bürger et al. 2017, S. 67ff.

183 BiPRO GmbH et al. 2018, S. 51.

bereitstellen, um eine Innentemperatur von 20 Grad Celsius zu gewährleisten. Der Einsatz von modernen Dämmstoffen kann diesen Wert um den Faktor fünf bis zehn verringern.<sup>184</sup>

Neben dem ökologisch motivierten Wärmeschutz, der zu einer Reduzierung des Energieverbrauchs führt, kann der Wärmeschutz den dauerhaften Erhalt von Baukonstruktionen – beispielsweise durch Vermeidung von Bauschäden aufgrund von Feuchtigkeitsbildung oder Schimmel – fördern.<sup>185</sup>

### **3. Märkte und Arbeitsplätze**

Laut einer Studie des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) und des Bremer Energie-Instituts (BEI) liegt bei 42,1 Prozent der deutschen Wohngebäude eine Wärmedämmung der Außenwände vor, wobei der Anteil erwartungsgemäß mit weiter zurückliegenden Baujahren abnimmt.<sup>186</sup> Daraus folgt insbesondere bei Wohngebäude-Altbauten bis Baujahr 1978 eine zusätzlich erforderliche Verbesserung des Wärmeschutzes. Allein für die Modernisierung des Altbaubestandes wird bei einer Beibehaltung der derzeitigen Modernisierungsrate (Periode 2005-2008) mit 1,1 Prozent ein Umsetzungszeitraum bis zum Jahr 2075 erwartet.<sup>187</sup> Im Jahr 2020 lagen für das Ausbaugewerbe in Deutschland (Bauvolumen gemäß Deutsches Institut für Wirtschaft), zu dem auch die Wärmedämmung zählt, folgende Marktdaten vor:

Anzahl Beschäftigte: 1,14 Millionen  
Umsatz: 143 Milliarden Euro<sup>188</sup>

Ein prognostiziertes Preiswachstum fossiler Energieträger deutet auf eine perspektivisch hohe Rentabilität von Energieeinsparmaßnahmen mittels Wärmedämmung hin und lässt ein weiteres Marktwachstum erwarten.<sup>189</sup>

### **4. Beitrag von Familienunternehmen**

Laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank sind 1.342 Unternehmen unter dem Stichwort „Wärmedämmung\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 94 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

---

184 Kienzlen 2015, S. 4.

185 Kienzlen 2015, S. 1f.

186 Diefenbach und Clausnitzer 2010, S. 44.

187 Diefenbach und Clausnitzer 2010, S. 12.

188 Rein 2020, S. 4.

189 Asam 2017, S. 8.

- 1 AG
- 956 GmbHs
- 9 vollhaftende Personengesellschaften
- 209 teilhaftende Personengesellschaften
- 81 Einzelunternehmen

Das Familienunternehmen **PROCERAM GmbH & Co. KG** erwirtschaftete im Jahr 2019 innerhalb des Bereichs Bereich Bauteile und Bausanierung mit einem Schwerpunkt auf Dämmstoffen nach eigenen Angaben mit 30 Mitarbeiter\*innen einen Umsatz von 3,5 Millionen Euro.

## 5. Interview

ProCeram GmbH, Christoph Dworatzky (Geschäftsführer):

„Wir wollen den Dämmstoffmarkt und die Bauindustrie mit innovativen Füllstoffen revolutionieren.“ Um nur zwei Produkte hervorzuheben, setzt das Familienunternehmen dabei zum einen auf Wärmedämmungen auf rein mineralischer Basis. Zum anderen entwickelte das Familienunternehmen einen neuartigen Hydrogel-Füllstoff für Fassadenfarben, der bei verbessertem Feuchtemanagement einen weitgehenden Verzicht auf Biozide erlaubt. „Viele reden über Nachhaltigkeit, aber wir tun auch was!“ Dazu hat das Familienunternehmen als erstes Unternehmen im Baubereich eine eigene Klimainitiative gegründet, die Klimaneutralität der Kund\*innen und Mitarbeiter\*innen gewährleisten soll.<sup>190</sup> Neben CO<sub>2</sub>-Neutralität entlang der gesamten Produktionslinien sind die eingesetzten Dämmsysteme zudem jederzeit rückbaubar und recyclingfähig, um als Rohstoffe wieder in die eigene Putzproduktion zurückgelangen zu können.

„Was, wie ich glaube, für viele Technologien sehr schwierig ist, ist, mit dem, was wir visionär produzieren, auch Vertrauen zu schaffen. Vertrauen beim Kunden, aber vor allem auch bei den Prüf- und Zertifizierungsanstalten. Sie müssen sich vorstellen, für ein vollkommen neues Produkt brauchen sie auch neue Prüfscenarien. Die sind aber nicht vorhanden, auch wenn wir dort jetzt schon viel weiter sind als am Anfang.“ Ebenso bemängelt Herr Dworatzky die Förderlandschaft, die in den frühen Stadien der Technologieentwicklung nicht greife. Ohne private Investitionen und Risikobereitschaft hätten es Technologie-Start-ups im Bauwesen deshalb besonders schwer. Doch egal ob Start-up oder traditionelles Familienunternehmen: „Die Politik wird immer wichtiger für uns, weil auch auf politischer Ebene gewisse Dinge anders reguliert und an die Technologie angepasst werden müssen. Es bringt nichts, die beste

---

<sup>190</sup> Proceram GmbH & Co. KG (o.J.).

Technologie zu haben, wenn es politische Gesetzgebungen gibt, die diese gar nicht ermöglichen.“ Als vorteilhaft für die eigene Unternehmensentwicklung sieht Herr Dworatzky hingegen die Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten an.

Auch wenn derzeit die Digitalisierung „[...] in der Bauindustrie überhaupt noch gar nicht angekommen ist“, verfolgt das Familienunternehmen mit Blick in die Zukunft „[...] konsequent den Ansatz der Robotik, speziell im Bereich House-Printing, Beton-Printing oder bei der Anbringung des eigenen Putzes. Es wird sich sicherlich nicht durchsetzen, dass jedes Gebäude mithilfe eines Roboters verputzt wird, aber die Ansätze sind da. Wir sind auch in der Entwicklung von ultraleichten Detonen,<sup>191</sup> die die Wärmedämmung in sich tragen, was gerade für den Neubau ein interessantes Thema ist.“

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Für die Erreichung der Klimaschutzziele werden in Zukunft große Mengen an Dämmstoffen benötigt, die jedoch hinsichtlich der Herstellung und des Transports sowie der Entsorgung mögliche Zielkonflikte beinhalten.<sup>192</sup>

Der Verzicht auf kritische Flammschutzmittel, Treibmittel und Biozide, die Einhaltung der Mindestanforderungen der Energiesparverordnung (EnEV) sowie die Gewährleistung von Rückbau und Rezyklierbarkeit sind entscheidend, um die Kriterien der Nachhaltigkeit beim Einsatz von WDVS zu gewährleisten.<sup>193</sup>

Eine weitere Herausforderung besteht darin, die Bestandsgebäude älterer Generationen an die heutigen Anforderungen der Energieeffizienz anzupassen. Bei unsanierten Altbauten sind die Wärmeverluste aufgrund der höheren Wärmeleitung der Bauteile – auch trotz der traditionell verwendeten Vollziegel oder Bruchsteine mit einer hohen Wärmespeicherung – besonders hoch.<sup>194</sup> Vor allem bei der Sanierung historischer Bausubstanzen adressieren die Herausforderungen gestalterische Fähigkeiten, um die einzigartige Landschaft der Kulturgebäude zu erhalten.<sup>195</sup>

---

191 Deton Dämmbeton besitzt einen höheren Luftanteil durch die Hinzugabe von Schaumglas. Zusätzlich werden Pflanzenfasern in den Zementstein eingebaut, die die Wärmeleitfähigkeit gewährleisten. Von dem Berliner Unternehmen Deton UG entwickelter Deton kann vollständig recycelt werden.

192 Bürger et al. 2017, S. 70.

193 BiPRO GmbH et al. 2018, S. 19.

194 Kienzlen 2015, S. 12.

195 Kienzlen 2015, S. 17.

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Derzeit am weitesten verbreitet sind Dämmmaterialien auf Basis mineralischer oder fossiler Rohstoffe. Lediglich vier bis fünf Prozent der verwendeten Materialien bestehen aus natürlichen oder nachwachsenden Rohstoffen. Ein möglicher Preisanstieg fossiler Rohstoffe könnte deren Nachfrage jedoch erhöhen. Wiederum könnte sich eine zukünftige Vorfertigung größerer Dämmeinheiten im Werk positiv auf das Kostenreduktionspotenzial auswirken, da hierdurch der Personalaufwand beim Anbringen der Dämmmaterialien verringert würde.<sup>196</sup>

Aufgrund der Langlebigkeit der bereits verbauten Produkte und den daraus resultierenden geringen Rückbauquoten besteht bisher kaum Erfahrung in Rückbaumethoden. Es gibt dementsprechend noch einen hohen Forschungsbedarf hinsichtlich des Rückbaus, Recyclings und der Entsorgung von Dämmstoffen. Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) vermutet, dass derzeit große Mengen an Dämmstoffmaterialien über den Baumischabfall entsorgt werden. Spezielle Geräte für den Rückbau von beispielsweise WDVS unterliegen somit zukünftig einem dringenden Entwicklungsbedarf. Auch hinsichtlich der Entsorgung zeigt sich ein Aufholbedarf. Gemäß den Angaben des BBSR ist die derzeit gängige Form der Verbrennung aus energetischer Sicht sinnvoll.<sup>197</sup> Allerdings sind die ebenfalls in der Dämmschicht vorhandenen Komponenten wie Mörtel, Putz oder Dübel nicht oder nur schwer brennbar. Eine vorherige Trennung der Dämmschicht ist also für eine gute thermische Verwertung unverzichtbar.

Zukünftig sollte die Entwicklung von Systemen gefördert werden, die eine Trennung der Materialien beim Rückbau gewährleisten und weiterhin deren Rückgewinnung aus dem Abfallaufkommen sicherstellen. Prognostizierte Rückbaumengen – beispielsweise für expandiertes Polystyrol (EPS) aus Wärmedämmverbundsystemen – belaufen sich für das Jahr 2030 auf etwa 20-30 Millionen Tonnen in Deutschland.<sup>198</sup> Das vorherrschend gängigste Verwertungsverfahren ist die energetische Verwertung, also ein selektiver Rückbau mit anschließender Verbrennung. Dieser Umstand ergibt sich dadurch, dass es derzeit für eine werk- oder rohstoffliche Verwertung eine nur geringe Nachfrage nach recyceltem EPS gibt. Neben der mangelnden Wirtschaftlichkeit enthalten Dämmstoffe aus Polystyrol in der Regel den bromierten Flammschutzmittel HBCD (Hexabromcyclododecan), welcher nach der sogenannten EU-POP-Verordnung<sup>199</sup> über persistente Schadstoffe von möglichen Recyclingprozessen ausgeschlossen wird. Der Einsatz maschineller Entschichtungsverfahren sowie die Entwicklung weiterer fortgeschrittener Techniken und Werkzeuge würden laut UBA die Umsetzung selektiver Rückbauverfahren begünstigen.<sup>200</sup>

---

*Design, einfache Materialtrennung und Recycling von Wärmedämm-systemen sollten gefördert werden*

---

196 Bürger et al. 2017, S. 67f.

197 Bürger et al. 2017, S. 15.

198 BiPRO GmbH et al. 2018, S. 123.

199 Europäische Union 2004.

200 BiPRO GmbH et al. 2018, S. 127.

Während rückgebaute WDVS in der Theorie vollständig recyclingfähig sind, vorausgesetzt eine Trennung der einzelnen Komponenten wird durch keine Verklebung verhindert, besteht bei der Verwertung und Beseitigung von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen ein hoher Forschungsbedarf, da hier aufgrund des geringen Einsatzes praktische Erfahrungen mit dem Recycling und der Entsorgung kaum vorliegen.<sup>201</sup>

Dem Entsorgungsproblem entgegenwirken könnte ebenfalls der Verzicht auf verklebte Verbundkonstruktionen und stattdessen der Einsatz von lösbaren mechanischen Verbindungen.<sup>202</sup>

## **8. Zusammenfassung**

Die Umsetzung der langfristigen Renovierungsstrategie der Bundesregierung (2020)<sup>203</sup> sowie Preiswachstum der fossilen Energieträger lassen positive Marktprognosen erwarten. Zudem sind Maßnahmen zur Wärmedämmung unentbehrlich, um die Klimaschutzziele zu erreichen.

Verfahren zum stofflichen Recycling sind in der Entwicklung, bedürfen jedoch weiterer Forschungsinvestitionen. Es besteht ein großer Entwicklungsbedarf für Techniken und Werkzeuge, die selektive Rückbauverfahren begünstigen und sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Nachhaltigkeit von WDVS steigern.

Bei Familienunternehmen rücken Umweltbelange in den Fokus. Dies betrifft nicht nur die Produktionsweise, sondern auch die Verbesserung der Putze und Farben durch beispielsweise den weitmöglichen Verzicht auf Biozide.

Vor allem in der Gründungsphase und während der Technologieentwicklung sind viele Familienunternehmen auf eine hohe Risikobereitschaft hinsichtlich privater Investitionen angewiesen, sofern auf keine öffentlichen Förderungen zurückgegriffen werden kann.

---

201 BiPRO GmbH et al. 2018, S. 128, 133.

202 Kienzlen 2015, S. 10.

203 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2020d.





## IX. Leichtbau

### 1. Definition

Der Leichtbau ist eine Schlüsseltechnologie, mit der durch einen möglichst geringen Materialeinsatz eine Senkung des Ressourcenverbrauchs erzielt werden soll. Die Minimierung des Eigengewichts kann durch konstruktive Maßnahmen – beispielsweise aus der Bionik – durch die Verwendung von Verbundwerkstoffen, die Wahl leichter und hochfester Werkstoffe oder durch neue Herstellungstechnologien und Analysemethoden erreicht werden.<sup>204</sup> Leichtbauwerkstoffe und -konstruktionsprinzipien kommen derzeit vor allen Dingen im Automobilbau, in der Luft- und Raumfahrt, im Transportwesen sowie im Maschinen- und Anlagenbau zum Einsatz.<sup>205</sup> Große Einsparpotenziale werden für den Leichtbau auch innerhalb des ressourcenintensiven Wirtschaftszweiges der Bauindustrie erwartet.<sup>206</sup> In Deutschland werden 90 Prozent aller geförderten mineralischen Rohstoffe verbaut.<sup>207</sup> Zudem fällt innerhalb des Bauwesens die Hälfte des deutschen Abfallaufkommens an. Zunehmend bildet die Verbindung von Leichtbau- mit additiven Fertigungsverfahren einen wesentlichen Baustein für Fertigungsprozesse in der Industrie 4.0.<sup>208</sup>

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Der Einsatz von Leichtbautechnologien adressiert das SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“, indem durch eine erhöhte Material- und Energieeffizienz von der Herstellung und Nutzung bis hin zur Verwertung des Produktes eine maßgebliche Reduzierung des Ressourcenverbrauchs erreicht wird. Veranschaulichen lässt sich dies beispielsweise innerhalb des Autobaus und der Luftfahrtindustrie: Es ist das Ziel, durch eine Gewichtsreduktion Treibstoffeinsparungen zu generieren.<sup>209</sup> Bei einer Reduzierung des Gewichts eines Fahrzeuges um 100 Kilogramm kann der Kraftstoffverbrauch um circa 0,5 Liter pro 100 Kilometer gesenkt werden.<sup>210</sup>

Die Einsparpotenziale von Leichtbautechnologien leisten darüber hinaus auch einen wesentlichen Beitrag zu SDG 11: „Nachhaltige Städte und Gemeinden“. Gemäß einer Studie in Auftrag der Landesagentur Leichtbau Baden-Württemberg (2019) ergeben sich laut Expert\*innenmeinungen bei einer Implementierung der relevanten Leichtbauprinzipien im urbanen System Einsparungspotenziale von 40 Prozent beim Energieverbrauch innerhalb

---

204 Klein und Gänsicke 2019, S. 5.

205 Kroll 2019, S. 654.

206 Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, S. 4.

207 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2018a, S. 22.

208 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2018b, S. 143.

209 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2018b, S. 75.

210 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.).c.

des Mobilitätssektors.<sup>211</sup> Bei Gebäuden können innovative Leichtbaukonstruktionen den Materialverbrauch und somit auch das Abfallaufkommen senken. Im Bereich der technischen Gebäudeausrüstung können Leichtbaukonstruktionen beispielsweise als Verschattungs- oder Belüftungssysteme eingesetzt werden oder im Funktionsbereich der vertikalen Fassadenbegrünung. Dies ermöglicht zudem eine potenzielle Reduzierung von Wärmeinseleffekten im urbanen Raum von bis zu 60 Prozent.<sup>212</sup>

### **3. Märkte und Arbeitsplätze**

Branchenübergreifend zeigt sich die Automobilindustrie als der bedeutendste Markt für den Leichtbau. Vor allem der Nutzfahrzeugmarkt – bestehend aus Bussen und Trucks – weist ein hohes Wachstumspotenzial auf. Die wichtigsten Leichtbaumaterialien für Automobile sind Hochleistungsstähle, Aluminium sowie zunehmend Verbundwerkstoffe wie carbonfaserverstärkte Kunststoffe (CFK). Auf lange Sicht könnte jedoch die Bauindustrie diese Platzierung übernehmen, da in dieser Branche hinsichtlich der Menge mehr Leichtbaumaterialien einsetzbar sind. Anwendungen von Leichtbaustrategien im Bauwesen betreffen etwa den Einbau von Gradientenbeton oder den Einsatz von Holzmodulen und Textilfassaden.<sup>213</sup>

Leichtbautechnologien innerhalb des Transportwesens erreichten im Jahr 2016 ein globales Marktvolumen von 76,2 Milliarden Euro, welches voraussichtlich im Jahr 2025 auf 153,1 Milliarden Euro ansteigt.<sup>214</sup> Laut Schätzungen könnte die gesamte Bauindustrie inklusive Leichtbau im Verhältnis dazu im selbigen Jahr auf ein weltweites Marktvolumen von etwa 700 Milliarden Euro anwachsen.<sup>215</sup> Jedoch sei an dieser Stelle darauf verwiesen, dass derartige Prognosen über das Marktvolumen stark abhängig von den jeweiligen Bezugsgrößen der für die Schätzung als relevant erachteten Anwendungen im Leichtbaubereich sind.<sup>216</sup>

### **4. Beitrag von Familienunternehmen**

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 473 Unternehmen unter dem Stichwort „Leichtbau\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 92 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 4 AGs
- 321 GmbHs

---

211 Leichtbau BW GmbH 2019, S. 4.

212 Schwimmer et al. 2019, S. 2.

213 Schwimmer et al. 2019, S. 7ff.

214 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2018b, S. 76.

215 Leichtbau BW GmbH 2015, S. 11.

216 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.).c.

- 4 vollhaftende Personengesellschaften
- 92 teilhaftende Personengesellschaften
- 13 Einzelunternehmen

Beispielhaft für die Innovationsfähigkeit von Familienunternehmen der Leichtbaubranche ist die **Hewi G. Winker GmbH & Co. KG** zu nennen, die im Jahr 2015 den Umwelttechnikpreis Baden-Württemberg in der Kategorie Materialeffizienz für die Entwicklung von Leichtbaumuttern mit 30 Prozent weniger Stahl erhielt.<sup>217</sup>

Im Bereich des Bauwesens treibt das Familienunternehmen **Knauf** maßgeblich die Etablierung von Leichtbauelementen und -technologien voran. Vorrangig über die Stahl-Leichtbauweise und den Einsatz von Gipsplatten wird in den Anwendungsgebieten des erweiterten Trockenbaus ressourceneffizientes Bauen ermöglicht. Denn einer der zentralen Baustoffe für Trocken- und Leichtbauweisen im Bausektor ist der Rohstoff Gips, dessen inländischer Bedarf derzeit zu 100 Prozent aus heimischen Rohstoffquellen abgedeckt wird. Allerdings wird die Verfügbarkeit in der nahen Zukunft zurückgehen, da die Produktion von Gips wesentlich an traditionelle Kraftwerkstechnik gebunden ist (Rauchgasentschwefelung).<sup>218</sup>

## 5. Interview

Knauf Gips KG, Klaus Salhoff (Bereichsleitung Bautechnik Zentraleuropa):

„Nachhaltigkeit und die Digitalisierung sind wichtige Treiber beim Voranbringen unserer Leichtbautechnologie. Gips ist ein natürlicher, klimafreundlicher und recyclingfähiger Baustoff und der verwendete Stahl ist fast zu 100 Prozent recyclingfähig, was zur Folge hat, dass die CO<sub>2</sub>-Emissionen unserer Trockenbausysteme in etwa ein Drittel vergleichbarer konventioneller Bauweisen betragen. [...] Nachhaltigkeit ist jedoch ein weiter Begriff. Wir müssen hier Fakten schaffen. In unserer Forschung und Entwicklung ermitteln wir von der Herstellung unserer Produkte bis hin zu deren Verwertung den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck.“ Betreffend die Digitalisierung sieht das Familienunternehmen Knauf „im Bereich Building Information Modeling (BIM) eine immense Chance für die Zukunft. Und zwar, weil BIM nicht nur ein Planungstool ist, sondern eine Methode, die den gesamten Bauprozess digitalisiert und damit auch die Abläufe effizienter gestaltet. BIM wird die gesamte Wertschöpfungskette des Bauens nach vorne bringen. [...] Hier sind allerdings alle Stakeholder angesprochen, digitale Programme zu nutzen und auch stärker in die Ausbildung miteinzubeziehen.“

---

217 Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2015.

218 Bundesverband der Gipsindustrie e.V. 2020.

Auf regulatorischer Ebene hilfreich seien für das Familienunternehmen, das auch Dämmstoffe produziert, die Effizienzprogramme für die energetische Modernisierung, wie zum Beispiel die KFW-Förderprogramme. Nicht zuletzt auch deshalb, „weil durch diese Programme das Thema energetische Gebäudesanierung in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt wird. Rund 30 Prozent des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes kommen nun mal von Gebäuden und das ist vielen gar nicht so bewusst.“ Worum es gegenwärtig jedoch noch stärker gehen müsse, wäre das „Umsetzen“ dieser Programme. Im Moment scheitert es oftmals daran, „dass die Förderungen offensichtlich noch zu komplex und teilweise noch nicht rentabel genug sind.“ Weitere Hemmnisse seien der vorherrschende Fachkräftemangel sowie logistische Herausforderungen: „Wir brauchen leistungsstarke Verkehrsnetze und zwar nicht nur auf der Straße, sondern auch auf den Schienen.“ Dazu gehöre ebenso auch verfügbares Personal, wie zum Beispiel LKW-Fahrer.

Bei den Zukunftsprognosen der eigenen Branche zeigt sich Herr Salhoff jedoch zuversichtlich: „Der Trockenbaumarkt ist ein wachsender Markt und der zunehmende Bedeutungsgewinn des Themas Nachhaltigkeit in Politik und Öffentlichkeit ist für uns Rückenwind. [...] Die Politik muss den notwendigen Rahmen setzen. Unserer Meinung nach muss zukünftig der gesamte Lebenszyklus des Bauens von der Produktion bis zum Recycling betrachtet werden. Wirtschaftliche Gips-Leichtbauweisen bieten hier zahlreiche Vorteile, um den Ansprüchen des Klimaschutzes und der Kreislaufwirtschaft gerecht zu werden.“

## **6. Herausforderungen und Hemmnisse**

Leichtbaukonstruktionen sind derzeit noch zum Teil mit einem größeren Mehrkostenaufwand verbunden als die gängigen Konstruktionen. Unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten muss die Kostensteigerung bei der Konzeption, dem Einsatz von Werkstoffen und der Herstellung durch sichtbare wirtschaftliche Vorteile in der Nutzungsphase kompensiert werden. Dies erfüllen derzeit zuvorderst Leichtbaumaßnahmen in der Verkehrstechnik (Automobilbau, Schienen- und Luftfahrzeuge), da sich hier Verbrauchsminderungen, beispielsweise durch einen geringeren Energieeinsatz, direkt messen lassen. Für den Maschinen- und Fahrzeugbau wird allgemein angenommen, dass ein Kilogramm weniger Material circa 15 Prozent Mehrkosten verursachen.<sup>219</sup>

Interagierende Schlüsseltechnologien im multifunktionalen Strukturleichtbau bergen ein hohes Innovations- und Wachstumspotenzial im deutschen Wirtschaftsraum.<sup>220</sup> Die Herausforderung liegt darin, die synergetische Kombination derzeit noch getrennter Fertigungsprozesse verschiedener Werkstoffe wie Metalle, Kunststoffe oder Textilien weiter zu erforschen und den Wissenstransfer zu fördern.

---

219 Klein und Gänsicke 2019, S. 7.

220 Kroll 2019, S. 2.

Laut einer Umfrage der AMC GmbH (2017) zeigen sich oftmals mangelnde Serientauglichkeit der Leichtbautechnologien sowie seitens der Lieferunternehmen auch mangelnde Kompetenzen, die das gesamte Fahrzeug betreffen, als Hindernisse bei der Umsetzung von Leichtbaulösungen im Fahrzeugbau.<sup>221</sup> Das Eingehen von Risiken durch hohe Investitionskosten gilt als weiteres Hemmnis für die Herstellerfirma, die bei der Weiterentwicklung ihrer Produkte eher von inkrementellen Arbeitsweisen geprägt sind.

Eine entscheidende Rolle wird in Zukunft die Kommunikation mit den Endkund\*innen darstellen. Der Grund hierfür ist, dass lediglich eine indirekte Wahrnehmung von Leichtbau bezüglich dessen Auswirkungen in Form eines niedrigeren Verbrauchs oder einer verbesserten Fahrzeugdynamik stattfindet.<sup>222</sup>

Als weiteren Hemmfaktor identifiziert laut einer Expert\*innenbefragung des Fraunhofer Instituts ISI (2014) jede beziehungsweise jeder zweite Teilnehmende aus Industrie und Forschung die Recyclingfähigkeit von Leichtbaulösungen. Dies gilt im Besonderen für den hybriden Leichtbau sowie für die Integration einer zunehmenden Materialvielfalt einzelner Produkte.<sup>223</sup>

## **7. Innovation und Zukunftsperspektiven**

Der Leichtbau wird als sogenannte „Game-Changer-Technologie“ angesehen. Die deutsche Forschungslandschaft bietet gute Voraussetzungen, um Deutschland als weltweit führenden Marktakteur zu etablieren.<sup>224</sup> Im Hinblick auf den wachsenden Markt im Bereich der Elektromobilität verweisen führende Organisationen aus dem Leichtbau – wie der Gesamtverband der Aluminiumindustrie e. V. (GDA) oder die Fraunhofer-Allianz Leichtbau – in einem gemeinsamen Positionspapier auf die drängende Aufgabe des Industriestandortes Deutschland, im internationalen Wettbewerb zukünftig weiterhin mitzuhalten.<sup>225</sup>

Obwohl derzeit der Massenmarkt noch von metallischen Werkstoffen dominiert wird, wird dem Einsatz von Faserverbundwerkstoffen (FKV) in Großserienproduktionen zukünftig ein großes Innovationspotenzial zugesprochen. Die Etablierung einer wettbewerbsfähigen Verwendung von FKV im Automobilbereich könnte jedoch laut Schätzungen noch bis zu fünf Fahrzeuggenerationen dauern.<sup>226</sup> Die ansteigende Verwendung von heterogenen Materialien erfordert allerdings auch geeignete Recyclingstrategien. Beim Recycling von Altfahrzeugen hängt der

---

221 Kurek et al. 2017, S. 6.

222 Kurek et al. 2017, S. 7.

223 Leichtbau BW GmbH et al. 2014, S. 16.

224 Siebel 2020.

225 C<sup>3</sup> – Carbon Concrete Composite e. V. et al. 2017.

226 Siebel 2020.

Aufwand der Sortierung und der nachfolgenden Weiterverwertung beispielsweise wesentlich vom Energieeinsatz ab. Diesem sind wiederum bei dem jetzigen Stand der Recyclingtechnologien zum Teil wirtschaftliche Grenzen gesetzt.<sup>227</sup> Eine Optimierung der Recyclingfähigkeit, die nicht nur einzelne Komponenten, sondern das ganze Produkt bedenkt, birgt daher einen großen Entwicklungsbedarf.

Leichtbau und Fahrzeugelektrifizierung treiben zudem die Nachfrage nach Hochleistungskunststoffen voran. In der Automobil- und Luftfahrtindustrie wird laut der Studie von F&S (bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 6,2 Prozent) der globale Markt für Hochleistungskunststoffe bis zum Jahr 2024 auf 3,05 Milliarden US-Dollar gegenüber 2,07 Milliarden US-Dollar im Jahr 2017 anwachsen.<sup>228</sup>

Große Zukunftschancen für das Bauwesen werden dem Leichtbau in den Anwendungsfällen textiler Gebäudehüllen und Gradientenbeton zugewiesen. Letzteres meint in der Baupraxis eine Veränderung der Materialverteilung innerhalb von Betonbauteilen, mit der eine Gewichtsreduktion von 30 bis 45 Prozent erzielt werden kann.<sup>229</sup> Textile Gebäudehüllen kommen derzeit insbesondere im Bereich modularer Fassaden zum Einsatz und zeichnen sich unter anderem durch einen hohen Individualisierungsgrad und eine leichte Transportierbarkeit der Module aus. Zukünftig gilt es, beide Technologien in eine breite Anwendung zu überführen. Der Holzmodulbau ist hingegen eine bereits etablierte Leichtbauweise. Aufgrund der ökologischen Vorteile über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg wird sich laut Schätzungen die Nachfrage in den kommenden Jahren verstetigen.<sup>230</sup>

Laut einer Expert\*innenbefragung im Auftrag der Landesagentur Leichtbau Baden-Württemberg (2019) ist die Etablierung von Leichtbauprinzipien im ganzheitlichen urbanen System in hohem Maße abhängig von einem interdisziplinären Wissensaustausch zwischen Unternehmen, Kommunen und Forschungseinrichtungen.<sup>231</sup> Voraussetzung dafür sei zudem eine stärkere Fokussierung auf Leichtbauprinzipien als Planungsansätze statt lediglich als Konstruktionsweise.<sup>232</sup> Hinsichtlich der Verwirklichung von Planungsansätzen für einzelne Bauvorhaben ermöglichen digitale Planungsmethoden wie BIM eine optimierte Zusammenarbeit zwischen den Projektbeteiligten.

---

227 Siebel 2018, S. 26.

228 Frost & Sullivan 2018, S. 14.

229 Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, S. 12.

230 Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg, S. 20.

231 Schwimmer et al. 2019, S. 40.

232 Schwimmer et al. 2019, S. 40.

Zur Förderung des branchenübergreifenden Technologie- und Wissenstransfers zwischen verschiedenen bundesweiten Akteuren hat das BMWi die Initiative Leichtbau ins Leben gerufen und macht zudem den Leichtbaustandort Deutschland über das interaktive Portal des LEICHTBAUATLAS sichtbar.<sup>233</sup>

Das BMWi identifiziert für die Zukunftspotenziale des Leichtbaus – insbesondere hinsichtlich der Wiederverwertung dort zusammenkommender unterschiedlicher Materialien – einen hohen Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Vertiefende Kenntnisse bei der Wartung und Reparatur der neuen Materialien innerhalb des Leichtbaus erfordern zudem angepasste Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen in der Lehre und Praxis von Leichtbaumethoden und -werkstoffen.<sup>234</sup> Das Zusammenspiel zwischen Digitalisierung und Bionik, bei der sich an komplexen Konstruktionsprinzipien aus der Natur, wie beispielsweise Bienenwaben, orientiert wird, stellt einen zusätzlichen Treiber innerhalb der Forschungslandschaft dar.<sup>235</sup>

## 8. Zusammenfassung

Der Einsatz leichterer Materialien sowie last- und werkstoffoptimierter Konstruktionen innerhalb des Leichtbaus leistet einen wesentlichen Beitrag zur Ressourcenschonung bei einer gleichzeitig verbesserten Funktionalität. Die ansteigende Nachfrage nach Leichtbauprodukten verlangt jedoch auch innovative Lösungen für deren Recycling. Das gilt vor allem auch für den verhältnismäßig neuen Einsatz von kohlenstoffverstärkten Kunststoffen (CFK).

Als größte Herausforderung im Zusammenhang mit Leichtbau gelten grundlegende Änderungen der Produktionsprozesse, die neue und standardisierte Fertigungsverfahren betreffen. Dabei anfallende Investitionskosten und zum Teil zeitintensive Erprobungsphasen erfordern von den Herstellern und Zulieferern eine hohe Risikobereitschaft. Verbleibende Zusatzkosten bei der Herstellung müssen zudem sichtbare Einsparungen bei der Nutzung der entsprechenden Produkte aufzeigen.<sup>236</sup>

Derzeit dominierende Leitmärkte für den Leichtbau sind die Luft- und Raumfahrt sowie die Automobil- und Transportindustrie. Als bedeutendster Anwendermarkt der Zukunft wird das Bauwesen betrachtet.

---

*Leichte Materialien  
und werkstoff-  
optimierte  
Konstruktionen  
als wesentlicher  
Beitrag zur  
Ressourcenschonung*

---

---

233 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.)b.

234 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.)c.

235 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.)c.

236 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (o.J.)c.



## X. Smart Home

### 1. Wirkungsprinzip

Für den Begriff „Smart Home“, der sinnbildlich für ein „intelligentes Zuhause“ beziehungsweise „Gebäudeautomation“ steht, findet sich keine eindeutige Definition. Gemäß DIN EN ISO 16484-2<sup>237</sup> ist Gebäudeautomation „die Bezeichnung der Einrichtungen, Software und Dienstleistungen für automatische Steuerung und Regelung, Überwachung und Optimierung sowie für Bedienung und Management zum energieeffizienten, wirtschaftlichen und sicheren Betrieb der Technischen Gebäudeausrüstung“. Gemeint ist damit in der Regel die intelligente Vernetzung verschiedener Endgeräte mit Sensoren und einer zentralen Steuerung („Gateway“), die auch dem Internet der Dinge (IoT: Internet of Things) zuzuordnen ist. Zu den Endgeräten (Aktoren) können Lampen, Heizkörperthermostate, Rollläden, Alarmanlagen, Klimaanlage, Fernsehgeräte, aber auch Waschmaschinen und Kochherde zählen. Gesteuert werden diese Geräte zum Beispiel mittels Touchdisplays, Tablets aber auch über Smartphones und zunehmend durch Sprachbefehle. Hinzu kommen diverse Kontrollmöglichkeiten: Über die Schnittstellen kann kontrolliert werden, ob die Raumtemperatur wie gewünscht eingestellt, ob das Licht ein- oder ausgeschaltet und ob die Alarmanlage scharf geschaltet ist. Auch kann der Strom-, Gas- oder Wasserverbrauch aufgezeichnet werden. Im Gateway, dem „Gehirn“ des Systems, werden alle Sensordaten gesammelt und Befehle an die Aktoren gesendet. Es ermöglicht die Kommunikation aller vernetzten Endgeräte untereinander und auch mit dem Internet. Der Kontakt wird meist über Funk oder über die vorliegenden Stromnetze hergestellt. Es besteht aber auch die Möglichkeit der Vernetzung über zusätzlich zu verlegende Kabel.

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Der Einsatz dieser Technik umfasst unter anderem Gebäudemanagement, Netzüberwachung, Konferenz- und Überwachungstechnik, bedarfsgeführte Heizungs- sowie Beschattungstechnik. Mithilfe der eingesetzten Technologien ist es möglich, zum Beispiel die Raumtemperatur extern zu steuern, sodass sie ganz nach Bedarf eingestellt werden kann, oder Lichtquellen bedarfsgerecht zu steuern. Einige Geräte dienen in erster Linie dem Komfort der Anwender\*innen. Dazu zählen via App gesteuerte Saugroboter, Kaffeeautomaten oder Kühlschränke, die Einkaufslisten auf Smartphones schicken. Die Nutzung intelligenter Haushaltsgeräte kann beim Stromsparen helfen und darüber hinaus auch den Wasserverbrauch senken: Waschmaschinen nutzen nur so viel Wasser, wie es der Menge der Wäsche entspricht und Geschirrspülmaschinen passen ihre Verbräuche an den Verschmutzungsgrad des Geschirrs an. Dadurch trägt Smart Home unter Einsatz der Digitalisierung stark zur Energieeffizienz und gemäß SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“ auch zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks bei. Smart Home liefert zudem einen direkten Beitrag zu SDG 3: „Gesundheit und Wohlergehen“.

---

237 „Systeme der Gebäudeautomation (GA) – Teil 2: Hardware (ISO 16484-2:2004)“.

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Smart Home ist noch eine sehr junge Branche, die sich erst um die Jahrtausendwende zu etablieren begann. Erste Schritte wurden im Jahr 2001 im Duisburger „in-Haus-Zentrum“ der Fraunhofer-Gesellschaft unternommen. In dieser großen Innovationswerkstatt testeten mehrere Fraunhofer-Institute gemeinsam mit verschiedenen Anbietern neue Systeme.<sup>238</sup> Die Telekom betrieb in den Jahren 2005 und 2006 ein vernetztes intelligentes Musterhaus in Berlin und eröffnete im Jahr 2013 in Darmstadt ein Smart Home-Musterhaus. In diesen Einrichtungen stellen verschiedene Technologievertreter ihre Entwicklungen vor und testen das Zusammenspiel mit anderen Komponenten. Der Markt dieser Branche ist breit aufgestellt und setzt sich zusammen aus Elektrizitätswerken oder Telekommunikationsunternehmen, Start-ups und Elektroinstallationsbetrieben. Immer mehr neu entwickelte Alltagsprodukte werden gegenwärtig mit Schnittstellen für den Datenaustausch ausgestattet, im Jahr 2025 werden in Europa zusätzlich zur bestehenden Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) bis zu 1.700 Millionen vernetzte Geräte erwartet.<sup>239</sup>

Statista<sup>240</sup> ging prognostisch für den Bereich Smart Home für das Jahr 2020 von einem Jahresumsatz von knapp fünf Milliarden Euro und für das Jahr 2025 von 9,5 Milliarden Euro in Deutschland aus.

Es existieren nur wenige Familienunternehmen, die sich ausschließlich mit dem Thema Smart Home beschäftigen, insofern ist es nicht möglich, festzustellen, wie viele Arbeitsplätze in diesem Bereich angesiedelt sind. Grundsätzlich ist zu konstatieren, dass dieser Markt ein großes Wachstumspotenzial besitzt. F&S gehen in einer Marktstudie (2019) zur Entwicklung von Smart Home bis in das Jahr 2025 von einer jährlichen Wachstumsrate von 7,5 Prozent weltweit aus.<sup>241</sup>

### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 442 Unternehmen zu finden, die in ihrer Unternehmensbeschreibung das Stichwort „Smart Home\*“ anführen (Stand: 17.02.2021). Davon sind 91 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 3 AGs
- 263 GmbHs

---

238 Fraunhofer-inHaus-Zentrum (o.J.).

239 Hintemann und Hinterholzer 2018.

240 Statista 2020c.

241 Frost & Sullivan 2019b.

- 5 vollhaftende Personengesellschaften
- 118 teilhaftende Personengesellschaften
- 14 Einzelunternehmen

Die **inHaus GmbH** wurde 2003 gegründet und hat sich seitdem zu einem führenden Anbieter von innovativen Assistenz- und Smart Home-Lösungen entwickelt. Der Schwerpunkt des Familienunternehmens liegt auf integrierten Gesamtlösungen für moderne, komfortable Wohnimmobilien und assistive Pflegeimmobilien.

## 5. Interview

inHaus GmbH, Enrico Lührke (Geschäftsführender Gesellschafter):

Die in Duisburg ansässige inHaus GmbH ist ein Technologieunternehmen, das im Bereich Smart Home über Beratung, Planung und Systemlösungen aktuelle, nachhaltige Technologien für die Kunden in konkreten Projekten realisiert. Ein zweiter Bereich umfasst Assistenzlösungen für Pflege- und Sozialimmobilien. Eine große Motivation für Herrn Lührke ist die Möglichkeit der Steigerung der Nachhaltigkeit in Immobilien und deren Abläufen, deren Nutzung einen der größten Anteile am Energieverbrauch in Deutschland bedingt. Für jedes Projekt wird im Vorfeld eine Kosten-Nutzen-Rechnung erstellt, sodass die Produkte auf jeden Fall nachhaltig und umweltfreundlich sind. Für Smart-Home-Prozesse ist die Digitalisierung eine unabdingbare, notwendige Basis. Eine weitere Voraussetzung ist das Mindset der Verbraucher, ohne die die Entwicklung und Anwendung nicht weiter fortschreiten kann. So reagieren viele potenzielle Anwender\*innen mit Ablehnung auf Cloud-Lösungen und auf Sprachassistenzsysteme („Alexa“), die auf nicht-europäischen Entwicklungen basieren und bei denen die Datenspeicherung auf außereuropäischen Servern erfolgt. Hier besteht deutlicher Nachholbedarf für deutsche beziehungsweise europäische Lösungen. Manchmal fehlt es tatsächlich auch an den Basics wie Vorhandensein von WLAN et cetera, um die entsprechenden Systeme umzusetzen. Herr Lührke sieht eine sehr gut ausgeprägte Förderlandschaft für Smart Home, aber dennoch sind manche Entwicklungen durch großen Bürokratieaufwand gebremst (zum Beispiel Digitalisierung von Schulen). Der Fachkräftemangel ist ein großes Problem dieser Technologiebranche, dem zum Beispiel mit einer Attraktivitätssteigerung von praxisorientierten, schnellen Ausbildungswegen – wie dem des Fachinformatikers – gegenüber der langjährigen akademischen Ausbildung entgegengetreten werden sollte; dies könnte zum Beispiel durch bessere Karrierechancen erreicht werden.

Ein Familienunternehmen ist nach Herrn Lührkes Meinung eine moderne Managementform, die die Möglichkeit bietet, schnell und flexibel auf Ereignisse zu reagieren. Sein Eindruck ist auch, dass den Mitarbeitenden eine hohe Wertschätzung entgegengebracht wird, die sich

unter anderem in einer guten Integration in das Familienunternehmen, fördernde Unternehmensstrukturen und ein hohes Maß an Flexibilität ausdrückt.

Zitat: „Es wird uns nur gelingen, Nachhaltigkeit in der Gesellschaft wirklich flächendeckend akzeptiert zu positionieren, wenn wir Digitalisierung als Selbstverständnis anerkennen.“

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Die Planung und Umsetzung eines Smart Home-Projekts ist für traditionelle Elektriker\*innen eine Herausforderung, da verschiedene Gewerke und/oder Bussysteme<sup>242</sup> kombiniert werden müssen und zahlreiche, verschiedene Systeme auf dem Markt sind.<sup>243</sup> Sowohl Elektroinstallateur\*innen als auch Nutzer\*innen müssen sich auf die neue Technik einstellen. Angebotstellende Akteur\*innen hingegen müssen zunehmend dafür Sorge tragen, dass die Interoperabilität zwischen unterschiedlichen Systemen optimiert wird. Auch das Thema Datensicherheit darf nicht unterschätzt werden: Viele der erfassten Daten werden in Clouds gespeichert, auf die auch Gerätehersteller Zugriff haben. Sie nutzen die gespeicherten Daten, um künftige Gerätegenerationen noch besser an Verbraucherwünsche anzupassen. Bedacht werden muss laut F&S auch, dass es weltweit im Jahr 2019 täglich zu rund 3.800 Cyber-Angriffen auf Haushalte, die über eine smarte Ausrüstung verfügen, kam.<sup>244</sup> Fehlende Netzabdeckung sowie unterschiedliche Funkstandards vereinfachen die breite Nutzung nicht.<sup>245</sup>

Eine große Herausforderung dieser Branche ist der Stromverbrauch, der vor allem durch die Notwendigkeit der Standby-Funktion der einzelnen Geräte verursacht wird. Aber auch durch die Datenmengen, die im Hintergrund erfasst und bearbeitet werden, entsteht ein hoher Bedarf an Strom. Es wird von 26 Kilowattstunden pro Gerät und Jahr ausgegangen. Hochgerechnet für Deutschland führt dies zu einem Mehrverbrauch von 15 Terrawattstunden.<sup>246</sup> Demgegenüber steht ein Einsparpotenzial, das durch ein besseres Energiemanagement erreicht werden kann.<sup>247</sup> In diesem Zusammenhang wird oft der sogenannte Rebound-Effekt genannt: Energieeffizientere Gebrauchsgüter führen letztlich dazu, dass diese nicht weniger, sondern deutlich mehr genutzt werden und der Klimaschutzgewinn aus der erreichten Energieeffizienz wieder aufgezehrt wird.<sup>248</sup>

---

242 Ein Bussystem überträgt Daten zwischen mehreren Teilnehmenden und nutzt einen gemeinsamen Übertragungsweg.

243 Jäger 2019.

244 Frost & Sullivan 2019b.

245 Klein 2020.

246 Hintemann und Hinterholzer 2018, S. 4.

247 Hintemann und Hinterholzer 2018, S. 34.

248 Crome 2019.

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Smart Home-Technologien können viele Dinge des täglichen Lebens vereinfachen und den persönlichen Komfort deutlich erhöhen. Bislang ist die Akzeptanz in der Altersgruppe von 25 bis 34 Jahren am größten, aber der Trend lässt eindeutig erkennen, dass auch andere Altersgruppen zunehmend Interesse zeigen.<sup>249</sup> Eine Verbesserung der Kompatibilität der unterschiedlichen Systeme, ein einheitlicher Funkstandard sowie eine einheitlichere Bedienung könnten diese Akzeptanz noch deutlich steigern – wobei bislang noch nicht feststeht, welches System sich durchsetzen wird. Die bessere Aus- und Weiterbildung der Elektroinstallateur\*innen, die für die Planung und den Einbau der Systeme verantwortlich sind, öffnet den Markt weiter und sichert dieser Branche wichtige Arbeitsplätze.<sup>250, 251, 252</sup>

---

*Smart Home-Technologien vereinfachen den Alltag und erhöhen den individuellen Komfort*

---

## 8. Zusammenfassung

Der Smart Home-Markt hat eine rasante Entwicklung hinter und nach Meinung aller einschlägigen Studien auch noch vor sich.<sup>253, 254, 255</sup> Zudem steigt die Akzeptanz in der Bevölkerung, was diesen Trend verstärkt. Das Angebot an Geräten, die die Verbraucher\*innen unterstützen, wächst. Es können immer mehr Bereiche, zum Beispiel intelligente Kühlschränke im Haushalt, bedient werden. Das größte Problem, das es zu lösen gilt, ist die fehlende Netzabdeckung in einigen Gebieten Deutschlands, worauf diese Technologie aber nur indirekt über die Nutzer\*innen und Smart Home produzierende Unternehmen Einfluss nehmen kann. Das Problem unterschiedlicher Smart Home-Funkstandards erscheint mittelfristig lösbar wie auch das zurzeit noch heterogene Angebot an Smart Home-Geräten, die nicht immer untereinander kompatibel sind. Smart Home darf als eine der führenden Zukunftstechnologien betrachtet werden.

---

249 Infineon Technologies AG 2019.

250 Jäger 2019.

251 Klein 2020.

252 Frost & Sullivan 2019b.

253 Klein 2020.

254 Frost & Sullivan 2019b.

255 Statista 2020b.



## XI. Wasserstofftechnologie

### 1. Definition

Reiner Wasserstoff ist ein farbloses, geruchloses und geschmackloses, ungiftiges und brennfähiges Gas.<sup>256</sup> Bei einer idealen Umsetzung von Wasserstoff mit Luftsauerstoff werden ausschließlich Energie und reines Wasser, aber keine Umweltschadstoffe produziert.<sup>257</sup> Knapp 40 Prozent des weltweit benötigten Wasserstoffs fallen als Nebenprodukt bei Industrieprozessen an (zum Beispiel Herstellung von Chlor, Rohölraffinerieprozesse). Die restlichen 60 Prozent werden zu 95 Prozent direkt aus fossilen Kohlenwasserstoffen (Wirkungsgrad: circa 70 Prozent<sup>258</sup>) und zu fünf Prozent mittels Elektrolyse (Wirkungsgrad: 60 bis circa 80 Prozent<sup>259</sup>) erzeugt.<sup>260</sup> Je nach Ursprung trägt Wasserstoff verschiedene Farben in seiner Bezeichnung:

- Grauer Wasserstoff wird aus fossilen Brennstoffen gewonnen. In der Regel wird bei der Herstellung Erdgas unter Hitze in Wasserstoff und Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) gespalten. Bei der Produktion einer Tonne Wasserstoff entstehen rund zehn Tonnen CO<sub>2</sub>.<sup>261</sup>
- Blauer Wasserstoff ist grauer Wasserstoff, bei dessen Gewinnung CO<sub>2</sub> abgeschieden und gespeichert wird (Englisch: Carbon Capture and Storage, CCS).<sup>262</sup>
- Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser hergestellt, wobei für die Elektrolyse ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien zum Einsatz kommt.<sup>263</sup>
- Türkiser Wasserstoff ist Wasserstoff, der über die thermische Spaltung von Methan (Methanpyrolyse) hergestellt wird. Anstelle von CO<sub>2</sub> entsteht dabei fester Kohlenstoff.<sup>264</sup>

Wasserstoff gilt als chemischer Energieträger, der bis zur Verwendung gut gespeichert werden kann.<sup>265</sup> Etablierte Anwendungen in der Industrie sind zum Beispiel die Herstellung von Stickstoffdünger und die Raffination von Mineralölen. Neue Anwendungsbereiche nutzen zum Teil schon Wasserstoff für emissionsarme Fertigungsprozesse in der Industrie (zum Beispiel Stahl, Metallverarbeitung) sowie in der Zement-, Glas- und Keramikherstellung in Kombination mit Kohlenstoffquellen (Carbon Capture and Usage, CCU).

---

256 Hartmann-Schreier 2004.

257 Geldsetzer 2007.

258 Töpler und Lehmann 2017.

259 Töpler und Lehmann 2017.

260 Klell et al. 2018.

261 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2020.

262 Klell et al. 2018.

263 Klell et al. 2018.

264 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2020.

265 Kurzweil und Dietlmeier 2018.

Bei dem Wasserstoffantrieb in Brennstoffzellen oder in Wasserstoffverbrennungsmotoren wird Wasserstoff als Energieträger für ein nachgeordnetes „emissionsfreies“ Antriebssystem eingesetzt (zum Beispiel Kraftfahrzeuge, Hausenergieversorgung, Ersatzstromversorgung).<sup>266</sup>

## 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Wasserstoff kann als Grundstoff in klimaneutralen Produktionsprozessen der Chemie- und Stahlindustrie dienen. Letztere verursacht bisher rund sieben Prozent des gesamten jährlichen deutschen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.<sup>267</sup> Die Wasserstofftechnologie kann bei Nutzung in solchen klimaneutralen Produktionsprozessen einen direkten Beitrag zu SDG 7: „Bezahlbare und saubere Energie“ leisten.

Die Bundesregierung hat am 10. Juni 2020 die „Nationale Wasserstoffstrategie“ vorgestellt. Sie enthält einen Aktionsplan mit Maßnahmen für den Aufbau einer grünen Wasserstoffwirtschaft mit direktem Bezug zu SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“. Dies erfordert gemäß SDG 9: „Industrie, Innovation und Infrastruktur“, dass sich die Industrie auf eine ressourceneffiziente und klimafreundliche Produktion umstellt.

## 3. Märkte und Arbeitsplätze

Die Marktentwicklung der Wasserstoffwirtschaft hängt auf globaler Ebene maßgeblich von den internationalen Klimaschutzziele zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen ab, die für Europa und seine Partnerländer in nationale Klimaschutzziele heruntergebrochen werden. Wesentlicher Treiber für die Marktentwicklung in Deutschland ist die Nationale Wasserstoffstrategie.

Tabelle 3 basiert auf den Daten der Studie von Weichenhein et al. (2020)<sup>268</sup> und gibt einen Überblick über den globalen, europäischen und deutschen Markt zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie. Die Wasserstoffwirtschaft wird in Zukunft in den Bereichen Mobilität und Verkehr, industrielle Rohstoffe und Energie, Gebäudewärme und Strom sowie Stromerzeugung einen hohen Marktzuwachs erfahren. Dies zeigt sich, betrachtet man den enormen prognostizierten Anstieg der Arbeitsplätze in Deutschland von 1.500 im Jahr 2019 auf 120.000 bis 150.000 bei einem ambitionierten Szenario eines raschen Markthochlaufs im Jahr 2030.

---

266 Töpler und Lehmann 2017.

267 Weichenhein et al. 2020.

268 Weichenhein et al. 2020.

Eine Schlüsselrolle übernimmt der Mobilitäts- und Verkehrssektor. Dort gehen Szenarien sogar von einer bis fast tausendfach höheren Anzahl von Brennstoffzellen-Fahrzeugen im Jahr 2030 im Vergleich zu 2018 aus (Tabelle 3).

*Tabelle 3: Kerndaten des globalen, europäischen und deutschen Markts zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie und Prognosen für 2030*

Daten zum Wasserstoffmarkt	Global	Europa**	Deutschland
Wasserstoffnachfrage 2015/2030 [TWh]	2.200/3.900	325/481-665	57/114
Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Markt* 2030 [Milliarden Euro]	125	35 - 85	17***
Arbeitsplätze 2030	1.500.000	275.000 - 900.000	70.000 (2019: 1.500)
<b>Mobilität//Verkehr 2030</b>			
Brennstoffzellenfahrzeuge	10. - 15.000.000 (2018: 13.000)	4.200.000	700.000 (2018: 500)
Bedarf an Tankstellen 2030	15.000	3.700 (2020: 130)	1.000 (2020: 85 <sup>269</sup> )

\* inklusive Equipment und Anwendungen  
 \*\* niedrige Zahlen: konservatives Szenario, hohe Zahlen: ambitioniertes Szenario  
 \*\*\* gleiche Wachstumsraten wie beim ambitionierten, europäischen Szenario  
 (Quelle: Weichenhain et al. (2020)<sup>270</sup>)

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 330 Unternehmen unter dem Stichwort „Wasserstoff“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 89 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 16 AGs
- 215 GmbHs
- 2 vollhaftende Personengesellschaften
- 60 teilhaftende Personengesellschaften
- 2 Einzelunternehmen

269 H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG 2020.

270 Weichenhain et al. 2020.

Die **Westfalen AG** zum Beispiel vertreibt Wasserstoff als alternativen Kraftstoff und betreibt eine Wasserstofftankstelle in Münster. Als Teil der CEP (Clean Energy Partnership) will die Westfalen AG bis zum Jahr 2023 circa 400 Wasserstoff-Stationen zur Verfügung stellen.<sup>271</sup>

**2G Energy**, ein international in der Herstellung von Blockheizkraftwerken führendes Familienunternehmen, wurde für sein innovatives Konzept, 100-prozentigen Wasserstoff in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen dauerhaft nutzbar zu machen, mit dem „Innovation Award“ der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft 2021 ausgezeichnet.

Ein weiteres Unternehmensbeispiel hinsichtlich der Nutzung von Wasserstoff ist das Unternehmen **ZINQ**. ZINQ begreift sich als Pionier in der Oberflächenbehandlung von Metallen und will Wasserstoff zur Herstellung von Prozesswärme nutzen.

## 5. Interview

ZINQ-Gruppe Voigt & Schweitzer GmbH Co. KG, Dr. Lars Baumgürtel (Geschäftsführender Alleingesellschafter):

Herr Baumgürtel sieht einen „[...] gewaltigen Hebel [...]“ in der Nutzung von Wasserstoff zur Prozesswärmeanwendung und will in einem selbst gegründetem Netzwerk in einem Projekt zeigen, dass „[...] für Prozesswärmeanwendungen Wasserstoff eine echte Option ist“.

Herr Baumgürtel begrüßt die Wasserstoff-Forschungsförderung grundsätzlich sehr: „Es ist gut, dass es sie [die Wasserstoffstrategie des Bundes] gibt.“ Er bemängelt aber ein Ungleichgewicht der Chancen zwischen großen Unternehmen und dem Mittelstand sowie die Transparenz der Förderprogramme: „Wasserstoff ist ein großes Thema und wird auch groß gefördert, ist aber nicht eben ausschließlich ein Thema für große Unternehmen und Großprojekte. [...] Gerade der Mittelstand, die Familienunternehmen, haben in verschiedenen Anwendungen mit besonderem Schwerpunkt in der Prozesswärme einen erheblichen Teil der Nachfrage und sie müssen auch die Chance bekommen, diese Nachfrage mit Wasserstoff befriedigt zu bekommen. [...] Es kostet unglaublich viel Zeit und unglaublich viel Energie, bis man wirklich weiß, unter welchen Rahmenbedingungen ein Projekt wie „Power to ZINQ“ aufgesetzt werden kann“.

Wasserstoff ist aus der Sicht von Herrn Baumgürtel für alle da und muss für alle bezahlbar sein, um die CO<sub>2</sub>-Ziele zu erreichen: „Natürlich muss Wasserstoff eine Commodity sein. [...] Wir müssen die Markthochlaufkurve irgendwie stemmen. Deswegen brauchen wir im Markthochlauf

---

<sup>271</sup> Westfalen AG 2020.

Instrumente wie beispielsweise carbon contracts for difference (CCFD)<sup>272</sup>. Aber es darf nicht sein, dass CCFD nur etwas für Großunternehmen und Großprojekte ist.“

Herr Baumgürtel sieht viele Facetten der Nachhaltigkeit und hat für ZINQ entschieden: „Zirkularität ist unser Geschäftsmodell; wir sind seit 2013 Cradle-to-cradle zertifiziert und sind damit auch eine Selbstverpflichtung zur Dekarbonisierung eingegangen“. Von der Regierung fordert er, dass sie „[...] den Mittelstand als hochinnovativ wahrnimmt und dringend erforderlich für das, was ansteht in der Nachhaltigkeit.“ Denn: „Familienunternehmen leisten einen erheblichen Beitrag zum öko-sozialen Zusammenhalten in unserer Gesellschaft.“

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Da der Energiebedarf der Wasserstoffproduktion für klimaneutrale Kraftstoffe und Gase sehr hoch ist, betrachten die Expert\*innen sowohl den Ausbau von Strom aus erneuerbaren Energien in Deutschland<sup>273</sup> als auch den mittel- und langfristigen Import von Power-to-X-Produkten als erforderlich. Im Rahmen der Nationalen Wasserstoffstrategie will Deutschland im Jahr 2030 circa zwölf Millionen Tonnen Wasserstoff aus Ländern mit hoher Sonneneinstrahlung (zum Beispiel Marokko) zukaufen, im Jahr 2050 sogar 40 Millionen Tonnen.<sup>274</sup>

Die Kraftstoffkosten aktueller Brennstoffzellenfahrzeuge sind schon heute mit einem durchschnittlichen benzinbetriebenen Kraftfahrzeug vergleichbar.<sup>275</sup> Um dieses Preisniveau mit Grünem Wasserstoff zu erzielen, müssen bis zum Jahr 2030 die Produktionskosten zwischen 1,50 und 3,0 Euro und Transportkosten von unter einem Euro je Kilogramm Wasserstoff liegen. Entscheidend für die zukünftigen Kosten sind vor allem lokale Rahmenbedingungen, wie die Nutzlast der Anlagen (vor allem bei der Elektrolyse) sowie lokale Rohstoffkosten (zum Beispiel für Strom, Biomasse oder CO<sub>2</sub>-Speicherung).<sup>276</sup>

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Um die prognostizierten Bedarfe und Kostenanforderungen zu erfüllen, ergeben sich für Familienunternehmen signifikante Marktchancen beim Ausbau von Kapazitäten zur Herstellung von Wasserstoff (zum Beispiel Power-to-Gas-Anlagen) und der benötigten Infrastruktur (zum Beispiel Tankstellen) sowie bei der Entwicklung der Anwendungssegmente.

---

272 CCFD helfen, die Kostendifferenz zwischen den neuen, treibhausgasneutralen Technologien und den bisherigen Technologien auszugleichen [Anmerkung der Autor\*innen].

273 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020c.

274 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020c.

275 H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG 2020.

276 Weichenhain et al. 2020.

Mit der Nationalen Wasserstoffstrategie schafft die Bundesregierung notwendige regulatorische Rahmenbedingungen für die Wasserstoffwirtschaft. Wasserstoff soll verlässlich, bezahlbar und nachhaltig erzeugt werden und durch Maßnahmen wie Befreiung von der EEG-Umlage, Förderung für Elektrolyseure oder passende Ausschreibungen unterstützt werden. Die verlässliche Nachfrage und ein verstärkter Einsatz von Wasserstoff sollen unter anderem durch eine Power-to-Liquids-Quote für Inverkehrbringer von Flugkraftstoffen, einer bedarfsgerechten Tankinfrastruktur und Investitionskostenzuschüsse zur Umstellung von konventionellen fossilen Technologien sichergestellt werden.<sup>277</sup> Auch die Einführung einer effektiven CO<sub>2</sub>-Besteuerung wäre hilfreich, um die Herstellung von Wasserstoff aus Elektrolyse bereits heute wettbewerbsfähig zu machen.<sup>278</sup>

Die Bundesregierung fördert bis zum Jahr 2023 grundlagenorientierte, anwendungsnahe Forschung sowie Reallabore mit 1,11 Milliarden Euro, Innovationen in Technologien mit einer Milliarde Euro und den Markthochlauf mit sieben Milliarden Euro sowie Investitionen in internationale Partnerschaften mit zwei Milliarden Euro. Neben Anwendungen in der Mobilität und Großindustrie werden auch Innovationen im Wärmemarkt – wie die Brennstoffzellenheizung – gefördert.

Ein erster Schritt zur Markteinführung sind Reallabore, die helfen sollen, die Wasserstofftechnologie in die industrielle Anwendung zu bringen. Als Folge der Markteinführung werden Skaleneffekte erwartet, die die Herstellkosten von grünem Wasserstoff deutlich senken sollen.<sup>279</sup>

## 8. Zusammenfassung

Wasserstoff ist ein flexibler Energieträger für erneuerbar erzeugten Strom in allen Energieverbrauchssektoren. Wenn es gelingt, die technischen Herausforderungen bei der Speicherung von Wasserstoff zu überwinden, ist er über längere Zeiträume speicherbar und wie konventionelle Gase in Pipelines oder per Lastverkehr zu transportieren. Dies stellt damit aus heutiger Sicht die vielversprechendste verfügbare Option zur Kopplung und Dekarbonisierung industrieller Sektoren und Defossilierung des Verkehrs dar.

Die Bundesregierung will Deutschland zu einer Vorreiterrolle führen, indem sie mit der Nationalen Wasserstoffstrategie ein bedeutendes langfristig und international ausgerichtetes Förderprogramm für die Forschung, Produktion, Infrastruktur und Nutzung von Wasserstoff aufgelegt hat. Vor diesem Hintergrund bieten sich für Familienunternehmen enorme Marktchancen in Deutschland, Europa und zukünftigen Partnerländern, zum Beispiel in der MENA (Middle

---

277 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020b.

278 Weichenhain et al. 2020.

279 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020b.

East & North Africa)-Region, wenn sie frühzeitig Potenziale für Wasserstoff identifizieren und nutzen. Die Wasserstoffstrategie ermöglicht es Familienunternehmen, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit optimal zu verzahnen.



## XII. Luftreinhaltung

### 1. Definition

Die Reinhaltung der Luft umfasst die Entstehung der Luftverunreinigungen (Emission), ihre Ausbreitung und Umwandlung in der Atmosphäre (Transmission), die Wirkungen auf Menschen, Tiere, Pflanzen und Sachgüter (Immission), Luftreinhaltetechnologien sowie Emissionsüberwachungen.<sup>280</sup> Maßnahmen zur Luftreinhaltung sind sowohl gesetzliche Vorgaben (zum Beispiel Grenzwerte für Schadstoffe) als auch technischen Schritte (zum Beispiel Luftfilter).

Angelehnt an das Bundes-Immissionsschutzgesetz<sup>281</sup> sind (i) Luftverunreinigungen „Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe und Geruchsstoffe“ und (ii) Luftschadstoffe „Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen“.

Als wichtigste Ursache der Luftverschmutzung gilt der Mensch, der vor allem bei der Verbrennung fossiler Energieträger (Heizung, Energiegewinnung, Verkehr), in der Landwirtschaft und der Produktion von Gütern Stickoxide, Schwefelwasserstoff, Kohlenmonoxid, organische Komponenten (zum Beispiel Benzol, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und Aldehyde) sowie Stäube emittiert. Einige Emissionen können Tage bis Wochen in der Atmosphäre verweilen und so weiträumig transportiert werden. Sofern sie eine Schädigung auf den Menschen, Tiere, Pflanzen und unbelebte Gegenstände entfalten, werden sie als Immissionen bezeichnet.<sup>282</sup>

Der Rahmen der Luftreinhaltung ist durch europäische Richtlinien zur Luftqualität und zu Grenzwerten vorgegeben. Die einzelnen Staaten bis zu den lokal verantwortlichen Kommunen entwickeln auf dieser Basis eigene Luftreinhaltepläne.

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Der Europäischen Umweltagentur (EEA) zufolge starben im Jahr 2018 etwa 400.000 Europäer\*innen vorzeitig an Luftverschmutzung<sup>283</sup>. Im Jahr 2050 wird Luftverschmutzung voraussichtlich die wesentlichste umweltbedingte Ursache für das frühzeitige Sterben von Menschen sein. In städtischen Ballungszentren sind vor allem verkehrsbedingte Emissionen und private Holz- und Kohleöfen für Augenreizungen und Störungen der oberen Atemwege

---

280 Baumbach 1994.

281 Bundesamt für Justiz und Verbraucherschutz (BMJV) 2013.

282 Schultz 1998.

283 European Environment Agency (EEA) 2019.

bis hin zu chronischen Atemwegserkrankungen verantwortlich.<sup>284</sup> Für 86,8 Prozent der Bevölkerung in Deutschland wird der WHO-Richtwert von zehn Mikrogramm pro Kubikmeter für PM<sub>2,5</sub> (lungengängiger Feinstaub) im Jahr 2019 im Jahresmittel nicht eingehalten.<sup>285</sup>

Gesundheit ist ein zentrales Schutzgut der Nachhaltigkeitsziele, das präventiv zu sichern ist. In SDG 3: „Gesundheit und Wohlergehen“ wird explizit die Luftreinhaltung als Maßnahme gegen die Luftverschmutzung adressiert und in SDG 11: „Nachhaltige Städte und Gemeinden“ die Reduzierung der städtischen Umweltbelastung pro Kopf mit Fokus auf Luftqualität und Abfallbehandlung gefordert. Die Verbesserung der Volksgesundheit infolge besserer Luftreinhaltung steigert gerade bei einkommensschwachen und/oder von Armut betroffenen Haushalten, die oft noch fossile Brennstoffe wie Holz und Kohle zum Kochen und Heizen nutzen, die Chancen auf dem Arbeitsmarkt und trägt direkt zu SDG 1: „Armut beenden“ bei.<sup>286</sup>

Die Luftbelastung gilt in der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie als Indikator für die Erreichung von SDG 3 bis zum Jahr 2030 mit den folgenden Zielen:

- Reduktion der Emissionen von Schwefeldioxid, Stickstoffoxid, Ammoniak, flüchtigen organischen Verbindungen und Feinstaub auf 55 Prozent vom Jahr 2005 bis in das Jahr 2030
- Möglichst flächendeckende Erreichung des Feinstaub-WHO-Richtwerts von 20 Mikrogramm/Kubikmeter für PM<sub>10</sub> (Feinstaub) im Jahresmittel

Aus den Nachhaltigkeitszielen mit Bezug zur Luftreinhaltung resultiert die thematische Strategie „Clean Air for Europe“ (CAFE)<sup>287</sup> mit Maßnahmenvorschlägen, wie zum Beispiel eine Revidierung der Richtlinie über nationale Emissionshöchstmengen und einheitliche Regelungen für Kleinf Feuerungsanlagen.

Für die Luftreinhaltung ergibt sich ein sogenannter Co-Benefit aus der Erreichung der Klimaschutzziele (SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“), die eng mit der Reduzierung von Luftschadstoffen verbunden sind (mehr regenerative, saubere Energien, Verzicht auf fossile Brennstoffe). Dieser „doppelte“ Gewinn schafft erhebliche Anreize für die Politik, Klimaschutz- und Luftreinhaltemaßnahmen umzusetzen.<sup>288</sup>

---

284 Doyle et al. 2020.

285 <https://www1.compareyourcountry.org/environment-air-quality/en/3/1603/default>, zuletzt geprüft: 15.12.2020.

286 Bornhold et al. 2020.

287 Europäische Kommission 2019b.

288 Scovronick 2019.

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Der weltweite Markt für die industrielle Luftreinhaltung (ohne Haushalte und Verkehr) betrug im Jahr 2017 17,75 Milliarden US-Dollar mit einer Wachstumsrate von 4,4 Prozent bis in das Jahr 2025. Das europäische Marktvolumen betrug im Jahr 2017 3,64 Milliarden US-Dollar mit einer Wachstumsrate von drei Prozent bis in das Jahr 2025. Dabei teilen sich die Marktanteile auf die Technologien in Europa im Jahr 2017 wie folgt auf [in Milliarden US-Dollar, in Klammern Wachstumsrate bis 2025 in Prozent]:

Feststoffabtrennung: 1,61 (+1,9), Adsorption: 0,34 (+1,5), Oxidation: 0,46 (+4,1), NO<sub>x</sub>-Kontrolle: 0,19 (+3,2) und Monitoring: 0,32 (+5,1).<sup>289</sup>

Die Luftreinigungssparte des VDMA (Verein Deutscher Maschinen- und Anlagenbau) berichtet, dass mit weltweiten Exporten von mehr als 100 Milliarden Euro die Lufttechnikprodukte einen Anteil von annähernd zehn Prozent am Welthandel des Maschinenbaus von 1.050 Milliarden Euro (2017) einnehmen.<sup>290</sup>

Der europäische Markt für die Luftreinhaltung ist überwiegend ein Markt für Sanierung und Instandsetzung, da infolge der strikten Gesetzgebung bereits flächendeckend Anlagen – insbesondere im Bereich der Kohlekraftwerke, Zement-, Chemie- und Metallindustrie – zur Luftreinhaltung installiert sind. Entsprechend dieser Anwendungsbereiche sind Stickoxide, Schwefeloxide und flüchtige organische Komponenten die wesentlichen Luftverschmutzungen, gegen die in Europa mit Luftreinhaltesystemen vorgegangen wird.<sup>291</sup>

Gemäß F&S (2018)<sup>292</sup> wird die Nasswäscher-Technologie mit zunehmender Biogasproduktion in Deutschland Marktanteile hinzugewinnen. Bei der Entfernung leicht flüchtiger organischer Komponenten aus chemischen und pharmazeutischen Produktionsprozessen kommen vor allem thermische und katalytische Oxidationsprozesse zum Einsatz. Im innerstädtischen Bereich wächst infolge hoher Feinstaubbelastung der Bedarf an innovativen Staubfiltern.

Europa und Nordamerika sind führend im Bereich Forschung und Entwicklung fortschrittlicher industrieller Luftreinigungssysteme inklusive moderner Monitoringtechnologien. Treiber dafür sind auch die offiziellen Institutionen, die zunehmend ein smartes Monitoring in der

---

289 Global Energy & Environment Research Team at Frost & Sullivan 2018.

290 VDMA Allgemeine Lufttechnik 06.06.2019.

291 Global Energy & Environment Research Team at Frost & Sullivan 2018.

292 Global Energy & Environment Research Team at Frost & Sullivan 2018.

behördlichen Überwachung fordern. F&S (2018)<sup>293</sup> prognostiziert dem Internet of Things und der Automatisierung (vgl. Steckbrief XV. Digitalisierung) große Wachstumspotenziale in Europa.

In der Luftreinhaltung wird zwischen Innenraum- und Außenraumanwendungen unterschieden. Insbesondere Innenraumfiltern, die zur Entfernung von Feinstaub und Bakterien beziehungsweise Viren in Tunneln, Flughäfen, Parkgaragen, öffentlichen Transportmittel oder Büroräumen dienen, wird grundsätzlich – jedoch umso mehr vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie – ein großes Marktwachstum prognostiziert.<sup>294</sup>

#### **4. Beitrag von Familienunternehmen**

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 87 Unternehmen unter dem Stichwort „Luftreinhaltung\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 92 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 1 AGs
- 70 GmbHs
- 8 teilhaftende Personengesellschaften
- 1 Einzelunternehmen

Die **MANN+HUMMEL GmbH** ist ein innovativer, in Familienbesitz befindlicher Hersteller für Filtersysteme zur Luftreinhaltung, der bereits Ende des Jahres 2017 einen Feinstaubfilter als Unterbodensystem für Fahrzeuge (zum Beispiel für den StreetScooter von DHL) zur Marktreife geführt hat.

#### **5. Interview**

MANN+HUMMEL GmbH, Dr. Gunnar-Marcel Klein (Vice President Engineering LS&E):

Herr Dr. Klein zur Bedeutung der Luftreinhaltung für die Umwelt: „die Welt ist deutlich sauberer geworden in den letzten Jahrzehnten [...] und die Filtrationstechnologie ist die Schlüsseltechnik dafür“. Er sieht Umweltschutz und Nachhaltigkeit als Geschäftszweck des Unternehmens: „...für Menschen und für Umwelt saubere Fluide zur Verfügung stellen.“

---

293 Global Energy & Environment Research Team at Frost & Sullivan 2018.

294 Khandewal und Sumant 2019.

Die Reduktion des ökologischen Fußabdrucks wird seiner Meinung nach in erster Linie durch die Verbesserung des Filterbetriebs, der 90 Prozent des CO<sub>2</sub>-Fußabdrucks ausmacht („Zehn Prozent weniger Druck heißt zehn Prozent weniger Energiebedarf“) und durch Kreislaufprozesse (zum Beispiel zur Energierückgewinnung) erreicht. Der Einsatz von Rezyklatmaterialien ist wichtig, aber demgegenüber zweitrangig. MANN+HUMMEL ist Mitglied der Eurovent, die sich selbst zur Einhaltung von Effizienzklassen verpflichtet. Deutschland sieht Herr Dr. Klein mit seinen hohen Umweltstandards als Impulsgeber für weltweite Anwendungen, verweist aber auch auf die mittlerweile sogar teils höheren Standards in China.

Ganz generell und aktuell vor dem Hintergrund der Corona-Pandemie wünscht sich Herr Dr. Klein von der Politik mehr Beteiligung an politischen Entscheidungsprozessen: „Einfach auch mal den Fachleuten zuhören und hier auch mal wirklich Best-Performer-Technologien [...] anschauen“. Zudem schlägt er den politischen Entscheidungsträgern vor, erst technische Filterlösungen zu erwägen und entsprechend die Forschung und Anwendung zu fördern, bevor Vorschriften wie ein Fahrverbot bei Feinstaubalarm angeordnet werden.

Gesetze schaffen aus Herrn Dr. Kleins Sicht Klarheit für die Wirtschaft: „Es ist eine Chance für die Wirtschaft, dort auf ein nächstes Level zu gelangen, was die Nachhaltigkeit angeht und auch eine Chance [...] für die hochqualifizierte Beschäftigung“. Allerdings wünscht er sich möglichst länderübergreifende einheitliche Richtlinien und höhere Umsetzungsgeschwindigkeiten.

Gerade vor dem Hintergrund neuer Märkte wie Smart Cities und Smart Home begreift er die Digitalisierung als Chance, zum Beispiel Künstliche Intelligenz für optimale Filterauslegung im Bauraum, bedarfsgerechter Betrieb mittels App-gesteuerter Sensoren, digitaler Zwilling zur Optimierung der Fasermaterialien – alles Bereiche, in denen MANN+HUMMEL bereits aktiv ist. Bei der Umsetzung solcher umfangreichen Entwicklungen sieht Herr Dr. Klein die langfristigen und nachhaltigen Wirtschaftsstrategien als Stärke.

## **6. Herausforderungen und Hemmnisse**

Sämtliche Marktstudien zeigen, dass die Luftreinhaltung in den nächsten Jahren in allen Segmenten wachsen wird, ohne dass explizite Hemmnisse zu erwarten sind. Allerdings können die ständig und schnell wachsenden Ansprüche an saubere Luft und damit einhergehenden verschärften Verordnungen wie zum Beispiel in der neuen TA Luft<sup>295</sup> nicht nur Treiber für neue Luftreinhaltetechnologien, sondern auch eine große Herausforderung für die Flexibilität der Hersteller sein, da sich diese auf kurze Produktlebenszyklen einstellen müssen.

---

295 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2018c.

Insbesondere das Klimaaktionsprogramm der deutschen Bundesregierung zwingt die Branche der Luftreinhaltung dazu, sich neu am Markt zu orientieren, da das umsatzstärkste Segment der Luftreinhaltung, die Kohlekraftwerke, in den nächsten Jahrzehnten zumindest in Deutschland und Europa zugunsten alternativer und vor allem auch sauberer Energien deutlich reduziert wird.

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Das weltweite Bewusstsein für den Umweltschutz und die gesundheitlichen Folgen der Luftverschmutzung auf der einen Seite und die zunehmende Industrialisierung auf der anderen Seite haben dazu geführt, dass die Europäische Kommission in den letzten Jahren diverse Vorschriften, wie beispielsweise die Richtlinie 2008/50/EG über Luftqualität und saubere Luft für Europa, die Richtlinie 2010/75/EU über Industrieemissionen sowie die Richtlinie 2016/2284/EU (NEC National Emission Ceilings Directive) über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, erlassen hat. In Deutschland wurde die NEC-Richtlinie im Jahr 2019 in das nationale Luftreinhaltprogramm mit einem Fokus auf Feinstaub umgesetzt und resultierte im Dezember des Jahres 2020 in der neuen Technischen Anweisung (TA Luft).<sup>296</sup> Diese bringt Prüfverfahren für die Genehmigung auf den aktuellen Stand der Technik und passt EU-Standards an. Erstmals wurden auch Anforderungen für Biogasanlagen formuliert. Es werden aber auch Anreize geschaffen, wie zum Beispiel Fördermaßnahmen für Kommunen, um die Straßenverkehrsemissionen zu reduzieren.

Die hohe Dynamik in der Gesetzgebung und Förderlandschaft schafft nicht nur neue Absatzmärkte, sondern stimuliert technologische Innovationen im Bereich der Filtertechnik und der Emissionsüberwachung. Vor allem bei intelligenten Monitoringsystemen von Luftschadstoffen und der Automatisierung von Filteranlagen eröffnen die Methoden der Künstlichen Intelligenz, das Internet der Dinge, Predictive Maintenance, Fernwartung und die neuen Datenübertragungsmöglichkeiten des low power wide area network (LPWAN) neue Ansätze für technische Innovationen. Zum Beispiel hat das Umweltbundesamt die Smartphone-App „Luftqualität“ entwickelt, die stündlich aktualisierte Daten für die gesundheitsgefährdenden Schadstoffe Feinstaub (PM<sub>10</sub>), Stickstoffdioxid und Ozon zur Verfügung stellt. Fernüberwachung von Luftverschmutzungen werden in Zukunft realisierbar. Und auch die steigende Anzahl an Rechenzentren und Serverräumen erfordert hochwertige Filtertechnik.

Weitreichende Zukunftsperspektiven eröffnet der European Green Deal<sup>297</sup> den Familienunternehmen der Branche mit umfangreichen Vorschlägen zur Verbesserung der Luftreinhaltung. Beispiele hierfür sind strengere Grenzwerte für Luftschadstoffemissionen von Fahrzeugen mit

---

296 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) 2002.

297 Europäische Kommission 2019a.

Verbrennungsmotor, einen Null-Schadstoff-Aktionsplan für Luft, Wasser und Boden sowie Überarbeitung der Luftqualitätsnormen.

## **8. Zusammenfassung**

Die Luftreinhaltung ist eine der ersten anerkannten Umwelttechnologien überhaupt, deren Ursprung auf die Smog-Katastrophe in London im Jahr 1952 zurückgeht, bei der bis zu 12.000 Menschen verstarben. Als Folge der Katastrophe wurde im Jahr 1956 der erste Clean Air Act beschlossen. Bis in die Gegenwart bleibt der wesentliche Treiber für die Luftreinhaltung die nationale und internationale Gesetzgebung. In Zukunft werden auch die Nachhaltigkeitsziele, vor allem SDG 3: „Gesundheit und Wohlergehen“, die Entwicklung und Umsetzung von Maßnahmen zur Luftreinigung vorantreiben.

In Deutschland ist der Markt für Luftreinhaltungssysteme relativ stark gesättigt, sodass Auf- und Umrüstung sowie Instandsetzung den Markt bestimmen, während insbesondere in den asiatischen Staaten noch ein großer Bedarf an neuen Luftreinhaltungssystemen – vorrangig im Bereich der Kraftwerkstechnik – besteht. Dieser Markt wird in Deutschland jedoch infolge der Klimamaßnahmen immer weiter zurückgehen. Sowohl die Behörden als auch die Hersteller von Luftreinhaltungssystemen versprechen sich von neuen digitalen Überwachungssystemen und Geschäftsmodellen wie Predictive Maintenance weitere Effizienzsteigerungen.



RECYCLABLE-RENEWABLE-RECYCLABLE

emballator  
MEL VERHUIJ PLAST

## XIII. Biokunststoffe

### 1. Definition und Wirkungsprinzip

Der Begriff „Biokunststoff“ bezeichnet unterschiedliche Materialien und wird auch verschieden ausgelegt. Die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) definiert: „Biokunststoffe bestehen zu einem wesentlichen Anteil oder ausschließlich aus nachwachsenden Rohstoffen. Biokunststoffe sind also biobasierte/biogene Kunststoffe.“<sup>298</sup> European Bioplastics (EUBP) und das Institut für Biokunststoffe und Bioverbundwerkstoffe (IfBB) erklären: „Es handelt sich um einen Biokunststoff, sobald ein Kunststoff zum Teil oder vollständig aus nachwachsenden Rohstoffen besteht (biogener/biobasierter Kunststoff), aber auch, [...] wenn eine biologische Abbaubarkeit (biologisch abbaubarer Kunststoff) gegeben ist.“<sup>299, 300</sup> Die Verbraucher\*innen dürfen also nicht davon ausgehen, dass Biokunststoffe grundsätzlich auch biologisch abbaubar sind. Für biobasierte Kunststoffe dienen meist stärke- oder cellulosereiche Pflanzen als Rohstoffe, in sehr seltenen Fällen auch tierische Produkte. Die biologisch abbaubaren Kunststoffe basieren meist auf thermoplastischer Stärke, Cellulose, Polylactid oder abbaubaren Polyestern, die zum Teil auch aus Erdöl hergestellt werden. Das Abbauverhalten kann nur in praktischen Versuchen überprüft und festgestellt werden.<sup>301</sup>

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Biokunststoffe sind Teil des Aktionsplans der Kreislaufwirtschaft für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa, mit dem die Abfallvermeidung und das Kreislaufprinzip für eine schadstofffreie Umwelt gefördert werden sollen. Dieser Aktionsplan unterstreicht die Notwendigkeit, erdölbasierte Kunststoffe zu ersetzen, nicht zuletzt, um den Ressourcenverbrauch und damit auch den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu verringern und die Kreislaufwirtschaft zu stärken.<sup>302</sup>

Biokunststoffe leisten direkt einen Beitrag zu SDG 12: „Nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen“ und SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“.

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Bei der Kunststoffindustrie, bestehend aus der Kunststofferzeugung, -verarbeitung und dem Kunststoffmaschinenbau, handelt es sich um eine Schlüsselindustrie in Deutschland. Sie liefert innovative Produkte und Lösungen für wichtige Industriezweige wie das Baugewerbe, die Ernährungsindustrie, die Automobilproduktion, die Elektroindustrie, den Maschinenbau

---

298 Peterek 2020.

299 European Bioplastics (o.J.).

300 Institute for Bioplastics and Biocomposites (IfBB) 2017.

301 Umweltbundesamt (UBA) 2020b.

302 Europäische Kommission 2020b.

und die Chemieindustrie.<sup>303</sup> Auch ökonomisch ist die deutsche Kunststoffindustrie mit rund sechs Prozent Anteil an der deutschen Industrieproduktion ein wesentlicher Industriesektor. Rund 421.000 Menschen fanden hier in Deutschland im Jahr 2019 einen Arbeitsplatz in etwa 3.500 Unternehmen mit einem Umsatzvolumen von rund 97 Milliarden Euro.<sup>304</sup> Allerdings ging der Umsatz im 2. Quartal des Jahres 2020 im Verhältnis zum Vorjahr um rund zehn Prozent zurück.<sup>305</sup> Der Großteil des Marktes scheint sich in den Händen der sogenannten Global Player zu befinden. F&S (2019) führt in einer Studie internationale Namen wie DuPont, DSM, BASF, NatureWorks, Corbion oder Novamont an, die sich eigene Forschungs- und Entwicklungsabteilungen für Biokunststoffe leisten können und daher ein hohes Innovationspotenzial aufweisen. Die Studie empfiehlt eine Aufstockung des Biokunststoffzweiges, wenn Wachstum weiter möglich sein soll.<sup>306</sup>

Expert\*innen gehen von einem Wachstum des Weltmarktes in den nächsten fünf Jahren um mehr als 15 Prozent aus. Ausgehend von einer zurzeit bei 2,1 Millionen Tonnen liegenden globalen Bioplastikproduktion könnte der Wert auf 2,4 Millionen Tonnen im Jahr 2024 steigen.<sup>307</sup>

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 18 Unternehmen unter dem Stichwort „Biokunststoff\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 94 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 15 GmbHs
- 2 teilhaftende Personengesellschaften

Der Beitrag von deutschen Familienunternehmen im Bereich Biokunststoffe scheint ausbaufähig zu sein. Es existieren nur wenige Start-ups, einige kommen zudem aus dem benachbarten Ausland (zum Beispiel Österreich, Niederlande, Schweiz) und haben in Deutschland nur Dependancen, wobei die meisten der in der MARKUS-Unternehmensdatenbank angeführten Firmen sich ausschließlich mit dem Vertrieb von Biokunststoffprodukten befassen.

Eines der hier angesiedelten Familienunternehmen ist die Firma **Jokey**, die seit 1968 im Kunststoffsektor tätig ist und auch biobasierte Kunststoffe speziell für Verpackungslösungen

---

303 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) 2020.

304 PlasticsEurope Deutschland e. V. 2020a.

305 PlasticsEurope Deutschland e. V. 2020b.

306 Frost & Sullivan 2019a.

307 European Bioplastics 2019.

herstellt.<sup>308</sup> Die besondere Innovation dieses Familienunternehmens zeigt sich in der großen Anzahl von Patenten, die sich in der Patentdatenbank PatBase finden lassen (86 Treffer).

Ein weiteres Beispielunternehmen ist die **FKuR Kunststoff GmbH** (FKuR: Forschungsinstitut Kunststoff und Recycling), ein 1992 gegründetes familiengeführtes Unternehmen. Seit der Neugründung im Jahr 2003 entwickelt FKuR innovative Biokunststoffe.

## 5. Interview

FKuR Kunststoff GmbH, Carmen Michels (Mitglied der Geschäftsführung):

Seit mehr als zwanzig Jahren sind die treibenden Motivationsquellen für das Familienunternehmen FKuR die Ressourcenschonung und der Erhalt des ökologischen Gleichgewichts. „Unsere Passion sind die Biokunststoffe und unsere Kunden sind unsere wichtigsten Partner.“ Die Mitarbeit in einem Familienunternehmen wird dabei zur gelebten Praxis, denn so Frau Michels: „Wir wollen mit unserer Umwelt und den Menschen, die uns umgeben, wie in einer Familie agieren. Das ist vor allem das, was uns auch inhaltlich als Unternehmen ausmacht.“ Als besonders hilfreich für das Vorantreiben der eigenen Innovationen beschreibt Frau Michels das in den letzten Jahren gesamtgesellschaftlich angestiegene Bewusstsein für nachhaltiges Handeln. Dieser Wandel sei vor allen Dingen bei den jüngeren Generationen spürbar und zeige sich aber auch von politischer Seite aus in einer offeneren Diskussion um innovative Produkte im Umweltbereich und damit letztendlich auch bei deren Förderung. Eine breit angelegte Aufklärungsarbeit gegenüber den Verbraucher\*innen sei jedoch vor allem in Deutschland weiterhin erforderlich, da die Diskussion dort oftmals an Akzeptanzproblemen scheitere, die zum Teil auf falsch begründeten Vorurteilen beruhen. Als weiteres Hemmnis benennt Frau Michels das Thema der Standardisierungen. Diese seien zwar in einigen Fällen, wie etwa bei der Identifikation nachhaltiger Produkte, sinnvoll. Auf der anderen Seite würden Standardisierungen jedoch zum Teil kreislaufgerechtes Handeln erschweren, da dort beispielsweise der Einsatz von Rezyklatmaterial verhindert würde, obwohl es aus technologischer Sicht dazu keine Restriktionen gäbe. Wünschenswert für die Zukunft wäre es, „[...] wenn die biobasierten Produkte in der Legislative einen ähnlichen Rückenwind erfahren würden wie das Recycling [...] und es zudem ein größeres Rohstoffangebot gäbe“. Denn bereits heute überschreite die Nachfrage das Angebot in einigen Bereichen deutlich. In puncto Digitalisierung sieht das Familienunternehmen zuvorderst in den Bereichen Kund\*inneninteraktion und Vertrieb in Zukunft vielfältige Einsatzmöglichkeiten. Laut Frau Michels bilden dafür die Organisationsstrukturen gerade innerhalb von Familienunternehmen optimale Bedingungen, da man hier „[...] sehr schnell Themen umsetzen und agil auf bestimmte Anforderungen aus einem sich verändernden Arbeitsumfeld agieren kann“. Fragen der Sicherheit gegenüber sensiblen

---

*Biobasierte  
Produkte sollten  
in der Legislative  
einen ähnlichen  
Rückenwind  
erfahren wie das  
Recycling*

---

---

308 Jokey 2020.

Daten steht Frau Michels jedoch bisweilen aufgrund der zurzeit üblichen Cloud-Lösungen eher skeptisch gegenüber.

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Der Kunststoffmarkt ist zurzeit noch deutlich bestimmt durch erdölbasierte Produkte, der Marktanteil der biobasierten Polymere bleibt konstant bei rund zwei Prozent.<sup>309</sup> Laut einer Studie des nova-Instituts existiert für jede Kunststoffanwendung mittlerweile eine biobasierte Alternative.<sup>310</sup> Allerdings müssen Biokunststoffe in ausreichender Menge zur Verfügung gestellt werden und preislich konkurrenzfähig zu ihren fossilen Pendanten sein. Andernfalls müssen sie einen Mehrwert bieten, der den Preisunterschied rechtfertigt.<sup>311</sup>

Biokunststoffe stehen in dem Ruf, dass ihre Ausgangsprodukte (nachwachsende Rohstoffe) in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion stehen. Albrecht et al. (2016)<sup>312</sup> halten diesem Vorwurf Folgendes entgegen: Im Jahr 2014 wurden 0,001 Prozent der globalen Landfläche für Biokunststoffe genutzt, was eine deutlich kleinere Fläche ist als die beispielsweise für Biokraftstoffe benötigte.

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Expert\*innen der European Bioplastics sehen große Chancen für Biokunststoffe, nicht zuletzt, da diese nach ihrer Ansicht mehr und mehr von Verbraucher\*innen gewünscht werden. Rumm (2016)<sup>313</sup> konstatiert jedoch, dass die Endverbraucher\*innen in der Regel nicht sehr gut über die Unterschiede zwischen konventionellen und Biokunststoffprodukten informiert sind: Sie sind der Meinung, dass Biokunststoffe teurer und von minderer Qualität sind. Gleichzeitig wird das Wachstum auch durch besonders innovative Biopolymere angetrieben. Dazu zählen zum Beispiel Polyhydroxyalkanoate (PHAs), bakteriell hergestellte Polyester, die über hervorragende physikalische und mechanische Eigenschaften verfügen und zudem biobasiert sowie biologisch abbaubar sind. Rund 44 Prozent der weltweiten Produktionskapazitäten für Biokunststoffe entfallen zurzeit auf Polyethylen (PE) und Polyethylenterephthalat (PET), die biobasiert, aber nicht biologisch abbaubar sind. Während bei PE ein weiteres Wachstum erwartet wird, bleiben die Produktionskapazitäten bei PET hinter früheren Prognosen zurück. Der Trend geht stattdessen in Richtung eines neuen Polymers, dem Polyethylen-Furanoat – PEF, das PET-ähnlich,

---

309 Bioökonomie.de 2019a.

310 Bioökonomie.de 2019a.

311 Ceresana eK 2020.

312 Albrecht et al. 2016, S. 58.

313 Rumm 2016, S. 10-11.

aber vollständig biobasiert ist. Das Material befindet sich noch in der Entwicklung und wird voraussichtlich erst im Jahr 2023 auf den Markt kommen.<sup>314</sup>

## **8. Zusammenfassung**

Die Zukunft für Biokunststoffe sieht bezogen auf Forschung und wirtschaftliche Analysen positiv aus, allerdings müssen die Verbraucher\*innen gut informiert werden, damit Akzeptanz erzeugt und ein umweltfreundliches Verhalten – zum Beispiel in Bezug auf die Entsorgung – möglich wird.<sup>315</sup> Das größte Anwendungsgebiet für Biokunststoffe ist aufgrund deren Eigenschaften bislang die Verpackungsbranche. Mittlerweile werden Biokunststoffe aber auch vermehrt in der Automobilindustrie und im Transportwesen eingesetzt.<sup>316</sup>

---

314 Bioökonomie.de 2019b.

315 Maier 2018.

316 Bioökonomie.de 2019b.



## XIV. E-Fuels

### 1. Definition

E-Fuels oder auch strombasierte Kraftstoffe sind synthetische Brennstoffe, die durch die Umwandlung von Wasser und CO<sub>2</sub> in chemische Energieträger unter Nutzung von erneuerbarem elektrischem Strom entstehen. Technisch betrachtet wird dabei Wasserstoff in einer Elektrolyse mittels regenerativer Energien erzeugt (vgl. Technologiesteckbrief XI: Wasserstofftechnologie) und entweder direkt genutzt oder mit Kohlenstoff (meist Kohlendioxid), zum Beispiel aus Industrieabgasen oder aus der Luft, zu einem idealerweise treibhausgasneutralen Kohlenwasserstoff zusammengesetzt.<sup>317</sup> Dieser Prozess und die daraus entstehenden Produkte werden als Power-to-Products (PtP) und im Fall von E-Fuels als Power-to-Fuels (PtF) bezeichnet. Der Einsatz von E-Fuels in konventionellen Verbrennungsmotoren wird in Gegenüberstellung zu herkömmlichen Elektrofahrzeugen auch als indirekte Elektrifizierung bezeichnet.<sup>318</sup>

Produkte können Wasserstoff, Methan oder synthetische Otto- und Dieselmotorkraftstoffe sowie Kerosin sein.<sup>319</sup> In einigen Studien wie der des Öko-Instituts (2020)<sup>320</sup> wird Wasserstoff nicht zu den E-Fuels gerechnet. Gasförmige E-Fuels werden als Power-to-Gas (PtG) und flüssige E-Fuels entsprechend als Power-to-Liquid (PtL) bezeichnet.

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Die klimaneutrale Herstellung von E-Fuels bedeutet weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen und leistet damit in Übereinstimmung mit dem SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“ einen positiven Beitrag zu den angestrebten Treibhausgaseinsparungen im Verkehrssektor bis zum Jahr 2030.<sup>321, 322</sup> Ein klimaneutraler Kohlenstoffkreislauf mit der Umgebungsluft ist allerdings nur dann möglich, wenn das Kohlendioxid zunächst für die Herstellung der E-Fuels direkt mittels Direct Air Capture<sup>323</sup> sowie aus industriellen Abgasströmen oder indirekt über Biomasse aus der Atmosphäre entnommen wurde. E-Fuels reduzieren in der Regel zudem die NO<sub>x</sub>-Emissionen und den Rußanteil bei der Verbrennung, sodass auch die Ansprüche des SDG 11: „Nachhaltige Städte und Gemeinden“ nach einer Verringerung der Luftverschmutzung in Städten erfüllt werden.<sup>324</sup> Außerdem stehen E-Fuels im Gegensatz zu einigen Biokraftstoffen nicht in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln (Tank-Teller-Diskussion).

---

317 Siegemund et al. 2017.

318 Maus 2019, S. 116, 126.

319 Agora Verkehrswende 2019b.

320 Kasten 2020.

321 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2016, S. 8.

322 Maus 2019, S. 115.

323 Direct air capture bezeichnet (Filter-)Verfahren zur Gewinnung von Kohlenstoffdioxid aus der Umgebungsluft.

324 Hobohm 2018.

Gemäß Ökoinstitut (2020)<sup>325</sup> sind „wirksame und langfristig anwendbare Nachhaltigkeitsanforderungen an die Kraftstoffproduktion [...] die Voraussetzung für die Investitionssicherheit in diese Technologie.“ Ein erster Schritt in diese Richtung sind die Kriterien zur Bewertung der Treibhausgasemissionen von E-Fuels, die die Europäische Union im Rahmen der Erneuerbare-Energien-Richtlinie spätestens Ende des Jahres 2021 erstmalig festlegen wird.

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Der Industriestandort Deutschland bietet der Kohlenstoffwirtschaft zukünftig – auch ohne fossile Rohstoffe – vorteilhafte Voraussetzungen, um entsprechende Innovationstreiber anzusiedeln.<sup>326</sup> Die deutschen Raffineriestandorte können nach Anpassungsinvestitionen auch PtL-Rohstoffe zu E-Fuels verarbeiten. Zudem gilt Deutschland derzeit als führend bei der Entwicklung von Elektrolyseuren und Umwandlungstechnologien (Methanisierung, Methanol-, Fischer-Tropsch-Synthese).

Ein Marktvorteil von E-Fuels ist, dass sie für bestimmte Verkehrssektoren wie Schifffahrt, Luftfahrt oder im Bereich schwerer Maschinen (zum Beispiel Traktoren, Baufahrzeuge) sowie Langstreckentransporte unerlässlich sind, da die entsprechenden Fahrzeuge aus heutiger Sicht nicht elektrifizierbar sind.

F&S (2020)<sup>327</sup> zählt in einer umfassenden Studie zur Entwicklung von Power-to-X Technologien die deutschen Unternehmen Siemens AG und MAN Energy Solutions zu den drei wichtigsten Global Playern im Bereich PtF. MAN – so die Studie – hat bereits eine 50-Megawatt PtF-Anlage für den Verkauf entwickelt. Audi hat mit seinem Pilotprojekt in Werlte eine Vorreiterrolle für den Verkehrssektor eingenommen: In der dortigen Anlage wird Methan auf der Basis von regenerativ erzeugtem Strom und CO<sub>2</sub> aus einer Biogasanlage erzeugt und ins Netz eingespeist; die Fahrzeugbesitzer\*innen tanken bilanziell erneuerbares Methan (E-Gas) an der Tankstelle.<sup>328</sup>

Die H&R Refining GmbH und die Mabanft GmbH & Co. KG haben Ende 2020 eine Vereinbarung über die Gründung des Joint Ventures P2X Europe unterzeichnet, das klimaneutrale Produkte wie E-Fuels abnehmen und vermarkten will. Zudem realisiert H&R eine Pilotanlage an seinem Hamburger Produktionsstandort, um aus dem bereits dort produzierten Grünen Wasserstoff und Kohlendioxid synthetische Rohwachse und Kraftstoffe klimaneutral zu erzeugen.

---

325 Kasten 2020.

326 Fraunhofer-Institut UMSICHT 2017a, S. 61f.

327 Frost & Sullivan 2020.

328 Wagemann und Ausfelder 2017.

Allerdings hängt der Markthochlauf entscheidend von der Wirtschaftlichkeit der E-Fuels gegenüber Wasserstoff und Elektrobatterien ab. Während Hobohm (2018)<sup>329</sup> kurz- und mittelfristig (für das Jahr 2030) bei noch niedrigen PtL-Anteilen in den meisten Fällen wirtschaftliche Vorteile für flüssige Energieträger erwartet, prognostiziert die Studie auf lange Sicht Vorteile für Stromlösungen im höheren Preispfad für PtL (Annahme: Endverbraucherstrompreise des Jahres 2015). E-Fuels kosten derzeit bis zu 4,5 Euro pro Liter Dieseläquivalent. In Zukunft soll ein Preis von circa einem Euro pro Liter Dieseläquivalent mit Importen aus Regionen mit hohem Angebot an Sonne- und/oder Windenergie erreicht werden.<sup>330</sup> PtLs können gemäß Hobohm (2018)<sup>331</sup> im Jahr 2050 bei sieben Prozent Zinsen zu Kosten von 0,7 bis 1,3 Euro pro Liter erzeugt werden. Die Ausgangsdaten für diese Hochrechnung stammen aus dem Jahr 2015.

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Die Herstellung von E-Fuels gehört zu den sogenannten „emerging technologies“. Dies zeigt sich durch die (noch) geringe Anzahl der Recherchetreffer von Familienunternehmen in der MARKUS-Unternehmensdatenbank. Die Ergebnisliste bezieht sich auf nachfolgende Suchergebnisse (Stand: 17.02.2021)

- E-Fuels/eFuels: 0 Treffer
- Power-to-Fuel: 0 Treffer
- Power-to-Liquid: 0 Treffer
- Power-to-X: 17 Treffer, davon:
  - ▶ 3 Unternehmen (**kraftBoxx GmbH, Grinix GmbH, Sunfire GmbH**)
  - ▶ 14 kommunale Unternehmen und Projektgesellschaften
- Power-to-Gas: 8 Treffer, davon:
  - ▶ 1 Unternehmen (Sunfire GmbH)
  - ▶ 7 kommunale Unternehmen und Projektgesellschaften

Der Markt für E-Fuels ist geprägt durch Neugründungen und Start-ups wie das Familienunternehmen **Grinix Energy Solutions GmbH**, das Beratungsdienstleistungen im Bereich synthetische Kraftstoffe anbietet oder der **INERATEC GmbH**, die Mikroreaktoren zur dezentralen Erzeugung von E-Fuels herstellt. Das Familienunternehmen **Marquard & Bahls AG** befasst

---

329 Hobohm 2018, S. 20.

330 Siegemund et al. 2017, S. 9.

331 Hobohm 2018, S. 21.

sich mit seinen Tochtergesellschaften **Mabanaft GmbH+Co.KG** und der **GMA GmbH+Co.KG** technisch und strategisch mit strombasierten Kraftstoffen.

## 5. Interview

GMA Mineralöl-Analytik und Qualitätsmanagement mbH & Co. KG, Dr. Uta Weiß  
(Geschäftsführerin):

Frau Dr. Weiß ist neben ihrer Kerntätigkeit bei GMA auch in Netzwerken (zum Beispiel Normungsausschüsse, Beiräte), Public Affairs sowie Forschung und Entwicklung tätig.

Mit der Aussage „die ganzen Assets, die man hat, sind nicht wertlos“ verweist Frau Dr. Weiß auf einen aus ihrer Sicht wesentlichen Vorteil von E-Fuels: Die weiterhin problemlose Nutzung der vorhandenen Infrastruktur. Dies gilt für den Schiffsverkehr, über die Tanklagerung bis hin zum Endkunden an Tankstellen. Sie sieht „[...] E-Fuels auch als große Möglichkeit, in Länder zu gehen, wo Strom günstig ist“. Denn der internationale Transport von flüssigen Kraftstoffen ist etabliert und mit weniger Verlusten verbunden als der Energietransport via Stromleitungen. Unter Umweltgesichtspunkten verweist Frau Dr. Weiß auf den Beitrag von E-Fuels zur Defossilierung aber auch auf potenzielle Nutzungskonflikte, zum Beispiel mit Wasser.

---

*Die Politik sollte den Technologiemix fördern, nicht verhindern - und Übergangstechnologien berücksichtigen*

---

Von der Politik wünscht sie sich, „[...] dass [sie] technologieoffen agiert. [...] Wir brauchen einen Technologiemix und dabei auch jede neue Technologie. Und das sollte eine Politik nicht verhindern, sondern das sollte sie unterstützen.“ Dazu gehören aus ihrer Sicht auch die Übergangstechnologien wie biobasierte Treibstoffe. Auch Kommunikation und Akzeptanzforschung sind sowohl im politischen als auch gesellschaftlichen Diskurs wichtig, um E-Fuels am Markt zu etablieren. Um politische Entscheidungsträger\*innen zu überzeugen, sagt sie: „[...] eine [...] Pilotanlage [...] im kleinen Maßstab, muss erstmal her und die muss auch in Deutschland sitzen“. Sie hält dabei Familienunternehmen für vorausschauender, da diese keinen Aktionären verpflichtet sind. [Anmerkung der Autor\*innen: gemeint sind große Aktiengesellschaften, die oft keine Familienunternehmen sind]

Auch politische Rahmenbedingungen erachtet sie mit Verweis auf die Zulassung von E-Fuels als sehr wichtig für die zukünftige Marktentwicklung. Zudem müsse das Thema E-Fuels von Banken als „zukunftsträchtige Investition“ verstanden werden, insbesondere im Hinblick auf Investitionen in tendenziell unsicheren Ländern, die günstigen regenerativen Strom erzeugen können.

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Nachteil von E-Fuels sind die hohen energetischen Umwandlungsverluste. Während der Herstellung strombasierter Flüssigkraftstoffe ergibt sich ein Wirkungsgrad von etwa 44 Prozent. Weiterhin ergeben sich Verluste bei der Verbrennung, sodass der Gesamtwirkungsgrad bei der Verwendung strombasierter Flüssigkraftstoffe in einem PKW mit einem Verbrennungsmotor weniger als 15 Prozent beträgt.<sup>332</sup> Laut Bundesregierung ist die Energieeffizienz von E-Fuels entlang der gesamten Bereitstellungskette im Fall von Verbrennungsmotoren vier bis sechs Mal geringer als bei direkter Nutzung von Strom; in Brennstoffzellenfahrzeugen sei sie in etwa zwei Mal geringer als in batterieelektrischen Fahrzeugen (inklusive Netzintegration).<sup>333</sup>

Zusätzliche Herausforderungen existieren bei der Power-to-Gas/Power-to-Liquid-Synthese und den erneuerbaren Stromkapazitäten. Die Anlagen für die E-Fuel-Produktion dürfen bestehende und prognostizierte Engpässe für den Transport von Strom nicht verstärken. Wissenschaftliche Veröffentlichungen zeigen, dass Deutschland einen wesentlichen Teil der benötigten Brenn- und Kraftstoffe aus Regionen mit hohem Angebot an Sonnen- und/oder Windenergie importieren müsste, um einen Preis von circa einem Euro pro Liter Dieseläquivalent zu erreichen.<sup>334</sup> Wichtig dafür ist die Erschließung von Kooperationen mit lokalen Stromanbietern erneuerbarer Energien, wie beispielsweise an den Küsten Afrikas.<sup>335</sup>

Zudem sind auf regulatorischer Ebene die Definition von gängigen Spezifikationen und die Aktualisierung von Normen erforderlich, die derzeit noch eine höhere Beimischung von E-Fuels zu üblichen Treibstoffen blockierten. Im Jetfuelbereich sind die Anforderungen nochmals höher, weswegen eine Zertifizierung für alternative Kraftstoffe sehr teuer ist.

Außerdem sind Nutzungskonflikte zu befürchten, da die Herstellung synthetischer Kraftstoffe erhebliche Ressourcen an Wasser für die Elektrolyseprozesse und im Fall der flächenintensiven Kohlendioxidabtrennung aus der Luft große Areale beansprucht. Einige Rohstoffe, zum Beispiel bestimmte Katalysatormaterialien, werden von der Europäischen Union auf der Liste der kritischen Rohstoffe geführt.

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

E-Fuels sind notwendig, um die EU-Klimaschutzziele des Verkehrssektors zu erreichen.<sup>336</sup>

---

332 Maus 2019, S. 127.

333 Siegemund et al. 2017.

334 Bundesregierung 2018.

335 Fraunhofer-Institut UMSICHT 2020, S. 5.

336 Siegemund et al. 2017.

Ein Grund dafür ist deren hohe Energiedichte, weswegen sich E-Fuels über lange Distanzen kostengünstig transportieren und in sehr großem Maßstab stationär speichern lassen. Sie können jahreszeitliche Schwankungen des Angebots erneuerbaren Stroms kompensieren und so zur Stabilität der Energieversorgung beitragen.<sup>337</sup>

Ein weiterer Vorteil ist, dass die gesamte bestehende Benzin-, Diesel- und Kerosin-Infrastruktur (Pipelines, Tankstellen) weiter genutzt werden kann. Dies gilt auch für die Erdgasinfrastruktur. Außerdem kann der heutige Bestand an PKWs und Nutzfahrzeugen ohne Umrüstung mit E-Fuels betrieben werden.<sup>338</sup> Laut einer Szenario-Berechnung der Deutschen Energie-Agentur wird selbst bei einem angenommenen maximal elektrifizierten Verkehrssektor im Jahr 2050 der Bedarf an flüssigen oder gasförmigen Kraftstoffen in Europa bei 70 Prozent liegen, vorrangig verursacht durch Luft- und Schiffverkehr.<sup>339</sup>

Die deutsche Industrie investierte bisher im Bereich E-Fuels etwa 200 Millionen Euro in Forschungsvorhaben, Pilotprojekte und in den Aufbau von Start-up Unternehmen. Weltweit wurden 8.544 Patente mit Bezug zu synthetischen Kraftstoffen zwischen den Jahren 2017 und 2019 erteilt und veröffentlicht.<sup>340</sup> Die Weiterentwicklung und Effizienzverbesserung der PtF-Technologien stellen aus Sicht des Verbandes der Automobilindustrie weiterhin einen wichtigen Handlungsbedarf dar, um die Herstellkosten von E-Fuels zu senken.<sup>341</sup> Ausgehend vom heutigen Stand der Technik wird gemäß Timmerberg und Kaltschmitt (2019)<sup>342</sup> sowie DECHEMA (2019)<sup>343</sup> die rein technologische Entwicklung bis zur industriellen Produktion noch circa zehn Jahre dauern, da noch einige Skalierungsstufen durchlaufen werden müssen (zum Beispiel Forschung und Entwicklung sowie Bau mit jeweils fünf Jahren).

## 8. Zusammenfassung

E-Fuels stehen noch am Anfang der Markthochlaufphase. Konzepte und Technologien zu ihrer Herstellung existieren, allerdings werden sie nur sehr vereinzelt im industriellen Maßstab umgesetzt, da die Endkosten gegenwärtig für Verbraucher\*innen zu unattraktiv sind. Trotzdem ist es wünschenswert und notwendig, die Herstellung von E-Fuels auszubauen, um die EU-Klimaschutzziele des Verkehrssektors zu erreichen. Denn selbst wenn es gelingen sollte, den Personenkraftverkehr in weiten Teilen auf elektrobetriebene Motoren umzustellen, wird

---

337 Siegemund et al. 2017, S. 10.

338 Siegemund et al. 2017, S. 10.

339 Siegemund et al. 2017, S. 9.

340 Frost & Sullivan 2020, S. 55.

341 Maus 2019, S. 80.

342 Timmerberg und Kaltschmitt 2019.

343 Wagemann und Ausfelder 2017.

diese Art des rein batteriebetriebenen Antriebes in den genannten schwer elektrifizierbaren Verkehrsbereichen eine Herausforderung darstellen.<sup>344</sup>

Für die Markthochlaufphase von synthetischen Kraftstoffen bedarf es der branchenübergreifenden Zusammenarbeit zwischen Automobilindustrie, Automobilzulieferindustrie, der Mineralölwirtschaft und der Chemieindustrie sowie der Stromversorger, um zeitnah die nötigen Entscheidungsprozesse zu Standort, Kraftstofftyp und Produktionsroute inklusive Hochskalierung auf den großtechnischen Maßstab vorzubereiten.<sup>345</sup>

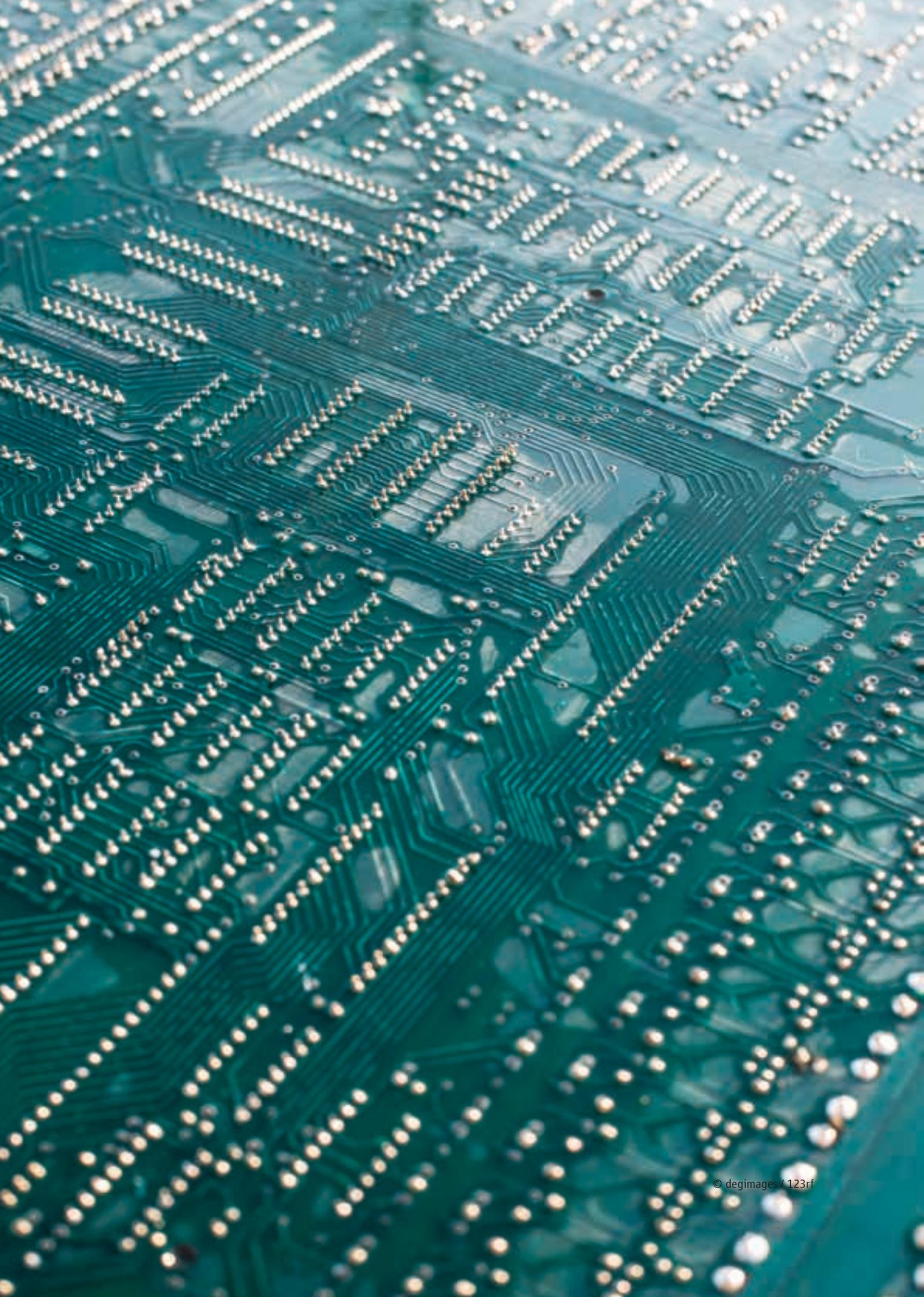
Innovative und gut vernetzte Familienunternehmen können für den Industriestandort Deutschland ein wichtiger Treiber werden, um neue Konzepte und Verfahren im Bereich der synthetischen Kraftstoffe zu entwickeln und zu erproben sowie internationale Partnerschaften sektorenübergreifend zu schließen.<sup>346</sup>

---

344 Fraunhofer-Institut UMSICHT 2020, S. 4.

345 Wagemann und Ausfelder 2017.

346 Maus 2019, S. 127.



## XV. Digitalisierung

### 1. Definition

Digitalisierung umfasst die digitale Transformation von Wirtschaft, Staat, Gesellschaft und Alltag mit Hilfe der Digitaltechnik. Mit Bezug zur Umwelttechnik werden unter dem Begriff unter anderem subsumiert: Messtechnische Erfassung und Überwachung von Schadstoffen und Umweltschäden, Smart Meter, Track and Trace, Prozessoptimierungen/Simulationen, IoT, Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT), Plattformtechnologien (zum Beispiel Block-Chain), Predictive Maintenance, digitaler Zwilling, Künstliche Intelligenz, Green IT und Smart Home.

### 2. Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung

Die Digitalisierung mit ihren Werkzeugen hat Einfluss auf fast alle der 17 SDGs. Exemplarisch werden im Folgenden mögliche Beiträge vorgestellt.<sup>347</sup>

SDG 2: „Ernährung sichern“: Präzisionslandwirtschaft (höhere Erträge, geringerer Einsatz von Düngern und Pestiziden)

SDG 7: „Bezahlbare und saubere Energie“: Digitalisierung für die Energiewende (Smart Meter, Sektorenkopplung, digitales Geschäftsmodell, Smartgrid, Microgrid, IKT)

SDG 9: „Industrie, Innovation und Infrastruktur“: Industrieller Metabolismus, nachhaltige urbane Mobilität, Smartgrid

SDG 11: „Nachhaltige Städte und Gemeinden“: Smart Cities und nachhaltige Stadtentwicklung, nachhaltige urbane Mobilität

SDG 12: „Nachhaltige Konsum- und Produktionsweisen“: Digitale Ökonomie, Digitalisierung des Konsums und nachhaltiges Konsumverhalten

SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“: Virtuelle, geteilte Mobilität, intelligenter Transport, adaptive Heizungs- und Lüftungssteuerung.<sup>348</sup> Laut einer Hochrechnung könnten alleine in Deutschland durch Digitalisierungsprozesse im Bereich Umwelttechnik im Zeitraum der Jahre 2016 bis 2025 200 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart werden.<sup>349</sup>

---

347 Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) 2019, S. 158f.

348 Bieser et al. 2020.

349 Büchele und Andrä 2016, S. 6.

SDG 14: „Leben unter Wasser schützen“/SDG.15: „Leben an Land“: Monitoring von Ökosystemen und biologischer Vielfalt

### 3. Märkte und Arbeitsplätze

Die digitale Transformation wird alle Märkte umfassen. Daher werden im Folgenden anhand der oben genannten Technologien exemplarische Auswirkungen auf Familienunternehmen im Bereich Umwelttechnologie erfasst. Die Unternehmensberatung Roland Berger identifiziert dazu in einer Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) relevante digitale Systeme entlang der Bedarfsefelder Energie, Mobilität sowie Produktion und Gewerbe.<sup>350</sup>

Für das Jahr 2025 wird in den Leitmärkten für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz durch die Digitalisierung ein zusätzliches Marktvolumen von mehr als 20 Milliarden Euro in Deutschland erwartet. Dies würde in etwa drei Prozent des gesamten Marktvolumens entsprechen.<sup>351</sup> Den größten Beitrag dazu leistet der Leitmarkt „Energieeffizienz“ mit sieben Milliarden Euro, gefolgt vom Leitmarkt „Umweltfreundliche Erzeugung, Speicherung und Verteilung von Energie“ mit vier Milliarden Euro. Ebenfalls vier Milliarden Euro erwirtschaftet in diesem Szenario der Leitmarkt „Nachhaltige Mobilität“. Automatisierung und Vernetzung gehören hier zu den wichtigsten Treibern. Das höchste prozentuale zusätzliche Marktvolumen weist die Kreislaufwirtschaft auf. Der Ausbau digitaler Systeme führt zu einer Steigerung der Recyclingquote und effizienteren Prozessen der Wiederverwertung. Demnach würde sich dessen Marktvolumen im Jahr 2025 auf zwei Milliarden Euro belaufen. Gleichrangig mit diesem belegt der Leitmarkt der Rohstoff- und Materialeffizienz den vorletzten Platz. Vorangetrieben – beispielsweise durch bedarfsgerechte Prozesssteuerung der Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung – bildet die Nachhaltige Wasserwirtschaft mit einer Milliarde Euro Marktvolumen in Deutschland den kleinsten Markt.<sup>352</sup>

In Summe sind große Veränderungen in den bestehenden Geschäftsmodellen von Familienunternehmen zu erwarten. Die Möglichkeit des Nutzens anstatt des Besitzens kann Produzierenden Anreize geben, ihre Produkte langlebiger und reparatur- und wartungsfreundlicher zu gestalten (zum Beispiel durch das Bezahlmodell pay per use). Es findet eine deutliche Verlagerung des Kund\*innenzuganges über virtuelle Plattformen statt, zu denen neben dem Online-Handel auch Bewertungs- und Vergleichsportale zählen. Die Präsenz auf unternehmensfremden Plattformen kann zu einer Förderung unternehmerischer Marktkonzentration

---

350 Büchele und Andrä 2016, S. 7.

351 Büchele und Andrä 2016, S. 9.

352 Büchele und Andrä 2016, S. 11.

führen. Mit der Etablierung eigener Vertriebsplattformen können Familienunternehmen diesem Trend entgegensteuern.<sup>353</sup>

Traditionelle Denkweisen können den beschleunigten Innovationszyklen im digitalen Zeitalter im Wege stehen. Das heißt, neben strategischen Fähigkeiten und digitalen Kompetenzen gewinnt zunehmend die Etablierung agiler Arbeitsweisen in der eigenen Unternehmenskultur an Bedeutung.<sup>354</sup> Für die Familienunternehmen bedingen diese Entwicklungen, dass noch mehr Wert auf Qualifizierung der Mitarbeitenden gelegt werden muss. Die Erarbeitung eines digitalen Leitbildes in den Familienunternehmen gilt dabei als wegweisend.

#### 4. Beitrag von Familienunternehmen

Insgesamt sind laut der MARKUS-Unternehmensdatenbank 2.710 Unternehmen unter dem Stichwort „Digitalisierung\*“ zu finden (Stand: 17.02.2021). Davon sind 94 Prozent gemäß der dieser Studie zugrundeliegenden Definition Familienunternehmen:

- 49 AGs
- 1.802 GmbHs
- 13 vollhaftende Personengesellschaften
- 640 teilhaftende Personengesellschaften
- 39 Einzelunternehmen

Digitalisierung ist eine Querschnittstechnologie, die bisher in der Umwelttechnik noch eine eher untergeordnete Rolle spielt – eine Chance für innovative Familienunternehmen, sich in den entsprechenden Leitmärkten für die Zukunft zu positionieren. Aufgrund dieser Querschnittsfunktion lassen sich die recherchierten Unternehmen jedoch nicht direkt einzelnen Umwelttechnologien zuordnen und werden beim Vergleich der Umwelttechnologien (Abbildung 3) nicht berücksichtigt.

Ein mit einem Preis ausgezeichnetes Familienunternehmen im Bereich Umwelttechnologie und Digitalisierung ist die **Lorenz GmbH & Co. KG**. Das Unternehmen erhielt den Innovationspreis für Klima und Umwelt (2020) in der Kategorie „Umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen“ für die Entwicklung und intelligent vernetzte Produktion vollständig

---

353 Büchele und Andrä 2016, S. 15.

354 Büchele und Andrä 2016, S. 17.

wiederverwertbarer Smart Meter.<sup>355</sup> Auch für das Unternehmen **2G Energy AG** ist Digitalisierung von großer Bedeutung.

## 5. Interview

2G Energy AG, Christian Grotholt (CEO), Stefan Liesner (Head of Public Affairs and Public Relations):

Für Herrn Grotholt und Herrn Liesner vom Familienunternehmen 2G Energy AG ist die Digitalisierung nicht nur ein wichtiger Treiber zum Voranbringen der Umwelttechnologien, sondern sie ist sogar Voraussetzung, wie das Beispiel der Energiewende zeigt:

„Um die Energiewende erfolgreich durchzusetzen, bedarf es der Digitalisierung, um die verschiedenen Energieumwandlungseinheiten ausreichend miteinander kommunizieren zu lassen, und das in Echtzeit. [...] Gerade auch im Hinblick auf die Verfügbarkeit und Effizienz brauchen wir die Digitalisierung für den Aufbau dezentraler Strukturen, damit letztendlich Mensch und Wirtschaft sicher, umweltfreundlich und bezahlbar versorgt werden können.“

Die 2G Energy AG ist international führend auf dem Markt von Blockheizkraftwerken (BHKW), die elektrische Energie und Wärme nach dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kopplung dezentral bereitstellen. Neben der Anpassung an die Bedarfssituation des Netzes und der Kunden hat die Digitalisierung für das Familienunternehmen auch eine Schlüsselrolle in Bereichen wie Predictive Maintenance oder dem Einsatz von KI. „[...] Wir haben unsere verschiedenen Softwarelösungen und Programme inzwischen soweit miteinander kompatibel gemacht, dass es komplett durchgängige Prozesse gibt. Das heißt also, die Anlage meldet sich selber, wenn eine Wartung ansteht. Der nächste Schritt wäre dann, dass die Anlage sich auch selber die Ersatzteile bestellt.“

Damit spart die Digitalisierung indirekt auch Kosten bei den Betreibenden durch eine Reduzierung der Stillstandzeiten für Wartungsarbeiten und adressiert somit letztendlich auch die Nachhaltigkeit. Denn durch den Zugriff aus der Ferne kann auch auf zurückgelegte Personenkilometer und damit Treibhausgasemissionen verzichtet werden. Nicht zuletzt steigere die Digitalisierung auch die Attraktivität der Ausbildungsplätze, für die es sich vor allem im technischen Bereich immer schwieriger gestalten, Nachwuchs zu gewinnen.

---

355 IKU – Innovationspreis für Klima und Umwelt 2020.

## 6. Herausforderungen und Hemmnisse

Grundvoraussetzung für einen digitalen Wandel ist die Gewährleistung eines flächendeckenden Zugangs zu einer hochleistungsfähigen Breitbandversorgung. Der steigende Kapazitätsausbau erfordert von Bund und Ländern nicht nur finanzielle Unterstützung, sondern ebenso klare Definitionen von Schnittstellen und Zuständigkeiten.<sup>356</sup>

Die Sammlung von Daten zu kommerziellen Zwecken, etwa personalisierte Werbung oder situatives Marketing, begünstigt einseitig global agierende Konzerne wie die sogenannten GAFAs, bestehend aus Google, Amazon, Facebook und Apple.<sup>357</sup> Die wachsenden Datenmengen erfordern daher von Familienunternehmen, aber auch der öffentlichen Hand strikte Regulierungen bezüglich des Datenschutzes und der Datensicherheit. Dies gilt auch für neue Dienstleistungen, die Umweltdaten übertragen, zum Beispiel zur Schadstoffkontrolle, Predictive Maintenance und für Plattformen, zum Beispiel zum Verleih von Geräten. Kritisch betrachtet werden müssen die Resilienz intelligenter Systeme hinsichtlich der Ausfallsicherheit sowie der Cybersicherheit.<sup>358</sup>

Bietet die Digitalisierung einerseits Chancen, Ressourcen zu schonen, ist sie andererseits zum jetzigen Zeitpunkt jedoch selbst ein großer Treiber des Ressourcenverbrauchs. Hintemann und Hinterholzer (2020)<sup>359</sup> schätzen, dass sich die Datenmenge im letzten Jahrzehnt verzweifacht hat, bei gleichzeitiger Verzehnfachung der weltweiten Rechenzentrumsleistung. Weltweit beläuft sich der Anteil der Treibhausgasemissionen, die auf die Digitalisierung zurückzuführen sind, auf 1,8 bis 3,2 Prozent.<sup>360</sup> Zum Teil wird der gesteigerte Energieverbrauch allerdings durch Effizienzsteigerungen hin zu Hyperscale und cloudbasierten Rechenzentren kompensiert.

## 7. Innovation und Zukunftsperspektiven

Der Einsatz digitaler Innovationen im Sinne der Nachhaltigkeitsstrategie ist vielfältig. Beispielhaft werden vom BMBF folgende Innovationsfelder angeführt:

- Digitale Lösungen in der Landwirtschaft zur Reduzierung eingesetzter Pflanzenschutzmittel mittels optischer Sensorik zur gezielteren Behandlung und Früherkennung von Pflanzenkrankheiten.<sup>361</sup>

---

356 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) 2017, S. 13.

357 Lange und Santarius 2018, S. 157.

358 Deerberg et al. 2019, S. 5.

359 Hintemann und Hinterholzer 2020.

360 Bundesverband für Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. 2020, S. 45.

361 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2019d.

- Digitale Technologien zum Ausfindigmachen nützlicher Begleitflora, um diese als Lebensraum für Insekten und andere Tiere zu bewahren.<sup>362</sup>
- Die Förderung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft durch die Entwicklung von Sensoren, die bei der Sortierung unterschiedliche Kunststoffsorten erkennen und so den Einsatz von recyceltem Kunststoff für die Familienunternehmen erleichtern.<sup>363</sup>
- Ein weiteres Innovationsfeld sind sogenannte intelligente Windparks, die in einer Art gemeinsamer Choreografie die Bewegung der Rotoren optimieren. Derzeit können auftretende Luftwirbel von vorstehenden Turbinen die Leistungen umliegender Windräder verringern. Mittels künstlicher Intelligenz sollen die Windparks in Zukunft über einen Selbstlernprozess Effizienzsteigerungen erzielen.<sup>364</sup>
- Die Datenanalyse über den Zustand des Klimas und der Umwelt mittels Künstlicher Intelligenz verhilft dabei, Wetterextreme besser vorausszusagen. Durch die Früherkennung von Wolkenbildung und Windverhältnissen lässt sich die Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien zudem besser steuern.<sup>365</sup>

Auch innerhalb der Wasserwirtschaft kann die Digitalisierung Effizienzsteigerungen bewirken. Vor dem Hintergrund des Megatrends der Urbanisierung gewinnen der ressourcenschonende Betrieb und die Instandhaltung der Wasserinfrastruktur weiterhin an Gewicht. Mit neuen Generationen der Messtechnik kann es beispielsweise gelingen, Schadensfälle schneller und gezielter aufzuzeigen oder die Qualitätsüberwachung der Wasserversorgung zu optimieren.<sup>366</sup> Durch klimawandelbedingte Folgen wie Starkregenereignisse können große Massen aus der Abwasserversorgung infolge der sogenannten Mischwasserentlastung in die Umwelt gelangen. Eine intelligent vernetzte Steuerung kann diese vorausschauend beheben, indem frühzeitig vorhandene Speicherräume für die Umleitung der entsprechenden Wassermengen freigegeben werden.<sup>367</sup>

Das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende (GDEW) ist ein wichtiger Innovationstreiber für den flächendeckenden Einsatz intelligenter Messsysteme (Smart Meter) zur Ermöglichung einer besseren Netz- und Ressourcensteuerung. Laut des Barometers Digitalisierung der Energiewende (Berichtsjahr 2019) sind bei diesem Vorhaben bereits maßgebliche Fortschritte zu

---

362 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2019b.

363 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2019c.

364 Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2019a.

365 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020d.

366 Deerberg et al. 2019, S. 4.

367 Deerberg et al. 2019, S. 4.

erkennen. Als Herausforderung gilt die Übertragung der Serienfertigung auf die Massenproduktion, um die Wirtschaftlichkeit zu steigern.<sup>368</sup>

## 8. Zusammenfassung

Die Digitalisierung ist ein „Game Changer“, der die Entwicklung völlig neuer Geschäftsmodelle ermöglicht und große Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft haben wird. Sie kann ungesteuert zu hohen Ressourcenverbräuchen und problematischen Konzentrationsprozessen an den Märkten führen. Dafür müssen Leitplanken gesetzt und gewünschte Einsätze und Grenzen gesellschaftlich abgestimmt werden.

Im positiven Sinne kann die Digitalisierung ein Hebel für mehr Umweltschutz sein, zum Beispiel durch bessere Erfassung von Umweltdaten, bessere Prognosen von Umweltentwicklungen, bessere Steuerung von Systemen (beispielsweise des Stromnetzes über Smartgrids<sup>369</sup>) oder Nachverfolgung und Wartung von Produkten zur Verlängerung der Lebensdauer. Durch Plattform-Technologien wie zum Beispiel der Blockchain-Technologie könnten kleine Stromanbieter Strom unabhängig von größeren Strombörsen dezentral in regionalen Netzen (Microgrids) handeln und zur Energiewende beitragen.

---

*Digitalisierung ist  
ein Hebel für mehr  
Umweltschutz*

---

---

368 Ernst & Young GmbH 2020a, S. 6.

369 S. Steckbrief I. Photovoltaik.



## F. Diskussion und Fazit

Es gibt eine Vielzahl von Umwelttechniken und Leitmärkten. Die Autor\*innen dieser Studie haben die wichtigsten Technologiefelder priorisiert, mit Expert\*innen diskutiert und in 15 Technologiesteckbriefen zusammengefasst. Sie haben dargelegt, dass sich Familienunternehmen in diesen Technologiefeldern stark der Nachhaltigkeit verpflichtet fühlen.

### I. Technologiesteckbriefe

Traditionelle Sichtweisen klassifizieren Umwelttechnologien ihrem Zweck nach in nachsorgenden, kompensatorischen und vorsorgenden Umweltschutz sowie in Umweltbeobachtung. Diese rein funktionale Definition wird mittlerweile der Komplexität der Umwelttechnik mit ihren vielfältigen Technologien, Märkten und Schnittstellen zu anderen Sektoren nicht mehr gerecht. Vielmehr ist eine Orientierung an übergreifenden Zukunftsthemen charakteristisch für die moderne Umwelttechnologiebranche. Nach Auswertung der Technologiesteckbriefe sind diese Zukunftsthemen die Defossilierung, Sektorenkopplung, Kreislaufwirtschaft, Umwelt und Gesundheit sowie die Mobilität. Die Themen sind allesamt eng mit den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen und des „European Green Deals“ verbunden. In Tabelle 4 sind die in den Technologiesteckbriefen betrachteten Umwelttechnologien den jeweiligen Zukunftsthemen – teils auch mehreren – zugeordnet.

Tabelle 4: Klassifizierung der Umwelttechnologien nach den Zukunftsthemen

Defossilierung	Sektorenkopplung	Kreislaufwirtschaft	Umwelt und Gesundheit	Mobilität
■ Photovoltaik	■ Photovoltaik	■ Recycling	■ Wasser-/Abwasserbehandlung	■ Batterien
■ Windkraft	■ Windkraft	■ Biotechnologie	■ Luftreinhaltung	■ Wasserstofftechnologie
■ Recycling	■ Batterien	■ Biokunststoffe	■ Biotechnologie	■ E-Fuels
■ Biotechnologie	■ Smart Home	■ Leichtbau	■ Smart Home	
■ Wärmepumpen	■ Wasserstofftechnologie	■ Wärmedämmung	■ Digitalisierung	
■ Batterien	■ E-Fuels	■ Abwasserbehandlung		
■ Wärmedämmung	■ Digitalisierung	■ Digitalisierung		
■ Smart Home				
■ Wasserstofftechnologie				
■ Biokunststoffe				
■ E-Fuels				
■ Digitalisierung				

Der vorliegende Technologieatlas dokumentiert eine hohe Dynamik in Nachhaltigkeitstechnologien. Zu den klassischen Umwelttechnologien der Luftreinhaltung, Abwasseraufbereitung und der Abfallwirtschaft (Recycling) sind in den letzten Jahren und Jahrzehnten als Folge der Energiewende, der Digitalisierung von Prozessen, Entwicklung fortschrittlicher Gebäude- und Bautechnologien sowie biotechnischer Methoden eine Vielzahl weiterer Umwelttechniken hinzugekommen. Insbesondere Photovoltaik und Windkraft haben die traditionellen Umwelttechniksparten in Bezug auf die Anzahl der Unternehmen in Deutschland bereits klar überholt. Sie sind eng verknüpft mit den teils nachgelagerten Technologien zu E-Fuels, Wasserstoff und Batterietechnik, die sich sehr dynamisch entwickeln und zum Teil starke Wachstumsprognosen aufweisen. Es bleibt abzuwarten, ob sie in den nächsten Jahren als Spitzenreiter von letzteren Technologien abgelöst werden.

Ganz generell ist die große Bedeutung der Energiebranche in der Umwelttechnik bemerkenswert, der unmittelbar vier Technologien (Photovoltaik, Windkraft, Wärmepumpen und Batterien) und mit ihr direkt gekoppelt weitere drei Umwelttechniken (Wärmedämmung, Wasserstofftechnologie und E-Fuels) zuzuordnen sind. In den etablierten Technologien der Energiebranche sind eher inkrementelle Innovationen zu erwarten, zum Beispiel neue leistungsfähigere Materialien für Solarzellen. Stattdessen wird ihr Wachstum am Markt zukünftig sehr stark durch die Sektorenkopplung bestimmt. Das übergreifende Ziel dieser Umwelttechnologien ist die Reduktion von klimaschädlichen Emissionen durch **Defossilierung**. Mit dieser Schwerpunktsetzung sind die Familienunternehmen der Umwelttechnikbranche in Deutschland hervorragend aufgestellt, um die ehrgeizigen nationalen und internationalen Klimaziele zu erreichen. Verlässliche und möglichst globale Rahmenbedingungen zum Beispiel in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Preis und die EEG-Umlage können einen erheblichen positiven Einfluss auf das Marktwachstum und resultierend auf die Klimaentwicklung haben.

Auch biotechnologische Verfahren und Biokunststoffe unterstützen nicht nur die **Kreislaufwirtschaft** und **Gesundheit**, sondern auch indirekt die Defossilierung. Sie eröffnen umweltfreundliche Wege zur Herstellung und Verarbeitung von derzeit auf fossilen Rohstoffen basierenden Produkten. Das gilt auch für Biotreibstoffe, deren Bedeutung zwar vor dem Hintergrund der Tank-Teller-Debatte etwas zurückgegangen ist, die aber einen Paradigmenwechsel weg von erdölbasierten hin zu regenerativen Treibstoffen eingeleitet haben.

Mittlerweile ist die **Elektromobilität** ein Megatrend und kann perspektivisch einer der größten Abnehmer elektrischer Energie werden. Dementsprechend groß ist nicht nur der Bedarf an Speichertechnologien wie Batterien und Wasserstoff, sondern auch die Nachfrage nach regenerativen Energien, sodass sich die Elektromobilität zu einem der größten Treiber für den Ausbau regenerativer Energien entwickelt.

Die Akzeptanz in der Bevölkerung ist entscheidend, damit Umwelttechnologien auch flächendeckend zur Anwendung kommen. So findet der Einsatz von Biokunststoffen breite Zustimmung. Fleischimitate aus dem Labor oder grüne Gentechnik stoßen hingegen noch auf Zurückhaltung. Die Gesellschaft als Ganzes erkennt zwar die Notwendigkeit von regenerativen Energien an, das Individuum lehnt aber trotzdem das Windrad in Sichtweite ab. Passgenaue Marketingstrategien, Aufklärungskampagnen und eine aktive Einbindung der Bürger\*innen sollten diese Diskrepanz verringern.

Besonders gefragt ist die Aktivierung der Bürger\*innen im Bereich Recycling. Einzelpersonen haben durch ihr Konsumverhalten sowohl beim Einkauf, zum Beispiel durch den Verzicht auf verpackungsintensive Produkte, als auch bei der sachgerechten Entsorgung einen erheblichen Einfluss auf die Produzenten und die Abfallwirtschaft. Bilder vermüllter Meere und Flüsse haben das Bewusstsein der Gesellschaft für die Abfallproblematik und die Verschmutzung der Gewässer geschärft, was wiederum politischen Handlungsdruck erzeugt. Als Folge werden richtungsweisende Verordnungen wie Deponieverbote und Pfandpflicht erlassen sowie Regeln für neue Abwasserreinigungsstufen diskutiert. Sie sollten global umgesetzt werden, damit sie ihre Wirkung auf die Umwelt und die betroffenen Recycling-Unternehmen vollumfänglich entfalten können. Solange die Umwelt weltweit schlechte Zustände aufweist, werden die traditionellen Umweltreinhaltetechnologien des Recyclings und der (Ab-)Wasseraufbereitung weiterhin ein solides Wachstum vorweisen.

## II. Expert\*innengespräche

Die befragten Expert\*innen fühlen sich übereinstimmend sehr stark der Nachhaltigkeit und Umwelt verpflichtet, sowohl im Unternehmen als auch in den Geschäftsmodellen sowie in Prozessen und Produkten. Einige Familienunternehmer\*innen sehen Nachhaltigkeit sogar als Unternehmensziel und andere richten ihre Geschäftsmodelle an der Circular Economy aus. Sie folgen damit der politischen Agenda des European Green Deals und entwickeln zukunftsfähige Unternehmensstrategien, die soziale und ökologische Nachhaltigkeit als festen Bestandteil integrieren. Dies kann sich vor allem in Hinblick auf die Bedürfnisse der heutigen Generation und der nächsten Generationen als Geschäftsvorteil erweisen, da diese erwarten, dass Nachhaltigkeitsaspekte in der Wirtschaft ernst genommen werden.

In vielen Bereichen der Umwelttechnologien schätzen die Familienunternehmer\*innen die deutschen Förderinstrumente als positiv ein. Allerdings äußern sie übereinstimmend Veränderungswünsche hin zu einer Vereinfachung der Antragsstellung und formalen Abwicklung. Bei der Markteinführung von Umwelttechnologien wünschen sich einige Familienunternehmen noch mehr Unterstützung. Außerdem wird teils konstatiert, dass Wirtschaftsförderungsinstitutionen nur bedingt hilfreich seien.

Große Einheitlichkeit herrscht hinsichtlich des Wunsches nach Planungssicherheit und Zuverlässigkeit an die politischen und behördlichen Entscheidungsbevollmächtigten. Dies betrifft insbesondere die sich sehr dynamisch entwickelnden politischen, gesellschaftlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen auf nationaler und internationaler Ebene.

Zudem wünschen sich die Familienunternehmer\*innen von der Politik ein hohes Maß an Technologieoffenheit und lehnen die vorschnelle Festlegung auf eine Technologie beziehungsweise Bevorteilung eines Sektors mittels spezifischer politischer Maßnahmen ab. Zur Bewältigung der nationalen Klimaziele müssen alle relevanten Umwelttechnologien (zum Beispiel Wasserstofftechnik, E-Fuels und Batterietechnik) gleichermaßen berücksichtigt und gefördert werden.

Besondere Effekte auf umwelttechnische Innovationen hat die Quervernetzung der Umwelttechniken untereinander. So werden bei der Etablierung der Photovoltaik, Windenergie, Batterien, Wärmedämmung und dem Leichtbau zugleich immer auch Herausforderungen und Innovationspotenziale innerhalb der Kreislaufwirtschaft adressiert.

Noch deutlicher tritt dieser Effekt bei der Digitalisierung auf, die eine reine Querschnittsfunktion innerhalb der Umwelttechnologie einnimmt. Einig sind sich alle Befragten darin, dass diese mittel- bis langfristig sowohl die inneren Geschäftsprozesse als auch die Herstellung und Anwendung von Umwelttechniken vollständig verändern wird. Trotzdem hat in einigen Familienunternehmen die Digitalisierung noch nicht wirklich Fuß fassen können. Es ist hier zum einen ein Mangel an Expert\*innenwissen und entsprechendem Fachpersonal sowie Weiterbildungsmöglichkeiten hinsichtlich der Digitalisierungsprozesse zu erkennen und zum anderen auch die Breitbandversorgung nicht flächendeckend gesichert. Fragen der Datensicherheit und Cyberkriminalität gewinnen mit dem Voranschreiten der Digitalisierung zunehmend an Gewicht.

Das Erreichen von Nachhaltigkeitszielen erfordert von den Umwelttechnikunternehmen mitunter einen hohen technischen und finanziellen Aufwand sowie Durchhaltevermögen. Gerade ein gesteigertes Verantwortungsbewusstsein für Mitarbeiter\*innen, Umwelt und Gesellschaft sowie langfristige Unternehmensstrategien gelten als Tugenden von Familienunternehmen.

Familienunternehmer\*innen – vor allem kleinerer Unternehmen – schätzen zudem die kurzen Kommunikationswege, die Entscheidungen vereinfachen und beschleunigen können. In diesen Unternehmen, die teils schon seit Generationen von den gleichen Familien geführt werden, herrscht oft eine sehr starke Bindung der Mitarbeiter, die vor allem daraus resultiert, dass die Leitung sich stark ihren Mitarbeitern gegenüber in der Verantwortung sieht. Hinzu kommt, dass die Technologien, mit denen sich die Unternehmen befassen, einen direkten Beitrag zur

Nachhaltigkeit sowie Verbesserung der Umwelt und des Klimas leisten und eine hohe Identifizierung der Mitarbeiter mit den Produkten und Verfahren erwarten lassen.

### **III. Nachhaltigkeit**

Die in den Technologiesteckbriefen beschriebenen Umwelttechnologien adressieren vielfältige Nachhaltigkeitsziele (vgl. Tabelle 5). Die den Zukunftsthemen Defossilierung, Umweltschutz und Mobilität zugeordneten Umwelttechniken beziehen sich am häufigsten auf SDG 13: „Maßnahmen zum Klimaschutz“, gefolgt von SDG 7: „bezahlbare, saubere Energie“ und SDG 11: „nachhaltige Städte und Gemeinden“. Als Querschnittstechnologie und Hilfstechnologie unterstützt die Digitalisierung alle Nachhaltigkeitsziele. Zudem ist auffällig, dass sämtliche Umwelttechnologien mindestens zu zwei Nachhaltigkeitszielen, die meisten sogar zu drei oder vier Zielen beitragen. Dies verdeutlicht die hohe Relevanz dieser Technologien zum Erhalt der Umwelt für die heutige Generation und die nächsten Generationen.

Tabelle 5: Zuordnung der in den Technologiesteckbriefen beschriebenen Umwelttechniken zu den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen (eigene Darstellung)

	1 bezahlbare, saubere Energie	2 nachhaltige Städte/ Gemeinden	1 weltweiter Klimaschutz	5 Lebensqualität	14 Umwelt	16 Wasser und Ozeane	17 Partnerschaft für nachhaltige Entwicklung
Photovoltaik	X		X				
Windkraft	X		X				
Recycling			X			X	X
Biotechnologie			X				
(Ab-)Wasserbehandlung		X					
Wärmepumpen	X		X				
Batterien	X		X				
Wärmedämmung (thermische Isolierung)			X				
Leichtbau			X				
Smart Home			X				
Wasserstoff-Technologie	X	X	X				
Luftreinhaltung			X				
Biokunststoffe			X				
E-Fuels			X				
Digitalisierung	X	X	X	X	X	X	X

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Die vier Bereiche des technischen Umweltschutzes und relevante Techniken.....	4
Tabelle 2:	Die sechs Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz sowie deren Marktsegmente .....	7
Tabelle 3:	Kerndaten des globalen, europäischen und deutschen Markts zur Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie und Prognosen für 2030 .....	103
Tabelle 4:	Klassifizierung der Umwelttechnologien nach den Zukunftsthemen .....	139
Tabelle 5:	Zuordnung der in den Technologiesteckbriefen beschriebenen Umwelttechniken zu den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen (eigene Darstellung).....	144



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Von der Recherche zur Definition.....	3
Abbildung 2:	Recherchestrategie über Google-Stichwortsuche und gezielt in der MARKUS-Unternehmensdatenbank .....	12
Abbildung 3:	Anzahl der Familienunternehmen zu den jeweiligen Umwelttechnologien .....	14
Abbildung 4:	Die 17 Sustainable Development Goals – SDGs (Nachhaltigkeitsziele) der Vereinten Nationen .....	19



## Literaturverzeichnis

- Agora Verkehrswende (2019a): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Online verfügbar unter [https://static.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz\\_von\\_Elektroautos/Agora-Verkehrswende\\_22\\_Klimabilanz-von-Elektroautos\\_WEB.pdf](https://static.agora-verkehrswende.de/fileadmin/Projekte/2018/Klimabilanz_von_Elektroautos/Agora-Verkehrswende_22_Klimabilanz-von-Elektroautos_WEB.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Agora Verkehrswende (2019b): Klimaneutrale Kraftstoffe ergänzen Strom aus Wind und Sonne. Online verfügbar unter <https://www.agora-verkehrswende.de/12-thesen/klimaneutrale-kraftstoffe-ergaenzen-strom-aus-wind-und-sonne/>, zuletzt geprüft am 24.08.2020.
- ALBA Group (2020): resources SAVED by recycling. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.resources-saved.com/fileadmin/user\\_upload/Broschuere\\_resources\\_SAVED\\_by\\_recycling\\_2020\\_DE.pdf](https://www.resources-saved.com/fileadmin/user_upload/Broschuere_resources_SAVED_by_recycling_2020_DE.pdf), zuletzt geprüft am 16.10.2020.
- Albrecht, Stefan; Endres, Hans-Josef; Knüpfner, Eva; Spierling, Sebastian (2016): Biokunststoffe – quo vadis? In: *uwf* 24 (1), S. 55-62. DOI: 10.1007/s00550-016-0390-y.
- ASA Arbeitsgemeinschaft Stoffspezifische Abfallbehandlung e. V.; BDE Bundesverband der Deutschen Entsorgungs-, Wasser- und Rohstoffwirtschaft e. V.; BDSAV Bundesverband deutscher Sonderabfallverbrennungsanlagen e.V.; BDSV Bundesvereinigung Deutscher Stahlrecycling- und Entsorgungsunternehmen e. V.; bvse Bundesverband Sekundärrohstoffe et al. (2020): Statusbericht der deutschen Kreislaufwirtschaft 2020. Online verfügbar unter [https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/01-Nachrichten/01-bvse/2020/November/Statusbericht\\_der\\_deutschen\\_Kreislaufwirtschaft\\_2020.pdf](https://www.bvse.de/dateien2020/2-PDF/01-Nachrichten/01-bvse/2020/November/Statusbericht_der_deutschen_Kreislaufwirtschaft_2020.pdf), zuletzt geprüft am 08.12.2020.
- Asam, Claus (2017): Dämmmaßnahmen an Gebädefassaden. In: *BBSR-Analysen Kompakt* (11). Online verfügbar unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2017/ak-11-2017-dl.pdf;jsessionid=9F1F4EC19335664C08ED9F9F46E034C9.live21321?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2017/ak-11-2017-dl.pdf;jsessionid=9F1F4EC19335664C08ED9F9F46E034C9.live21321?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Assenmacher, Nicolai (2019): Phytowelt wird als innovativstes EU Biotech KMU im Bereich Agra BioTech gekürt. Pressemitteilung. Hg. v. phytowelt GreenTechnologies GmbH. Online verfügbar unter <https://www.phytowelt.com/pressemitteilung-2018-biotech-sme-awards-2/>, zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Auer, Falk; Eicke-Hennig, Werner; Purper, Gabriele; Neumann, Werner (2019): Wärmepumpen: Top oder Flopp? Wärmepumpen als Kosten- und Klimafalle. Hg. v. Bund der Energieverbraucher. Online verfügbar unter [https://www.energieverbraucher.de/de/waermepumpen\\_\\_293/](https://www.energieverbraucher.de/de/waermepumpen__293/), zuletzt geprüft am 03.11.2020.

- Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit; Ausschuss für innere Angelegenheiten (2020): Empfehlungen der Ausschüsse. Entwurf eines ersten Gesetzes zur Änderung des Batteriegesetzes. Hg. v. Bundesrat (Drucksache 265/1/20). Online verfügbar unter [https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2020/0201-0300/265-1-20.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2020/0201-0300/265-1-20.pdf?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 10.12.2020.
- Bauchmüller, Michael (2020): Koalition legt Streit um Windkraft bei. In: *Süddeutsche Zeitung*, 18.05.2020. Online verfügbar unter <https://www.sueddeutsche.de/politik/erneuerbare-energien-windkraft-koalition-streit-1.4912070>, zuletzt geprüft am 11.11.2020.
- Baumbach, Günter (1994): Luftreinhaltung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Bauratgeber Deutschland (2020): Wärmepumpen: Bauarten und Auswahl. Online verfügbar unter [https://www.bauratgeber-deutschland.de/hausbau-ratgeber/energie/waermepumpen/bauarten-und-auswahl-von-waermepumpen/#Nachteile\\_von\\_Luftwaermepumpen](https://www.bauratgeber-deutschland.de/hausbau-ratgeber/energie/waermepumpen/bauarten-und-auswahl-von-waermepumpen/#Nachteile_von_Luftwaermepumpen), zuletzt geprüft am 02.11.2020.
- Bertling, Jürgen; Hamann, Leandra; Hiebel, Markus; Maga, Daniel; Nühlen, Jochen; Pflaum, Hartmut; Schreiner, Sabrina (2019): Grundlagen und Prinzipien einer zirkulären Wirtschaft. CE-Lernmodul Infernum. Hagen. Online verfügbar unter [https://www.umweltwissenschaften.de/fileadmin/Inhaltsverzeichnisse/IV\\_M19\\_KE1.pdf](https://www.umweltwissenschaften.de/fileadmin/Inhaltsverzeichnisse/IV_M19_KE1.pdf), zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- Bieser, Jan; Hintemann, Ralph; Beucker, Severin; Schramm, Stefanie; Hilty, Lorenz (2020): Klimaschutz durch digitale Technologien – Chancen und Risiken. Hg. v. Bitkom e. V. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-05/2020-05\\_bitkom\\_klimastudie\\_digitalisierung.pdf](https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-05/2020-05_bitkom_klimastudie_digitalisierung.pdf), zuletzt geprüft am 12.03.2021.
- BIO Deutschland (2017): Biotechnologie verzeichnet überdurchschnittliches Wachstum. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.biodeutschland.org/de/pressemitteilungen/biotechnologie-verzeichnet-ueberdurchschnittliches-wachstum.html#:~:text=Die%20Bruttowertsch%C3%B6pfung%20in%20der%20gesundheitsrelevanten,5%2C7%20Prozent%20pro%20Jahr.,> zuletzt geprüft am 01.02.2021.
- BIOCOM (2019): Die deutsche Biotechnologie-Branche 2019. Online verfügbar unter [https://biotechnologie.de/statistics\\_articles/28-die-deutsche-biotechnologie-branche-2019](https://biotechnologie.de/statistics_articles/28-die-deutsche-biotechnologie-branche-2019), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- BIONITY.com (2013): Der Regenbogen der Biotechnologie. Unter Mitarbeit von Björn Lippold. Online verfügbar unter <http://archive.is/dSDHv>, zuletzt geprüft am 21.09.2020.

- Bioökonomie.de (2019a): nova-Institut (2019): Biobasierte Polymere – Produktion, Kapazitäten, Trends. Der neue Markt- und Trendreport des nova-Instituts zeigt Kapazitäten und Produktionsdaten aller biobasierten Polymere. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/nova-institut-2019-biobasierte-polymere-produktion-kapazitaeten-trends>, zuletzt geprüft am 07.12.2020.
- Bioökonomie.de (2019b): Bioplastik weiter im Aufwind. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/nachrichten/neues-aus-der-biooekonomie/bioplastik-weiter-im-aufwind>, zuletzt geprüft am 17.12.2020.
- BiPRO GmbH; Öko-Institut e.V.; Fraunhofer IBP (2018): Weiterentwicklung des Umweltzeichens Blauer Engel für Wärmeverbundsysteme: Kriterien für Dämmstoffe sowie biozidfreie Putze und Beschichtungen. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau (TEXTE). Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-06-01\\_texte\\_30-2018\\_waermedaemmverbundsysteme\\_korr.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-06-01_texte_30-2018_waermedaemmverbundsysteme_korr.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Bornhold, Anabel; Holst, Tim; Büker, Patrick (2020): Luftreinhaltung als wichtiges Querschnittsthema zur Erreichung der nachhaltigen Entwicklungsziele (SDGs). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, GIZ Gesellschaft für internationale Zusammenarbeit. Online verfügbar unter [https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/giz2020\\_de\\_sdgs\\_und\\_luftreinhaltung.pdf](https://www.giz.de/fachexpertise/downloads/giz2020_de_sdgs_und_luftreinhaltung.pdf), zuletzt geprüft am 16.12.2020.
- Brumme, Doreen (2019): Positionspapier (6): Heizungstechnologien mit Zukunft (3): Wärmepumpen. Hg. v. Paradigma (Blog). Online verfügbar unter <https://blog.paradigma.de/heizungstechnologien-mit-zukunft-waermepumpe/>, zuletzt aktualisiert am 17.04.2019, zuletzt geprüft am 20.11.2020.
- Bücheler, Ralph; André, Patrick (2016): Die Digitalisierung in der GreenTech-Branche. Handlungsbedarfe für Unternehmen der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz in Deutschland. Hg. v. Roland Berger GmbH. Online verfügbar unter [https://www.rolandberger.com/publications/publication\\_pdf/roland\\_berger\\_greentech\\_atlas\\_1.pdf](https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_greentech_atlas_1.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Buchert, Matthias; Sutter, Jürgen (2020): Stand und Perspektiven des Recyclings von Lithium-Ionen-Batterien aus der Elektromobilität. Hg. v. Öko-Institut e.V. Online verfügbar unter <https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2020-09/Strategiepapier-Mercator-Recycling-Batterien.pdf>, zuletzt geprüft am 10.12.2020.

- Bundesamt für Justiz und Verbraucherschutz (BMJV) (2013): Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274; 2021 I S. 123), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 1 des Gesetzes vom 9. Dezember 2020 (BGBl. I S. 2873) geändert worden ist. Erster Teil, Allgemeine Vorschriften, § 3. Online verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/bimsg/index.html>, zuletzt geprüft am 16.12.2020.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (2019): Förderübersicht: Heizen mit erneuerbaren Energien 2020. Online verfügbar unter [https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ee\\_foerderuebersicht\\_2020.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ee_foerderuebersicht_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=4), zuletzt geprüft am 02.11.2020.
- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) (2020): Merkblatt zu den technischen Mindestanforderungen (Heizen mit Erneuerbaren Energien). Hg. v. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Referat 513. Online verfügbar unter [https://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen\\_mit\\_Erneuerbaren\\_Energien/Foerdervoraussetzungen/foerdervoraussetzungen\\_node.html](https://www.bafa.de/DE/Energie/Heizen_mit_Erneuerbaren_Energien/Foerdervoraussetzungen/foerdervoraussetzungen_node.html), zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2015): Weiße Biotechnologie. Chancen für eine biobasierte Wirtschaft. Online verfügbar unter [https://www.bmbf.de/upload\\_filestore/pub/Weisse\\_Biotechnologie.pdf](https://www.bmbf.de/upload_filestore/pub/Weisse_Biotechnologie.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2019a): Der intelligente Windpark. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/der-intelligente-windpark-10174.html>, zuletzt geprüft am 05.10.2020.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2019b): Arten schützen mit Künstlicher Intelligenz. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/arten-schuetzen-mit-kuenstlicher-intelligenz-10464.html>, zuletzt geprüft am 05.10.2020.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2019c): Digitale Lösungen für hochwertiges Recycling. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/digitale-loesungen-fuer-hochwertiges-recycling-10465.html>, zuletzt geprüft am 05.10.2020.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2019d): Digitale Lösungen für eine nachhaltigere Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/digitale-loesungen-fuer-eine-nachhaltigere-landwirtschaft-10470.html>, zuletzt geprüft am 05.10.2020.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2020): Wissenswertes zu Grünem Wasserstoff. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/wissenswertes-zu-gruenem-wasserstoff-11763.html>, zuletzt aktualisiert am 14.08.2020, zuletzt geprüft am 14.08.2020.

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2016):  
Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan\\_2050\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Klimaschutz/klimaschutzplan_2050_bf.pdf), zuletzt geprüft am 24.09.2020.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2017):  
Naturschutz und Photovoltaik. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/natur-biologische-vielfalt-arten/naturschutz-biologische-vielfalt/naturschutz-und-energie/naturschutz-und-photovoltaik/>, zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018a):  
Das richtige Kältemittel ist klimafreundlich. Online verfügbar unter <https://www.kaeltemittel-info.de/informationen/kaeltemittel/das-richtige-kaeltemittel-ist-klimafreundlich/>, zuletzt aktualisiert am 2020, zuletzt geprüft am 29.10.2020.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018b):  
GreenTech made in Germany 2018. Umwelttechnik-Atlas für Deutschland. Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/greentech\\_2018\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/greentech_2018_bf.pdf), zuletzt geprüft am 06.08.2020.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2018c):  
Entwurf zur Neufassung der Ersten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Bundes–Immissionsschutzgesetz. (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft). Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/gesetz/entwurf-zur-neufassung-der-ersten-allgemeinen-verwaltungsvorschrift-zum-bundes-immissionsschutzgesetz/>, zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2020a):  
Förderung der Elektromobilität. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/foerderung/>, zuletzt geprüft am 11.12.2020.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2020b):  
Nationale Wasserstoffstrategie – ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz und zur Zukunftsfähigkeit unserer Wirtschaft. In: *BMU Infopapier*. Online verfügbar unter [https://www.ressourcenwende.net/wp-content/uploads/2020/07/nationale\\_wasserstoffstrategie\\_infopapier\\_bf.pdf](https://www.ressourcenwende.net/wp-content/uploads/2020/07/nationale_wasserstoffstrategie_infopapier_bf.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2020c):  
Wasserstoff und Klimaschutz. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/themen/klima-energie/klimaschutz/wasserstoff-und-klimaschutz/>, zuletzt aktualisiert am 10.08.2020, zuletzt geprüft am 10.08.2020.

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2020d): Mit Künstlicher Intelligenz das Erdsystem besser verstehen. Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/pressemitteilung/mit-kuenstlicher-intelligenz-das-erdsystem-besser-verstehen/>, zuletzt geprüft am 17.12.2020.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2002): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes–Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 24. Juli 2002. Online verfügbar unter [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Luft/taluft.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Luft/taluft.pdf), zuletzt geprüft am 11.11.2020.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (2017): Smart City Charta. Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten. Bonn. Online verfügbar unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2017/smart-city-charta-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2017/smart-city-charta-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) ((o.J.)a): Batteriezellfertigung Deutschland: Alle Aktivitäten unter einem Dach. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/batteriezellfertigung.html>, zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) ((o.J.)b): Leichtbauatlas. Online verfügbar unter <https://leichtbauatlas.de/de/>, zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) ((o.J.)c): Schlüsseltechnologien. Leichtbau. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/leichtbau.html>, zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018a): Schlaglichter der Wirtschaftspolitik – Monatsbericht Juni 2018. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/schlaglichter-der-wirtschaftspolitik-monatsbericht-06-2018-1145314>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2018b): Thesen zur industriellen Batteriezellfertigung in Deutschland und Europa. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/thesen-zur-industriellen-batteriezellfertigung-in-deutschland-und-europa.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=5](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/S-T/thesen-zur-industriellen-batteriezellfertigung-in-deutschland-und-europa.pdf?__blob=publicationFile&v=5), zuletzt geprüft am 15.12.2020.
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020a): Batterien für die Mobilität von morgen. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/batteriezellfertigung.html>, zuletzt geprüft am 17.12.2020.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020b): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2019. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/erneuerbare-energien-in-zahlen-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=6), zuletzt geprüft am 12.03.2021.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020c): Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Informationsportal Erneuerbare Energien. Online verfügbar unter [https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/Das\\_EEWaermeG/das\\_eewaermeg.html](https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Navigation/DE/Recht-Politik/Das_EEWaermeG/das_eewaermeg.html), zuletzt geprüft am 11.03.2021.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020d): Langfristige Renovierungsstrategie der Bundesregierung. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/langfristige-renovierungsstrategie-der-bundesregierung.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/langfristige-renovierungsstrategie-der-bundesregierung.pdf?__blob=publicationFile&v=6), zuletzt geprüft am 10.03.2021.

Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) ((o.J.)): Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung. Online verfügbar unter [http://www.bmz.de/de/themen/2030\\_agenda/index.html?follow=adword](http://www.bmz.de/de/themen/2030_agenda/index.html?follow=adword), zuletzt geprüft am 02.10.2020.

Bundesnetzagentur ((o.J.)): EEG-Umlage. Was ist die EEG-Umlage und wie funktioniert sie? Online verfügbar unter <https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/FAQs/DE/Sachgebiete/Energie/Verbraucher/Energielexikon/EEGUmlage.html>, zuletzt geprüft am 04.09.2020.

Bundesnetzagentur (2019): EEG in Zahlen 2019. Online verfügbar unter [https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen\\_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEGinZahlen\\_2019\\_BF.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/ErneuerbareEnergien/ZahlenDatenInformationen/EEGinZahlen_2019_BF.pdf?__blob=publicationFile&v=2), zuletzt geprüft am 10.03.2021.

Bundesregierung (2018): Kleine Anfrage von Abgeordneten und der Fraktion der FDP zu Synthetische Kraftstoffe für die Mobilität in Deutschland. Drucksache 19/6575. Online verfügbar unter <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/065/1906575.pdf>, zuletzt aktualisiert am 18.12.2018, zuletzt geprüft am 24.08.2020.

Bundesregierung (2020): Wind. Online verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/wind-317766>, zuletzt geprüft am 06.10.2020.

- Bundesverband der Gipsindustrie e.V. (2020): Zukunft der heimischen Gips-Rohstoffsicherung. Online verfügbar unter [http://naturgips-im-harz.de/wp-content/uploads/2019/09/20190809\\_Neu-Zukunft-Gips-Rohstoffsicherung.pdf](http://naturgips-im-harz.de/wp-content/uploads/2019/09/20190809_Neu-Zukunft-Gips-Rohstoffsicherung.pdf), zuletzt geprüft am 27.11.2020.
- Bundesverband für Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V. (2020): Klimaschutz durch digitale Technologien. Online verfügbar unter [https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-05/2020-05\\_bitkom\\_klimastudie\\_digitalisierung.pdf](https://www.bitkom.org/sites/default/files/2020-05/2020-05_bitkom_klimastudie_digitalisierung.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Bundesverband WindEnergie BWE (2020a): Planung von Windenergieanlagen. Unter Mitarbeit von Anne Lepinski. Online verfügbar unter <https://www.wind-energie.de/themen/mensch-und-umwelt/planung/>, zuletzt geprüft am 15.10.2020.
- Bundesverband WindEnergie BWE (2020b): Widerstand- und Auftriebsläufer. Online verfügbar unter <https://www.wind-energie.de/themen/anlagentechnik/funktionsweise/widerstandlaeuer-auftriebslaeuer/>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Bürger, Veit; Hesse, Tilman; Quack, Dietlinde; Palzer, Andreas; Köhler, Benjamin; Herkel, Sebastian; Engelmann, Peter (2016): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (CLIMATE CHANGE, 06/2016). Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate\\_change\\_06\\_2016\\_klimaneutraler\\_gebaeudebestand\\_2050.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/climate_change_06_2016_klimaneutraler_gebaeudebestand_2050.pdf), zuletzt geprüft am 06.08.2020.
- Bürger, Veit; Hesse, Tilmann; Palzer, Andreas; Köhler, Benjamin; Herkel, Sebastian; Engelmann, Peter; Quack, Dietlinde (2017): Klimaneutraler Gebäudebestand 2050 – Energieeffizienzpotenziale und die Auswirkungen des Klimawandels auf den Gebäudebestand. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (CLIMATE CHANGE, 26/2017). Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-06\\_climate-change\\_26-2017\\_klimaneutraler-gebaeudebestand-ii.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-11-06_climate-change_26-2017_klimaneutraler-gebaeudebestand-ii.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- C<sup>3</sup> - Carbon Concrete Composite e. V.; Forschungszentrum EcoMaT; Fraunhofer Allianz Leichtbau et al. (2017): Positionen zum industriepolitischen Leichtbau-Dialog: Deutschland muss Leitanbieter werden. Online verfügbar unter <https://www.bauen-neu-denken.de/wp-content/uploads/2016/11/Positionspapier-Leichtbau-20170619-1.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Center for Entrepreneurial and Financial Studies (CEFS); Technische Universität München (TUM) (2019): Börsennotierte Familienunternehmen in Deutschland. Bedeutung, Merkmale, Performance. Hg. v. Stiftung Familienunternehmen. Online verfügbar unter [https://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/Boersennotierte-Familienunternehmen-in-Deutschland\\_Studie\\_Stiftung-Familienunternehmen\\_2019.pdf](https://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/Boersennotierte-Familienunternehmen-in-Deutschland_Studie_Stiftung-Familienunternehmen_2019.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.

- Ceresana eK (2020): Marktstudie Biokunststoffe. Online verfügbar unter <https://www.ceresana.com/de/marktstudien/kunststoffe/biokunststoffe/biokunststoffe-marktanteil-kapazitaet-angebot-nachfrage-prognose-innovation-anwendung-wachstum-produktion-industrie.html>, zuletzt geprüft am 18.12.2020.
- Crome, Kira (2019): Effizienz-Falle: Was bedeutet der Rebound-Effekt. Hg. v. EnergieAgentur.NRW. Europäische Union. Online verfügbar unter <https://www.energieagentur.nrw/blogs/erneuerbare/beitraege/effizienz-falle-was-bedeutet-der-rebound-effekt/>, zuletzt aktualisiert am 16.09.2019, zuletzt geprüft am 16.12.2020.
- Deerberg, Görge; Hiebel, Markus; Gehrke, Ilka (2019): Welche Chancen und Risiken birgt die Digitalisierung für die Nachhaltigkeit? 52. Essener Tagung für Wasserwirtschaft vom 20.03.-22.03.2019 in Aachen. 52. Essener Tagung für Wasserwirtschaft. Aachen.
- Deerberg, Görge; Oles, Markus; Schlögl, Robert ((o.J.)): Verbundprojekt Carbon2Chem®. CO<sub>2</sub>-Reduzierung durch cross-industrielle Kooperation der Stahl-, Chemie- und Energiebranche. Online verfügbar unter <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/strategische-forschungslinien/kohlenstoffkreislauf/verbundprojekt-kohlenstoffkreislauf-carbon2chem.pdf>, zuletzt geprüft am 18.08.2020.
- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) (2019): Akademietag: Warum Biotechnologie immer wichtiger wird. Hamburg. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/allgemein/acatech-akademietag-warum-biotechnologie-immer-wichtiger-wird/>, zuletzt geprüft am 22.09.2020.
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt (2012): Mit Innovation und Leidenschaft zum "Sunny Boy" der Solar-Industrie. Online verfügbar unter <https://www.dbu.de/media/250912045751nm2f.pdf>, zuletzt geprüft am 21.12.2020.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2017): Digitalisierung und deren Herausforderungen für die Wasserwirtschaft meistern. Online verfügbar unter <https://de.dwa.de/de/digitalisierung-und-deren-herausforderungen-f%C3%BCr-die-wasserwirtschaft-meistern.html>, zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Deutscher Bundestag (2019a): Antrag der Abgeordneten Dr. Bettina Hoffmann et al. und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. Ressourcenverschwendung bei Altbatterien stoppen - Herstellerverantwortung sicherstellen, Werkstoffkreisläufe schließen (Drucksache 19/20562). Online verfügbar unter <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/205/1920562.pdf>, zuletzt geprüft am 10.12.2020.

- Deutscher Bundestag (2019b): Sachstand. Zur ökologischen Auswirkung von Windkraftanlagen. Hg. v. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages (WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung). Online verfügbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/627700/d2062d540c0e87120ce20046681c8622/WD-8-139-18-pdf-data.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Deutscher Bundestag (2019c): Antwort auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Lorenz Gösta Beutin, Dr. Gesine Löttsch, Heidrun Bluhm-Förster, weiterer Abgeordneter und der Fraktion DIE LINKE. Arbeitsplätze in der Windenergiebranche (Drucksache 19/12129). Online verfügbar unter <https://dip21.bundestag.de/dip21/btd/19/121/1912129.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Deutscher Städte- und Gemeindebund; Deutsche Umwelthilfe; Institut für angewandtes Stoffstrommanagement (2013): Strategie: Erneuerbar! Handlungsempfehlungen für Kommunen zur Optimierung der Wertschöpfung aus Erneuerbaren Energien. Online verfügbar unter [http://www.duh.de/uploads/tx\\_duhdownloads/Handlungsleitfaden\\_kommunaleWertsch%C3%B6pfung.pdf](http://www.duh.de/uploads/tx_duhdownloads/Handlungsleitfaden_kommunaleWertsch%C3%B6pfung.pdf), zuletzt geprüft am 11.09.2020.
- Diefenbach, Nikolaus; Clausnitzer, Klaus-Dieter (2010): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt; Bremer Energie-Institut. Darmstadt, Bremen. Online verfügbar unter [http://www.iwu.de/fileadmin/user\\_upload/dateien/energie/klima\\_altbau/Endbericht\\_Datenbasis.pdf](http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Endbericht_Datenbasis.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Doyle, Ulrike; Kabel, Claudia; Schuster, Christian; Tobollik, Myriam (2020): Gesundheitsbezogene Indikatoren der Sustainable Development Goals (SDG) und ihre Umsetzung für Deutschland im Bereich Umwelt. In: *UMID – UMWELT + MENSCH INFORMATIONSDIENST* (1), S. 7-22. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umid-012020>, zuletzt geprüft am 15.12.2020.
- Ellen MacArthur Foundation (2015): Growth within: A Circular Economy Vision for a Competitive Europe. Online verfügbar unter [https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation\\_Growth-Within\\_July15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/EllenMacArthurFoundation_Growth-Within_July15.pdf), zuletzt geprüft am 25.09.2020.
- Endres, Sonja (2018): Propan-Wärmepumpe: Umweltfreundlich und effizient. In: *Weiter.vorn (Das Fraunhofer Magazin)* (3). Online verfügbar unter [https://www.archiv.fraunhofer.de/weiter\\_vorn\\_3\\_2018/#26](https://www.archiv.fraunhofer.de/weiter_vorn_3_2018/#26), zuletzt geprüft am 29.10.2020.
- energiezukunft - Das Portal für Erneuerbare Energien und die bürgernahe Energiewende (2019): Klimaoptimierte Wärmepumpen bald marktreif. Online verfügbar unter <https://www.energiezukunft.eu/umweltschutz/klimaoptimierte-waermepumpen-bald-marktreif/>, zuletzt aktualisiert am 24.10.2019, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

- Ernst & Young GmbH (2018): Barometer Digitalisierung der Energiewende. Berichtsjahr 2018. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/barometer-digitalisierung-der-energiewende.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=28](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/barometer-digitalisierung-der-energiewende.pdf?__blob=publicationFile&v=28), zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Ernst & Young GmbH (2020a): Barometer Digitalisierung der Energiewende. Berichtsjahr 2019. Online verfügbar unter [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/barometer-digitalisierung-der-energiewende-berichtsjaehr-2019.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=8](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/barometer-digitalisierung-der-energiewende-berichtsjaehr-2019.pdf?__blob=publicationFile&v=8), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Ernst & Young GmbH (2020b): Good Translational Practice. Welche Hebel senken das Risiko im Innovationsprozess? Deutscher Biotechnologie-Report 2020. Online verfügbar unter [https://lifesciencenord.de/files/redaktion/03-News-Events/News/2020/05/20200512\\_EYBiotechReport\\_D\\_2020\\_Good%20Translational%20Practice.pdf](https://lifesciencenord.de/files/redaktion/03-News-Events/News/2020/05/20200512_EYBiotechReport_D_2020_Good%20Translational%20Practice.pdf), zuletzt geprüft am 15.03.2021.
- EuPD Research Sustainable Management GmbH (2019): Energiewende im Kontext von Atom- und Kohleausstieg. Perspektiven im Strommarkt bis 2040. Bonn. Online verfügbar unter [https://www.solarwirtschaft.de/wp-content/uploads/2020/08/EUPD\\_Energiewende\\_Studie\\_Update\\_2020\\_webversion.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/wp-content/uploads/2020/08/EUPD_Energiewende_Studie_Update_2020_webversion.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Europäische Kommission (2018a): Impacts of circular economy policies on the labour market. Brüssel. Online verfügbar unter <http://trinomics.eu/wp-content/uploads/2018/07/Impacts-of-circular-economy-on-policies-on-the-labour-market.pdf>, zuletzt geprüft am 23.09.2020.
- Europäische Kommission (2018b): Mitteilung der Kommission an das europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen über die Umsetzung des Pakets zur Kreislaufwirtschaft: Optionen zur Regelung der Schnittstelle zwischen Chemikalien-, Produkt- und Abfallrecht. Brüssel. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/27321>, zuletzt geprüft am 23.09.2020.
- Europäische Kommission (2019a): European Green Deal. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52019DC0640>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Europäische Kommission (2019b): The Thematic Strategy on air pollution, the Directive on Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe and their Impact Assessment are based on other relevant documents produced by the Commission in the Framework of the "Clean Air For Europe" (CAFE) Programme. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/environment/archives/cafegeneral/keydocs.htm>, zuletzt geprüft am 26.02.20.

- Europäische Kommission (2020a): Circular Economy Action Plan. Brüssel. Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new\\_circular\\_economy\\_action\\_plan.pdf](https://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/new_circular_economy_action_plan.pdf), zuletzt geprüft am 25.09.2020.
- Europäische Kommission (2020b): Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen. Ein neuer Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Für ein saubereres und wettbewerbsfähigeres Europa. Online verfügbar unter [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0016.02/DOC_1&format=PDF), zuletzt geprüft am 04.12.2020.
- Europäische Kommission (2020c): Neuer Aktionsplan für Kreislaufwirtschaft ebnet Weg zu klimaneutraler und wettbewerbsfähiger Wirtschaft mit mündigen Verbrauchern. Online verfügbar unter [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP\\_20\\_420](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_20_420), zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- Europäische Union (2004): Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A02004R0850-20160930>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Europäische Union (2014): Verordnung (EU) Nr. 517/2014 des Europäischen Parlaments und des Rates über fluorierte Treibhausgase und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 842/2006. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0517>, zuletzt aktualisiert am 20.05.2014, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- European Bioplastics ((o.J.)): What are bioplastics? European Bioplastics. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>, zuletzt geprüft am 03.12.2020.
- European Bioplastics (2019): Bioplastics market development. Update 2019. Online verfügbar unter [https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2019/11/Report\\_Bioplastics-Market-Data\\_2019\\_short\\_version.pdf](https://www.european-bioplastics.org/wp-content/uploads/2019/11/Report_Bioplastics-Market-Data_2019_short_version.pdf), zuletzt geprüft am 17.12.2020.
- European Environment Agency (EAA) (2019): Healthy environment, healthy lives: how the environment influences health and well-being in Europe (EEA Report No 21/2019). Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/publications/healthy-environment-healthy-lives>, zuletzt geprüft am 15.12.2020.

- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR) (2020): Biokunststoffe. Pflanzen, Rohstoffe, Produkte. Unter Mitarbeit von Michael Thielen. Online verfügbar unter [https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/brosch\\_biokunststoffe\\_2020\\_web.pdf](https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/brosch_biokunststoffe_2020_web.pdf), zuletzt geprüft am 18.12.2020.
- Feess, Eberhard (2018): Umwelttechnologie. Gabler Wirtschaftslexikon. Online verfügbar unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/umwelttechnologie-46985/version-270257>, zuletzt aktualisiert am 19.02.2018, zuletzt geprüft am 06.08.2020.
- Förstner, Ulrich; Köster, Stephan (2018): Umweltschutztechnik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, zuletzt geprüft am 06.08.2020.
- Fraunhofer-inHaus-Zentrum ((o.J.)): Die Geschichte des Fraunhofer-inHaus-Zentrums. Hg. v. Fraunhofer IMS. Online verfügbar unter <https://www.inhaus.fraunhofer.de/>, zuletzt geprüft am 13.11.2020.
- Fraunhofer-Institut ISE (2020): Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf>, zuletzt geprüft am 06.08.2020.
- Fraunhofer-Institut IWES; Fraunhofer-Institut IBP (2017): Wärmewende 2030. Schlüsseltechnologien zur Erreichung der mittel- und langfristigen Klimaschutzziele im Gebäudesektor. Studie im Auftrag von Agora Verkehrswende. Studie. Online verfügbar unter [https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2016/Sektoruebergreifende\\_EW/Waermewende-2030\\_WEB.pdf](https://www.agora-energiewende.de/fileadmin2/Projekte/2016/Sektoruebergreifende_EW/Waermewende-2030_WEB.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Fraunhofer-Institut UMSICHT (2017a): Kohlendioxid, Biomasse und Regenerativer Strom - Ressourcen einer neuen Kohlenstoffwirtschaft? (UMSICHT-Diskursheft, 1). Online verfügbar unter <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2017/umsicht-diskurs-neue-kohlenstoffwirtschaft.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Fraunhofer-Institut UMSICHT (2017b): Studie zur Circular Economy im Hinblick auf die chemische Industrie. Im Auftrag des Verbandes der Chemischen Industrie e.V. (VCI) Landesverband NRW. Oberhausen. Online verfügbar unter <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2017/zirkulaere-wirtschaft-fuer-chemische-industrie-gesamtstudie.pdf>, zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- Fraunhofer-Institut UMSICHT (2020): Kraftstoffe der Zukunft. Das Fraunhofer UMSICHT nimmt Stellung. Online verfügbar unter <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/de/dokumente/publikationen/2020/positionspapier-kraftstoffe-der-zukunft.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.

- Frost & Sullivan (2018): Highcast Performance Plastics (HPP) Market in Automotive and Aerospace Industries, Forecast to 2024. Online verfügbar unter <https://store.frost.com/high-performance-plastics-hpp-market-in-automotive-and-aerospace-industries-forecast-to-2024.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Frost & Sullivan (2019a): Frost Radar in the global bioplastics market. Unter Mitarbeit von Dilip Sarangan. Frost & Sullivan. Online verfügbar unter <https://store.frost.com/frost-radar-in-the-global-bioplastics-market.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Frost & Sullivan (2019b): Future of smart and connectes Homes. Forecast 2025. Online verfügbar unter <https://store.frost.com/future-of-smart-and-connected-homes-forecast-to-2025.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Frost & Sullivan (2019c): Outlook of the Global Water & Waste Water Market, 2019. The Global Adoption of a Circular Economy, Enabled by Digitalization, Boosts Water and Wastewater Market Growth. Unter Mitarbeit von Paul Hudson. Online verfügbar unter <https://store.frost.com/outlook-of-the-global-water-and-wastewater-market-2019.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Frost & Sullivan (2020): Power-to-X Technology Advancements and Techno-economic Perspective. Power-to-X Technology Delivers Energy Decarbonization Opportunities. Online verfügbar unter <https://store.frost.com/power-to-x-technology-advancements-and-techno-economic-perspective.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Geldsetzer, Felix (2007): Wasserstoff-Wirtschaft. RD-23-01286. Hg. v. F. Böckler, B. Dill, U. Dingerdissen, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, et al. (RÖMPP). Online verfügbar unter <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-23-01286>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Global Energy & Environment Research Team at Frost & Sullivan (2018): Global Industrial Air Pollution Control Equipment Market, Forecast to 2025. Internet of Things (IoT)-related Advances Transforming Operational Efficiency and Driving Innovation. Online verfügbar unter <https://store.frost.com/global-industrial-air-pollution-control-equipment-market-forecast-to-2025.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- H2 MOBILITY Deutschland GmbH & Co. KG (2020): H2.LIVE: Wasserstoff Tankstellen in Deutschland & Europa. Online verfügbar unter <https://h2.live/>, zuletzt aktualisiert am 10.08.2020, zuletzt geprüft am 10.08.2020.
- Hartmann-Schreier, Jenny (2004): Wasserstoff. Hg. v. F. Böckler, B. Dill, U. Dingerdissen, G. Eisenbrand, F. Faupel, B. Fugmann, et al. (RÖMPP). Online verfügbar unter <https://roempp.thieme.de/lexicon/RD-23-00368>, zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Hegglin, Raphael ((o.J.)): Wärmepumpen. Hg. v. Hausmagazin. Online verfügbar unter <https://www.hausmagazin.ch/de/gebaeude-energie/heiztechnik/detail/217/zukunft-waermepumpen.html>, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

- HeizungsJournal (2020): Wärmepumpenmarkt mit solidem Wachstum. Teil 1 des Branchenberichts zum Frühjahr/Sommer 2020. Online verfügbar unter [https://www.heizungsjournal.de/print/waermepumpenmarkt-mit-solidem-wachstum\\_15695](https://www.heizungsjournal.de/print/waermepumpenmarkt-mit-solidem-wachstum_15695), zuletzt geprüft am 05.11.2020.
- Hering, Ekbert; Schulz, Wolfgang (2018): Umweltschutztechnik und Umweltmanagement. Ein Kompendium für Studierende, Praktiker und Politiker. Wiesbaden: Springer Vieweg (essentials).
- Hillenbrand, Thomas; Hiessl, Harald; Klug, Stefan; Lüninck, Benedikt Freiherr von; Nierste-Hollenberg; Sartorius, Christian; Walz, Rainer (2013): Herausforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft. Innovationsreport. Hg. v. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) (Arbeitsbericht Nr. 158). Online verfügbar unter <https://www.tab-beim-bundestag.de/de/pdf/publikationen/berichte/TAB-Arbeitsbericht-ab158.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Hintemann, Ralph; Hinterholzer, Simon (2018): Smarte Rahmenbedingungen für Energie- und Ressourceneinsparungen bei vernetzten Haushaltsprodukten. Kurzstudie im Auftrag des Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND). Online verfügbar unter [https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/07/energiewende\\_studie\\_vernetzte\\_produkte.pdf](https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2018/07/energiewende_studie_vernetzte_produkte.pdf), zuletzt geprüft am 14.12.2020.
- Hintemann, Ralph; Hinterholzer, Simon (2020): Rechenzentren in Europa - Chancen für eine nachhaltige Digitalisierung. Hg. v. Borderstep Institut. Berlin. Online verfügbar unter <https://digitale-infrastrukturen.net/studie-nachhaltige-digitalisierung-in-europa/>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Hobohm, Jens et al. (2018): Status und Perspektiven flüssiger Energieträger in der Energiewende. Prognos AG; Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik; Deutschen Biomasseforschungszentrums DBFZ. Online verfügbar unter [https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/content/dam/umsicht-suro/de/images/pressemitteilungen/2018/EndberichtPrognos/Prognos-Endbericht\\_Fluessige\\_Energietraeger\\_Web-final.pdf](https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/content/dam/umsicht-suro/de/images/pressemitteilungen/2018/EndberichtPrognos/Prognos-Endbericht_Fluessige_Energietraeger_Web-final.pdf), zuletzt geprüft am 30.11.2020.
- Hoffmann, Madeleine (2020): Das sind die attraktivsten Arbeitgeber der Stadt. Capital.de. Online verfügbar unter <https://www.capital.de/karriere/attraktivste-arbeitgeber>, zuletzt geprüft am 06.10.2020.
- Horváth & Partners (2020): Status quo der E-Mobilität in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.horvath-partners.com/de/media-center/studien/faktencheck-e-mobilitaet-status-quo-der-e-mobilitaet-in-deutschland-update-2020/>, zuletzt geprüft am 15.03.2021.

- IKU - Innovationspreis für Klima und Umwelt (2020): Lorenz GmbH & Co. KG  
Umweltfreundliche Produkte und Dienstleistungen - Preisträger 2020. Online verfügbar unter <https://www.iku-innovationspreis.de/iku-info/preistraeger/2020/lorenz.php>, zuletzt geprüft am 16.12.2020.
- Infineon Technologies AG (2019): Smart Home: So wohnen wir im Jahr 2030. Hg. v. Infineon Technologies AG. Online verfügbar unter <https://www.infineon.com/cms/de/discoveries/smart-home-2030/>, zuletzt geprüft am 03.12.2020.
- Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA); Institut für Photovoltaik (ipv) (2012): Photovoltaikmodule - Umweltfreundlichkeit und Recyclingmöglichkeiten. Abschlussbericht. Online verfügbar unter [https://www.iswa.uni-stuttgart.de/ch/dokumente/Forschung\\_CH/PV\\_Abschlussbericht\\_1\\_18072012.pdf](https://www.iswa.uni-stuttgart.de/ch/dokumente/Forschung_CH/PV_Abschlussbericht_1_18072012.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Institute for Bioplastics and Biocomposites (IfBB) (2017): Häufig gestellte Fragen (FAQs). Biokunststoffe. Online verfügbar unter <https://www.ifbb-hannover.de/de/faqs.html>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- International Energy Agency (IEA) (2020): Global EV Outlook 2020. Entering the decade of electric drive? Online verfügbar unter <https://webstore.iea.org/download/direct/3007>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- International Renewable Energy Agency (2016): End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels, URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_IEAPVPS\\_End-of-Life\\_Solar\\_PV\\_Panels\\_2016.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf) (Stand: 08.04.2021).
- Interseroh (2020): Kunststoffrecycling. Maßgeschneiderte Recompounds ersetzen Neuware. Online verfügbar unter <https://www.interseroh.de/leistungen/recycling/recyclingkunststoffe/?act=ul&cHash=250ff1a1b0d9eee8909830319904bebb>, zuletzt aktualisiert am 16.10.2020, zuletzt geprüft am 16.10.2020.
- Jäger, Marc (2019): Smart Home Projekte: Marktübersicht, Herausforderungen & Trends. Hg. v. Home&Smart. JAEGER Wohn- & Gebäudeintelligenz. Online verfügbar unter <https://www.homeandsmart.de/smart-home-projekte>, zuletzt aktualisiert am 19.07.2019, zuletzt geprüft am 03.12.2020.
- Jokey (2020): Die Jokey Group. Firmenhomepage. Online verfügbar unter <https://www.jokey.com/de/unternehmen/ueber-jokey/>, zuletzt geprüft am 18.12.2020.
- Kasten, Peter (2020): E-Fuels im Verkehrssektor. Kurzstudie über den Stand des Wissens und die mögliche Bedeutung von E-Fuels für den Klimaschutz im Verkehrssektor. Öko-Institut e.V. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/E-Fuels-im-Verkehrssektor-Hintergrundbericht.pdf>, zuletzt geprüft am 25.11.2020.

- Khandewal, Priyanka; Sumant, Onkar (2019): Global Air Quality Control Systems Market. Opportunities and Forecasts 2019-2026. Allied Market research. Online verfügbar unter <https://www.alliedmarketresearch.com/air-quality-control-systems-market>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Kienzlen, Volker et al. (2015): Über den Sinn von Wärmedämmung. Argumente zur Überwindung von Missverständnissen. 2. Aufl. Hg. v. KEA Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH (Positionspapier, 4). Online verfügbar unter [https://www.kea-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Ueber\\_den\\_Sinn\\_von\\_Waermedaemmung.pdf](https://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Ueber_den_Sinn_von_Waermedaemmung.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Klein, Bernd; Gänsicke, Thomas (2019): Leichtbau-Konstruktion. Dimensionierung, Strukturen, Werkstoffe und Gestaltung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Klein, Ulrich (2020): Smart Home Deutschland Report 2020. Potenziale und Hemmnisse smarterer Wohnwelten in Deutschland. Whitepaper. Online verfügbar unter <https://www.homeandsmart.de/smart-home-deutschland-report>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Klell, Manfred; Eichlseder, Helmut; Trattner, Alexander (2018): Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Wiesbaden.
- Krack, Juri; Köppl, Simon; Samweber, Florian (2017): Die Akzeptanz des Netzausbaus in Deutschland. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 67 (1/2), S. 101-106. Online verfügbar unter [https://www.ffe.de/attachments/article/687/Beitrag\\_Akzeptanz\\_des\\_Netzausbaus.pdf](https://www.ffe.de/attachments/article/687/Beitrag_Akzeptanz_des_Netzausbaus.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Kraftfahrt-Bundesamt (2021): Bestand an Personenkraftwagen am 1. Januar 2021 nach Bundesländern und ausgewählten Kraftstoffarten absolut. Online verfügbar unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/fz\\_b\\_jahresbilanz\\_archiv/2021/2021\\_b\\_barometer.html?nn=2598042](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/fz_b_jahresbilanz_archiv/2021/2021_b_barometer.html?nn=2598042), zuletzt geprüft am 23.02.2021.
- Kroll, Lothar (2019): Technologiefusion für multifunktionale Leichtbaustrukturen. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Kurek, Rainer; Nell-Breuning, Constanze von; Neumüller, Karl; Funder, Martina; Fassbaender, Peter (2017): Leichtbau als Innovationstreiber. Management summary. Online verfügbar unter <https://www.composites-for-europe.com/local/media/download/pdf/LTF-Studie-MgmtSummary-solo.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Kurzweil, Peter; Dietlmeier, Otto K. (2018): Elektrochemische Speicher. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Lange, Steffen; Santarius, Tilman (2018): Smarte grüne Welt? Digitalisierung zwischen Überwachung, Konsum und Nachhaltigkeit. München: Oekom Verlag.

- Leichtbau BW GmbH (2015): Trends und Märkte im Leichtbau. Weiterführende Auswertung der Studie "Leichtbau - Trends und Zukunftsmärkte". Online verfügbar unter [https://www.leichtbau-bw.de/fileadmin/user\\_upload/Downloads/RZ\\_LeichtbauBW\\_Studie\\_Trends\\_und\\_Zukunftsmarkte\\_web.pdf](https://www.leichtbau-bw.de/fileadmin/user_upload/Downloads/RZ_LeichtbauBW_Studie_Trends_und_Zukunftsmarkte_web.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Leichtbau BW GmbH (2019): Leichtbau im urbanen System. Online verfügbar unter [https://www.leichtbau-bw.de/fileadmin/user\\_upload/PDF/Studien/RZ\\_LeichtbauBW\\_Studie\\_Urbanes\\_System\\_WEB.pdf](https://www.leichtbau-bw.de/fileadmin/user_upload/PDF/Studien/RZ_LeichtbauBW_Studie_Urbanes_System_WEB.pdf), zuletzt geprüft am 27.11.2020.
- Leichtbau BW GmbH; Fraunhofer-Institut ISI; Fraunhofer-Institut ICT; Fraunhofer-Institut IPA; Fraunhofer-Institut IAO; Karlsruher Institut für Technologie KIT (2014): Leichtbau - Trends und Zukunftsmärkte. Und deren Bedeutung für Baden-Württemberg. Online verfügbar unter [https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Publikationen/Studien/Studie\\_LeichtbauBW\\_Trends\\_Zukunftsmarkte.pdf](https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Publikationen/Studien/Studie_LeichtbauBW_Trends_Zukunftsmarkte.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Luber, Claus; Scheffel, Bert; Saager, Stefan; Straach, Steffen; Schiller, Nicolas (2018): Lithium-Ionen-Batterien. In: *Vakuum in Forschung und Praxis* 30 (4), S. 39-45. DOI: 10.1002/vipr.201800689.
- Maier, Nina (2018): Biologisch abbaubare Kunststoffe. Arbeitspapier. Hg. v. Europäisches Netzwerk der Leitungen der Umweltschutzbehörden (EPA-Netzwerk)-Interessengruppe Kunststoffe (Interest Group Plastics). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/2019-02-20\\_ig\\_plastics\\_bdp\\_report\\_de.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/dokumente/2019-02-20_ig_plastics_bdp_report_de.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Manthiram, Arumugam (2020): A reflection on lithium-ion battery cathode chemistry. In: *Nature communications* 11 (1), S. 1550. DOI: 10.1038/s41467-020-15355-0.
- Martens, Hans; Goldmann, Daniel (2016): Recyclingtechnik. Fachbuch für Lehre und Praxis. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg. Online verfügbar unter <https://fdokument.com/document/recyclingtechnik-fachbuch-fur-lehre-und-praxis.html>, zuletzt geprüft am 22.09.2020.
- Masson, Gaetan; Kaizuka, Izumi (2020): Trends in Photovoltaik Applications 2020. Task 1 Strategic PV Analysis and Outreach. Hg. v. International Energy Agency (IEA) Photovoltaik Power Systems Programme (PVPS). Online verfügbar unter [https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/11/IEA\\_PVPS\\_Trends\\_Report\\_2020-1.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/11/IEA_PVPS_Trends_Report_2020-1.pdf), zuletzt geprüft am 10.03.2021.
- Maus, Wolfgang (2019): Zukünftige Kraftstoffe. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Michaelis, Sarah; Rahimzei, Ehsan; Kampker, Achim; Heimes, Heiner; Lienemann, Christoph; Offermanns, Christian et al. (2018): Roadmap Batterie-Produktionsmittel 2030. Hg. v. VDMA Batterieproduktion. Online verfügbar unter <https://battprod.vdma.org/documents/7411591/15357859/Roadmap+Batterieproduktionsmittel+2030-Update+2018+final.pdf/9afdeebf-cf08-2ec5-8306-47dba37992d1>, zuletzt geprüft am 15.12.2020.

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2015): Umwelttechnikpreis Baden-Württemberg 2015: Überdimensionierte Muttern verschlanken. Pressemitteilung Nr. 107/2/2015. Online verfügbar unter [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6\\_Wirtschaft/Ressourceneffizienz\\_und\\_Umwelttechnik/Umwelttechnikpreis/2015/20150707\\_UTP-2015\\_Kat-2-Materialeffizienz\\_HEWI.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Umwelttechnikpreis/2015/20150707_UTP-2015_Kat-2-Materialeffizienz_HEWI.pdf), zuletzt aktualisiert am 02.10.2020, zuletzt geprüft am 11.03.2021.

Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg: Leichtbau im Bauwesen. Ein Praxis-Leitfaden zur Entwicklung und Anwendung ressourcen- und emissionsreduzierter Bauprodukte. Online verfügbar unter [https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Publikationen/Innovation/Praxis-Leitfaden\\_Leichtbau\\_im\\_Bauwesen\\_2018\\_Web.pdf](https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Publikationen/Innovation/Praxis-Leitfaden_Leichtbau_im_Bauwesen_2018_Web.pdf), zuletzt geprüft am 27.11.2020.

ICS 27.180; 91.200, Oktober 2020: Nachhaltiger Rückbau, Demontage, Recycling und Verwertung von Windenergieanlagen. Online verfügbar unter <https://www.beuth.de/de/technische-regel/din-spec-4866/326469199>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2016): Roadmap integrierte Zell- und Batterieproduktion Deutschland. Ag 2 – Batterietechnologie. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/roadmap-integrierte-zell-und-batterieproduktion-deutschland/>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.

Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2018): Fortschrittsbericht 2018 – Markthochlaufphase. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/publikation/fortschrittsbericht-2018-markthochlaufphase/>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.

Nguyen, Minh Duc (2020): Wärmepumpe: Funktion kurz erklärt. Heizung.de. Online verfügbar unter <https://heizung.de/waermepumpe/wissen/die-waermepumpe-funktion-kurz-und-verstaendlich-erklaert/>, zuletzt aktualisiert am 13.02.2020, zuletzt geprüft am 20.11.2020.

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2007): Glossary of statistical terms. Online verfügbar unter <https://stats.oecd.org/glossary/>, zuletzt geprüft am 30.11.2020.

- Peterek, Gabriele (2020): Biokunststoffe. Einführung/Definition. Hg. v. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). Online verfügbar unter <https://biowerkstoffe.fnr.de/biokunststoffe/einfuehrung/definition>, zuletzt geprüft am 03.12.2020.
- PlasticsEurope Deutschland e. V. (2020a): Geschäftsbericht 2019. Online verfügbar unter <https://www.plasticseurope.org/de/resources/publications/2918-geschaeftsbericht-2019>, zuletzt geprüft am 07.12.2020.
- PlasticsEurope Deutschland e. V. (2020b): Quartalsbericht der Kunststoffindustrie in Deutschland. 2. Quartal. Online verfügbar unter [https://www.plasticseurope.org/application/files/3216/0440/5253/Quartalsbericht\\_Q2.2020.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/3216/0440/5253/Quartalsbericht_Q2.2020.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Post, Matthias; Schmidt, Peter (2019): Praktische Bauphysik. Eine Einführung mit Berechnungsbeispielen. 9. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Proceram GmbH & Co. KG ((o.J.)): Klimainitiative Baugewerbe. Online verfügbar unter <https://www.klimainitiative-baugewerbe.de/impressum>, zuletzt geprüft am 08.12.2020.
- Rein, Stefan (2020): Bericht zur Lage und Perspektive der Bauwirtschaft 2020. Hg. v. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn (BBSR-Analysen KOMPAKT, 02). Online verfügbar unter [https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2020/ak-02-2020-dl.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2020/ak-02-2020-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=1), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Roland Berger Strategy Consultants; Prognos AG (2020): Wegweiser Solarwirtschaft: PV-Roadmap 2020. Wettbewerbsfähig, klimafreundlich, dezentral – Die Solarwirtschaft als eine bedeutende Säule einer nachhaltigen Energieversorgung. Online verfügbar unter [https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content\\_files/roadmap\\_kurz.pdf](https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/content_files/roadmap_kurz.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Rumm, Stefanie (2016): Verbrauchereinschätzung zu Biokunststoffen: eine Analyse vor dem Hintergrund des heuristic-systematic model. Dissertation. Dissertation. Unter Mitarbeit von Martin Moog. Technische Universität München. München. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1306582/document.pdf>, zuletzt aktualisiert am 14.06.2016, zuletzt geprüft am 17.12.2020.
- Satorius AG (2020): Geschäftsbericht 2020. Online verfügbar unter <https://www.satorius.com/download/692410/3/sag-annual-report-2020-de-data.pdf>, zuletzt geprüft am 15.03.2021.
- Schnepel, Christiane (2009): Kühlgeräte mit FCKW immer ein Problem. Warum Fluorkohlenwasserstoffe noch ein Thema sind. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3828.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.

- Schultz, Konrad (1998): Systematik der Luftschadstoffe, In: Schultz K., Petro W. (Hg.) Pneumologische Umweltmedizin. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Schwimmer, Edith; Schaufler, Claudius; Braun, Steffen; Schatzinger, Susanne (2019): Leichtbau im urbanen System. Hg. v. Leichtbau BW GmbH. Online verfügbar unter [http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn\\_nbn\\_de\\_0011-n-5553495.pdf](http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-5553495.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Scovronick, Noah et al. (2019): The impact of human health co-benefits on evaluations of global climate policy. In: *Nature communications* 10 (1), S. 2095. DOI: 10.1038/s41467-019-09499-x.
- Siebel, Thomas (2018): "Was fügetechnisch eine Meisterleistung ist, bereitet recyclingtechnisch Kopfschmerzen". In: *Lightweigh Design* (11), S. 26-29. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/article/10.1007/s35725-018-0050-y>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Siebel, Thomas (2020): Wie viel kostet Leichtbau? (Im Fokus). Online verfügbar unter <https://www.springerprofessional.de/leichtbau/konstruktion---entwicklung/wieviel-kostet-leichtbau-/17788540>, zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- Siegemund, Stefan; Trommler, Marcus; Kolb, Ole; Zinnecker, Valentin (2017): The potential of electricity-based fuels for low-emission transport in the EU. An expertise by LBST and dena. "E-Fuels" Study. Hg. v. Deutsche Energie-Agentur GmbH. Online verfügbar unter [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9219\\_E-FUELS-STUDY\\_The\\_potential\\_of\\_electricity\\_based\\_fuels\\_for\\_low\\_emission\\_transport\\_in\\_the\\_EU.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/9219_E-FUELS-STUDY_The_potential_of_electricity_based_fuels_for_low_emission_transport_in_the_EU.pdf), zuletzt geprüft am 24.08.2020.
- Statista (2020a): Bruttostromerzeugung aus Windkraft in Deutschland in den Jahren 1998 bis 2019. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/156379/umfrage/stromerzeugung-durch-windkraft-in-deutschland-seit-1998/>, zuletzt geprüft am 27.08.2020.
- Statista (2020b): Prognose zur Anzahl der Smart Home Haushalte in Deutschland für die Jahre 2017 bis 2025. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/prognosen/885611/anzahl-der-smart-home-haushalte-in-deutschland>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Statista (2020c): Smart Home revenue forecast in Germany until 2025. Unter Mitarbeit von Jeremiah Laswuety-Reyes. Online verfügbar unter <https://www.statista.com/forecasts/480466/revenue-in-the-smart-home-market-in-germany>, zuletzt geprüft am 14.12.2020.
- Statista (2020d): Umsatz in der deutschen Batteriebranche in den Jahren 2005 bis 2019. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/373212/umfrage/umsatz-der-deutschen-batteriebranche/>, zuletzt geprüft am 27.11.2020.

- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2018): Umwelt. Umsatz und Beschäftigte (Fachserie 19. Reihe 3.3). Online verfügbar unter [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Umweltoekonomie/Publikationen/Downloads-Umweltoekonomie/umsatz-waren-bau-dienstleistung-umweltschutz-2190330187004.pdf;jsessionid=703C0398D48266F32730FC2A76956AAA.internet8711?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Umweltoekonomie/Publikationen/Downloads-Umweltoekonomie/umsatz-waren-bau-dienstleistung-umweltschutz-2190330187004.pdf;jsessionid=703C0398D48266F32730FC2A76956AAA.internet8711?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 12.03.2021.
- Statistisches Bundesamt (Destatis) (2020): Beschäftigte und Umsatz der Betriebe im Verarbeitenden Gewerbe: Deutschland, Jahre, Wirtschaftszweige. Zeitraum 2005-2019. Online verfügbar unter <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=42111-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1615566111574#abreadcrumb>, zuletzt geprüft am 12.03.2021.
- Stawiarski, Karl-Heinz ((o.J.)): Wärmepumpen-Quartierslösungen sind die Zukunft. Hg. v. Bundesverband Wärmepumpe e. V. (bwp). Online verfügbar unter <https://www.waermepumpe.de/presse/blog/blog-archiv/forschung-technik/waermepumpen-quartiersloesungen-sind-die-zukunft/>, zuletzt geprüft am 20.11.2020.
- Steinbach, Volker (2019): Stellungnahme zum Thema "Rohstoffe unter besonderer Berücksichtigung der Elektromobilität" für eine öffentliche Anhörung im Ausschuss für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung des Deutschen Bundestages am 06.11.2019. Hg. v. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Ausschussdrucksache 19(19)260e). Online verfügbar unter [https://www.bundestag.de/resource/blob/666042/79f694e3c38c722c2c422cfc61f10da9/05\\_stellungnahme-bgr-data.pdf](https://www.bundestag.de/resource/blob/666042/79f694e3c38c722c2c422cfc61f10da9/05_stellungnahme-bgr-data.pdf), zuletzt geprüft am 11.12.2020.
- Stiftung Familienunternehmen ((o.J.)): Definition Familienunternehmen. Online verfügbar unter <https://www.familienunternehmen.de/de/definition-familienunternehmen>, zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- Strom-Report (2020): Photovoltaik in Deutschland. Online verfügbar unter <https://strom-report.de/photovoltaik/>, zuletzt aktualisiert am 31.01.2021, zuletzt geprüft am 31.01.2021.
- Timmerberg, Sebastian; Kaltschmitt, Martin (2019): Untersuchung zum PtX-Hochlauf, Wie schnell kann PtX produziert werden? Unter Mitarbeit von Technische Universität Hamburg. Hamburg (VDI Expertenforum Schifftechnik - Antriebe der Zukunft). Online verfügbar unter [https://www.strommarkttreffen.org/2019-09-27\\_Timmerberg\\_Entwicklung\\_von\\_PtL-Produktionsmengen.pdf](https://www.strommarkttreffen.org/2019-09-27_Timmerberg_Entwicklung_von_PtL-Produktionsmengen.pdf), zuletzt aktualisiert am 29.03.2019, zuletzt geprüft am 27.11.20.
- Töpler, Johannes; Lehmann, Jochen (2017): Wasserstoff und Brennstoffzelle. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Umweltbundesamt (UBA) (2020a): BattG-Melderegister. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/produktverantwortung-in-der-abfallwirtschaft/batterien/battg-melderegister>, zuletzt geprüft am 10.12.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2020b): Biobasierte und biologisch abbaubare Kunststoffe. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/biobasierte-biologisch-abbaubare-kunststoffe#haufig-gestellte-fragen-faq>, zuletzt geprüft am 04.12.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2020c): Chemisches Recycling. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17\\_hgp\\_chemisches-recycling\\_online.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17_hgp_chemisches-recycling_online.pdf), zuletzt geprüft am 02.09.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2020d): Das Melderegister für Batteriehersteller (BattG-Melderegister). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehelter-abfallarten/altbatterien#das-melderegister-fur-batteriehersteller-battg-melderegister>, zuletzt geprüft am 10.12.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2020e): Erneuerbare Energien in Deutschland. Online verfügbar unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-03\\_hgp-ee-in-zahlen\\_bf.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-04-03_hgp-ee-in-zahlen_bf.pdf), zuletzt geprüft am 06.08.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2020f): Solarenergie. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/solarenergie>, zuletzt aktualisiert am 06.08.2020, zuletzt geprüft am 06.08.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2020g): UBA begrüßt EU-Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft. Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/uba-begruesst-eu-aktionsplan-fuer-die>, zuletzt geprüft am 02.09.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2020h): Windenergie. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/windenergie#Offshore>, zuletzt geprüft am 13.11.2020.

Umweltbundesamt (UBA) (2020i): Cleaner Production Germany. Das Portal zum Umwelttechnologietransfer! Online verfügbar unter <https://www.cleaner-production.de/index.php/de/>, zuletzt aktualisiert am 10.08.2020, zuletzt geprüft am 10.08.2020.

umweltwirtschaft.com (2019): Mehr als Zellteilung. Online verfügbar unter <https://www.umweltwirtschaft.com/news/abfallwirtschaft-und-recycling/Effektives-Batterierecycling-dank-ausgefallener-Logistik-Mehr-als-Zellteilung-18372>, zuletzt geprüft am 10.12.2020.

- United Nations (2020): Ziele für nachhaltige Entwicklung. Bericht 2020. Online verfügbar unter [https://www.bmz.de/de/mediathek/publikationen/reihen/infobroschueren\\_flyer/infobroschueren/sMaterialie515\\_sdg\\_bericht\\_2020.pdf](https://www.bmz.de/de/mediathek/publikationen/reihen/infobroschueren_flyer/infobroschueren/sMaterialie515_sdg_bericht_2020.pdf), zuletzt geprüft am 04.12.2020.
- United Nations Environment Programm (unep) (2019): Global Resources Outlook 2019. Natural Resources for the Future We Want. Hg. v. United Nations Environment Programm (unep). Nairobi, Kenia. Online verfügbar unter <https://www.resourcepanel.org/reports/global-resources-outlook>, zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (2015): Kompendium: Li-Ionen-Batterien. Online verfügbar unter <https://www.dke.de/resource/blob/933404/3d80f2d93602ef58c6e28ade9be093cf/kompendium-li-ionen-batterien-data.pdf>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- VDMA Allgemeine Lufttechnik (06.06.2019): Aussichten für die Allgemeine Lufttechnik bleiben gut. Schröder, Thomas. Online verfügbar unter <https://lr.vdma.org/viewer/-/v2article/render/35104936>, zuletzt geprüft am 17.03.2021.
- Vereinte Nationen (2020): Ziele für nachhaltige Entwicklung. Online verfügbar unter <https://unric.org/de/17ziele/>, zuletzt geprüft am 08.12.2020.
- Wagemann, Kurt; Ausfelder, Florian (2017): E-Fuels - mehr als eine Option. Hg. v. DEHEMA e.V. Frankfurt am Main (White paper). Online verfügbar unter [https://dechema.de/dechema\\_media/Downloads/Positionspapiere/WhitePaper\\_E\\_Fuels-p-20002780.pdf](https://dechema.de/dechema_media/Downloads/Positionspapiere/WhitePaper_E_Fuels-p-20002780.pdf), zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- Waste & Resources Action Programme (WRAP) (2015): Economic Growth Potential of More Circular Economy. Banbury. Online verfügbar unter [https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Economic%20growth%20potential%20of\\_more%20circular%20economies.pdf](https://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Economic%20growth%20potential%20of_more%20circular%20economies.pdf), zuletzt geprüft am 02.09.2020.
- Weichenhain, Uwe; Lange, Simon; Koolen, Jan; Benz, Anja; Hartmann, Sandra; Heilert, Daniela et al. (2020): Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen- Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg. Hg. v. Roland Berger GmbH. Online verfügbar unter [https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6\\_Wirtschaft/Ressourceneffizienz\\_und\\_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf](https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umwelttechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf), zuletzt geprüft am 12.11.2020.
- Weitze, Marc-Denis; Zilker, Benjamin (2020): TechnikRadar 2020: Was die Deutschen über die Bioökonomie denken. Hg. v. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech). München. Online verfügbar unter <https://www.acatech.de/allgemein/technikradar-2020-was-die-deutschen-ueber-die-biooekonomie-denken/>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.

- Wesselak, Viktor; Voswinckel, Sebastian (2012): Photovoltaik. Wie Sonne zu Strom wird. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Technik im Fokus).
- Westfalen AG (2020): Wasserstoff als alternativer Kraftstoff. Online verfügbar unter <https://westfalen.com/de/de/tankstellen-mobilitaet/alternative-kraftstoffe/wasserstoff/>, zuletzt aktualisiert am 18.08.2020, zuletzt geprüft am 18.08.2020.
- Wikipedia (2020): Umwelttechnik. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Umwelttechnik>, zuletzt aktualisiert am 26.07.2020, zuletzt geprüft am 06.08.2020.
- Windbranche.de: Das Branchenportal rund um die Windenergie. Windenergie-Markt Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.windbranche.de/windenergie-ausbau/deutschland>, zuletzt geprüft am 01.02.2021.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (2019): Unsere gemeinsame digitale Zukunft. Hauptgutachten. Berlin. Online verfügbar unter [https://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2019/pdf/wbgu\\_hg2019.pdf](https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2019/pdf/wbgu_hg2019.pdf), zuletzt aktualisiert am 2019, zuletzt geprüft am 23.09.2020.
- Zenit (2018): Innovationspreis 2017/2018. Erfolg durch Kooperation: Innovationspreis des Netzwerks Zenit e. V. wurde zum 8. Mal vergeben. Hg. v. Netzwerk ZENIT e. V. Online verfügbar unter <https://www.zenit.de/netzwerk-zenit/innovationspreis/innovationspreis-2017-2018/>, zuletzt geprüft am 11.03.2021.
- ZEW – Leibniz-Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung; Institut für Mittelstandsforschung (IfM) (2019): Die volkswirtschaftliche Bedeutung der Familienunternehmen. Hg. v. Stiftung Familienunternehmen. München. Online verfügbar unter [https://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/Die-volkswirtschaftliche-Bedeutung-der-Familienunternehmen-2019\\_Stiftung\\_Familienunternehmen](https://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/Die-volkswirtschaftliche-Bedeutung-der-Familienunternehmen-2019_Stiftung_Familienunternehmen).





**Stiftung Familienunternehmen**

Prinzregentenstraße 50  
D-80538 München

Telefon + 49 (0) 89 / 12 76 400 02  
Telefax + 49 (0) 89 / 12 76 400 09  
E-Mail [info@familienunternehmen.de](mailto:info@familienunternehmen.de)

[www.familienunternehmen.de](http://www.familienunternehmen.de)

Preis: 29,90 €

ISBN: 978-3-942467-96-4