

# Green Tech made in Germany: Wie zukunftsfit sind wir?



## Impressum

© Bertelsmann Stiftung, Gütersloh  
Dezember 2023

Bertelsmann Stiftung  
Carl-Bertelsmann-Straße 256  
33311 Gütersloh

### Kontakt:

Andreas Esche | Director  
Projekt Nachhaltig Wirtschaften  
Telefon: +49 5241 81-81333  
E-Mail: [andreas.esche@bertelsmann-stiftung.de](mailto:andreas.esche@bertelsmann-stiftung.de)

Dr. Daniel Schraad-Tischler | Director  
Projekt Innovations- und Gründungsdynamik  
Telefon: +49 5241 81-81240  
E-Mail: [daniel.schraad-tischler@bertelsmann-stiftung.de](mailto:daniel.schraad-tischler@bertelsmann-stiftung.de)

### Verantwortlich:

Dr. Jan C. Breitingering  
Daniel Posch  
Dr. Marcus Wortmann

### Mitarbeit:

Viktoria Roeckl

### Autoren:

Kai Gramke  
Klaus Jank  
Daniel Posch  
Jochen Spuck

© Titelfoto: DGPhotography - stock.adobe.co

DOI-Nummer: 10.11586/2024001

# Green Tech made in Germany: Wie zukunftsfit sind wir?

Kai Gramke<sup>1</sup>  
Klaus Jank<sup>1</sup>  
Daniel Posch<sup>2</sup>  
Jochen Spuck<sup>1</sup>

Eine Studie im Auftrag der Bertelsmann Stiftung. Umgesetzt von der EconSight AG.

## **Eine Kooperation der Projekte:**

Nachhaltig Wirtschaften

Innovations- und Gründungsdynamik stärken

1: EconSight AG  
2: Bertelsmann Stiftung

Über uns

## **Nachhaltige Soziale Marktwirtschaft**

Wirtschaftliche Leistungsfähigkeit und soziale Teilhabe produktiv miteinander zu verbinden – das ist der Kerngedanke und das Erfolgsrezept der Sozialen Marktwirtschaft. Doch der Klimawandel und die Begrenzung natürlicher Ressourcen, ein abnehmendes Erwerbspersonenpotenzial, Globalisierungsprozesse und der digitale Wandel setzen unser bisheriges Wirtschafts- und Gesellschaftsmodell unter Druck. Damit die Soziale Marktwirtschaft auch für künftige Generationen ein verlässliches Leitbild bleibt, müssen wir sie zu einer Nachhaltigen Sozialen Marktwirtschaft transformieren.

Die ökologische Transformation erzeugt Wechselwirkungen und Konflikte zwischen den verschiedenen Zieldimensionen einer Nachhaltigen Sozialen Marktwirtschaft. Der Arbeitsschwerpunkt „Economics of Transformation“ widmet sich den makroökonomischen Wirkungszusammenhängen zwischen verschiedenen Zielparametern und schafft empirisches Steuerungswissen zu wirtschaftspolitischen Maßnahmenbündeln, die den inhärenten Zielkonflikten vorbeugen, sie auflösen oder Synergiepotenziale freisetzen können. Dieses Focus Paper ist Teil einer Reihe von Publikationen zu den wirtschaftspolitischen Zielkonflikten einer Nachhaltigen Sozialen Marktwirtschaft.

# Inhalt

<b>Inhalt</b> .....	<b>6</b>
<b>Abbildungen</b> .....	<b>8</b>
<b>Tabelle</b> .....	<b>9</b>
<b>Textbox</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Executive Summary</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Einleitung</b> .....	<b>12</b>
<b>3 Globale Trends in grünen Technologien</b> .....	<b>17</b>
3.1 Entwicklung nach Regionen .....	23
3.2 Technologieschwerpunkte der Regionen .....	23
3.3 Technologieprofil USA.....	26
3.4 Technologieprofil China .....	29
3.5 Technologieprofil Japan .....	31
3.6 Technologieprofil EU .....	34
3.7 Technologieprofil Südkorea.....	36
<b>4 Entwicklung in Deutschland</b> .....	<b>38</b>
4.1 Technologieprofil Deutschland.....	38
4.2 Vergleich mit anderen EU-Ländern.....	44
4.3 Vergleich Forschungsaktivitäten in Deutschland gegenüber weltweiten Forschungsaktivitäten deutscher Unternehmen.....	45
4.4 Verteilung der Green-Tech-Weltklassepatente nach Branchen.....	51
<b>5 Fazit</b> .....	<b>53</b>
<b>6 Methodik</b> .....	<b>56</b>
<b>7 Kurzbeschreibungen der grünen Technologien</b> .....	<b>60</b>

Neue Energie.....	60
Energiespeicherung .....	61
Wasserstoffwirtschaft.....	62
Neue Mobilität.....	64
Effiziente Mobilität .....	65
Effiziente Produktion.....	66
Energieeffiziente Systeme.....	67
Energieeffiziente Geräte.....	67
Anpassungstechnologien zur Abmilderung der Folgen globaler Erwärmung .....	68
Nachhaltige Verbrauchsmaterialien und Recycling.....	69
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>71</b>

# Abbildungen

Abbildung 1: Überblick der 10 Technologiefelder nach Wirkungsgrad.....	17
Abbildung 2: Entwicklung Weltklassepatente in den zehn grünen Oberkategorien, 2010 – 2022...	20
Abbildung 3: Zahl der Weltklassepatente in den grünen Einzeltechnologien, 2022 .....	22
Abbildung 4: Entwicklung Weltklassepatente in den wichtigsten Ländern/Regionen,2010 – 2022...	23
Abbildung 5: Weltklassepatente der wichtigsten Ländern/Regionen nach Oberkategorien, 2022...	24
Abbildung 6: Entwicklung der Weltklassepatente in der zehn grünen Kategorien, 2010 – 2022.....	25
Abbildung 7: USA: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022.....	27
Abbildung 8: USA: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022.....	29
Abbildung 9: China: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022.....	30
Abbildung 10: China: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022.....	31
Abbildung 11: Japan: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022.....	32
Abbildung 12: Japan: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022.....	33
Abbildung 13: EU: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022.....	34
Abbildung 14: EU: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022.....	35
Abbildung 15: Südkorea: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022.....	36
Abbildung 16: Südkorea: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022.....	38
Abbildung 17: Deutschland: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022.....	40
Abbildung 18: Deutschland: Weltklassepatente und Weltanteil in autonomen Straßenfahrzeugen	41
Abbildung 19: Deutschland: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022.....	42
Abbildung 20: Forschungsposition der wichtigsten Länder in Energiespeichertechnologien.....	43
Abbildung 21: Entwicklung Weltklassepatente in ausgewählten EU-Ländern, indexiert (2010 = 100) .....	45
Abbildung 22: Weltklassepatente deutscher Unternehmen vs. Weltklassepatente aus Deutschland .....	46
Abbildung 23: Top 15 der Forschungsstandorte deutscher Unternehmen im Ausland.....	47



Abbildung 24: Top 15 der Forschungsstandorte deutscher Unternehmen im Ausland 2022  
(Vergleich alle Weltklassepatente vs. Weltklassepatente ohne deutsche Beteiligung)..... 48

Abbildung 25: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien (Ultimate Country Perspektive)..... 49

Abbildung 26: Herkunftsländer ausländischer Unternehmen mit in Deutschland entwickelten  
Weltklassepatenten..... 50

Abbildung 27: Green-Tech-Weltklassepatente nach Branchen in Deutschland im Jahr 2022..... 52

Abbildung 28: Green-Tech-Weltklassepatente aufgeteilt nach Branchen und Oberkategorien in  
Deutschland im Jahr 2022..... 53

## Tabelle

Tabelle 1: Technologieüberblick..... 15

## Textbox

Textbox 1: Technologieprofile..... 26

## 1 Executive Summary

Klimaschutz und Nachhaltigkeit gehören zu den wichtigsten globalen Herausforderungen. Die Klimaziele können nur mit gemeinsamen Anstrengungen von Politik, Gesellschaft und Wirtschaft erreicht werden. Die Umwandlung des Energiesystems hin zu erneuerbaren Energien, der Wirtschaft hin zu einer höheren Energieeffizienz und die energetische Sanierung des Gebäudeparks verursachen Transformationskosten. Technologische Durchbrüche können die erforderlichen Kosten für die Energiewende senken. Für das Erreichen der langfristigen Klimaziele werden ab 2030 zunehmend auch Negativemissionen notwendig. Dies erfordert Technologien, die derzeit noch entwickelt und ausgefeilt werden.

In der vorliegenden Studie werden auf Grundlage einer Patentanalyse die wichtigsten globalen Trends in grünen Technologien sowie die diesbezügliche Forschungsposition Deutschlands untersucht. Bei der Auswahl der Technologien bzw. Oberkategorien wurden verschiedene Quellen sowie Experten-Know-how herangezogen. Für die Analyse wurden aus diesen Quellen 60 als grün bezeichnete Technologien, die entweder bereits eine große Zahl an Patenten oder zumindest ein hohes Wachstum der Patentzahlen aufwiesen, ausgewählt und zehn thematischen Oberkategorien zugeteilt.

Bei der Auswertung wurden für die vorliegende Studie sämtliche aktive Patente, also auch ältere noch gültige berücksichtigt. Der Vorteil dieses Verfahrens ist, dass sich nicht nur die Dynamik der Entwicklung des Patentbestandes im Zeitverlauf, sondern auch die absolute Größen und Stärken der Patentportfolios zum jeweils aktuellen Zeitpunkt messen lassen. Des Weiteren lag das Augenmerk bei dieser Untersuchung auf der Patentqualität, die aus der Kombination aus Zitierungen des Patents sowie dessen Länderabdeckung abgeleitet wurde und die sogenannten Weltklassepatente abbildete: den Bestand und die Entwicklung der besten zehn Prozent der Patente pro Technologie.

### **Deutschland ist für die Hälfte der Weltklassepatente aus der EU verantwortlich**

Mit fast 10.000 entwickelten aktiven Weltklassepatenten in grünen Technologien ist Deutschland für die Hälfte der Weltklassepatente aus der EU-27 verantwortlich. Als einziges europäisches Land kann es Bezug auf die Patentzahlen mit den weltweit wichtigsten Forschungsländern konkurrieren.

Deutschlands technologische Stärken liegen insbesondere in den Kategorien „Neue Energie“, „Neue Mobilität“ und „Effiziente Produktion“, in welchen deutschen Unternehmen eine große absolute Zahl an Weltklassepatenten und einen überdurchschnittlich hohen Anteil an den globalen Weltklassepatenten halten. Auch in den Bereichen „Anpassungstechnologien an den Klimawandel“, „Effiziente Mobilität“ und „Wasserstoffwirtschaft“ ist Deutschland im internationalen Vergleich ein wichtiger Forschungsakteur.

Bei der Branchenzuordnung wird ein Großteil der Forschungsaktivitäten in grünen Technologien in deutschen Schlüsselindustrien wie der Elektroindustrie, der Automobilbranche, der Chemieindustrie oder dem Maschinenbau erbracht.

Dagegen ist in Deutschland die Bedeutung der IKT-Industrie (Informations- und Kommunikationstechnik) in Bezug auf die Zahl der Weltklassepatente in grünen Technologien nicht allzu hoch. In den USA beispielsweise spielen Unternehmen aus dem IKT-Segment eine wichtigere Rolle bei der Spitzenforschung im Green-Tech-Bereich. Deutschland hingegen schneidet im internationalen Vergleich in Technologien mit einem hohen Digitalisierungsgrad nicht besonders gut ab.

Auch wenn die Zahl der Weltklassepatente aus Deutschland in den meisten grünen Technologien in den letzten Jahren teils deutlich gestiegen ist, verlief die Entwicklung international jedoch noch dynamischer, weil Deutschlands Weltanteil insgesamt in allen zehn grünen Oberkategorien gesunken ist. Hier muss Deutschland zulegen, um seine insgesamt gute internationale Forschungsposition in grünen Technologien halten zu können.

### **Die USA sind ganz vorne bei den Green-Tech-Patenten, aber China holt rasant auf**

Die USA sind im globalen Vergleich mit jedem dritten weltweit entwickelten Weltklassepatent der führende Spitzenforschungsstandort in grünen Technologien. Besonders hoch ist der US-Weltanteil in der Kategorie „Effiziente Mobilität“, insbesondere in der Einzeltechnologie energieeffiziente Flugzeugturbinen. Zudem sind die USA der wichtigste Standort deutscher Unternehmen für Forschungsaktivitäten in grünen Technologien im Ausland.

China, das einen Anstieg der Weltklassepatente zwischen 2010 und 2022 von knapp über 1000 auf fast 37.000 verzeichnet, dürfte die USA bald von diesem Spitzenrang verdrängen. In der Kategorie „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ beträgt der chinesische Weltanteil mittlerweile etwa 40 Prozent.

Mit einem Bestand an Weltklassepatenten von über 31.000 im Jahr 2022 erreicht Japan den dritten Rang. Es ist globaler Technologieführer in den Kategorien „Energiespeicherung“ und „Wasserstoffwirtschaft“.

Auf Rang vier folgt die EU mit rund 19.000 Weltklassepatenten. Vor allem in den Kategorien „Neue Energie“ und „Effiziente Mobilität“ spielt sie eine wichtige Rolle im globalen Forschungswettbewerb. In den letzten Jahren erreichte die EU ein etwas höheres Wachstumstempo bei den Weltklassepatenten als die USA und Japan.

Ein weiteres wichtiges Land im Bereich Green Tech ist Südkorea mit knapp 7700 Weltklassepatenten im Jahr 2022. Südkoreas technologische Stärke liegt vor allem im Bereich „Energiespeicherung“, aber auch in anderen Technologiebereichen weist das Land eine sehr hohe Forschungsdynamik auf.

### **Auf globaler Ebene sehr viel Forschungsaktivität in den Kategorien neue Mobilität und effiziente Produktion**

Auf globaler Ebene gibt es innerhalb der zehn grünen Technologieoberkategorien die meisten Weltklassepatente in den beiden Bereichen „Effiziente Produktion“ und „Neue Mobilität“, die sich seit 2010 überdurchschnittlich dynamisch entwickelt haben. Wesentliche Wachstumstreiber sind in der Kategorie „Effiziente Produktion“ die zunehmende Vernetzung der Produktionsprozesse und in

„Neue Mobilität“ massive technologische Veränderungen im Automobilsektor mit dem Wandel zur Elektromobilität und der zunehmenden Bedeutung der Digitalisierung.

Das höchste relative Wachstum fand in der Kategorie „Energieeffiziente Systeme“ statt, in der sich die Weltklassepatente seit 2010 mehr als verfünffacht haben, im nächstfolgenden Bereich „Neue Energie“ verlief die Entwicklung weniger dynamisch. Ein Warnsignal hinsichtlich der Ziele des Pariser Klimaabkommens, da diese Kategorie zentrale Bereiche für die Dekarbonisierung der Wirtschaft beinhaltet.

## 2 Einleitung

Klimaschutz- und Nachhaltigkeit gehören zu den wichtigsten globalen Herausforderungen. Der Krieg in der Ukraine hat vor allem in Europa den Druck noch erhöht, die Abhängigkeit von Öl und Gas zu reduzieren. Es ist unbestreitbar, dass die Klimaziele nur als gemeinsame Anstrengung von Politik, Gesellschaft und Wirtschaft erreicht werden können. Der Umbau des Energiesystems weg von fossilen Brennstoffen hin zu erneuerbaren Energien, die energetische Sanierung des Gebäudeparks und die Umwandlung der Industrieprozesse hin zu einer höheren Energieeffizienz verursachen hohe Transformationskosten.<sup>1</sup> Eine zentrale Rolle spielen dabei technologische Innovationen, da technologische Durchbrüche die erforderlichen Kosten für die Energiewende senken können.

Die Innovationskraft spielt bei der (Weiter)entwicklung von grünen Technologien, welche die Energiewende vorantreiben, eine zentrale Rolle. Für das Erreichen der langfristigen Klimaziele sind ab 2030 zunehmend auch Negativemissionen (z. B. durch Kohlendioxidfilter, -abscheidung und -bindung) notwendig.<sup>2</sup> Hierfür sind Technologien nötig, die sich derzeit noch in der Demonstrations- oder Prototypenphase befinden.<sup>3</sup> Es müssen somit große Innovationsanstrengungen unternommen werden, um diese neuen Technologien rechtzeitig auf den Markt zu bringen. Der technische Fortschritt und neue Entwicklungen in grünen Technologien können sicherlich nicht allein für die Rettung des Klimas sorgen. Aber mit technischem Fortschritt werden die Anpassung einfacher, die persönlichen Einschränkungen geringer und das Gelingen wahrscheinlicher.

Die vorliegende Studie zeigt anhand einer patentbasierten Technologieanalyse die globalen Trends in den wichtigsten grünen Technologien. Das Ziel ist es, die Länder zu identifizieren, die über die besten technologischen Grundlagen verfügen, um z. B. effizientere Photovoltaikzellen, bessere Brennstoffzellen, neue Batterierecycling-Methoden oder marktreife Carbon-Capture- bzw. Storage-Anlagen zu entwickeln. Ein besonderer Fokus liegt auf Deutschlands Positionierung und

---

<sup>1</sup> Die Studie „Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende“ (2017) von acatech/Leopoldina/Akademienunion schätzt die kumulierten Mehrkosten für die Energiewende in Deutschland bis 2045 auf zwischen 500 Milliarden Euro bis hin zu 3000 Milliarden Euro. Diese Schätzung berücksichtigt nur die Kosten für Investitionen in technische Komponenten und Infrastrukturen sowie den Erhalt des Energiesystems, nicht aber sonstige volkswirtschaftliche Wirkungen der Energiewende oder externe Kosten durch den Ausstoß von CO<sub>2</sub> (vgl. hierzu: <https://www.ifo.de/medienbeitrag/2019-07-12/was-uns-die-energiewende-wirklich-kosten-wird>).

<sup>2</sup> Erlach et al. 2022.

<sup>3</sup> IEA 2021.

Entwicklung in grünen Technologien: Wie zukunftsfit ist das deutsche Technologieprofil in Hinblick auf die grüne Transformation?

### Warum Patentanalysen?

Die Grundlage der Technologieanalyse ist die Auswertung von Patentdaten. Patente sind ein wichtiger Erfolgsausweis von Forschung und Entwicklung und damit einer der wichtigsten Innovationsoutput-Indikatoren. Das Patentportfolio einer Volkswirtschaft bzw. ihrer Unternehmen und Forschungseinrichtungen bildet eine wichtige Grundlage für ihre Innovations- und damit auch Zukunftsfähigkeit. Anhand der Entwicklung der Patente pro Jahr können die Stärke der Patentportfolios der ausgewählten Länder bzw. Regionen analysiert und verglichen sowie die technologische Entwicklung aufgezeigt werden.

Dabei werden sämtliche aktiven Patente, also auch ältere noch gültige Patente, zum jeweiligen Stichtag (Jahresende) berücksichtigt.<sup>4</sup> Dies unterscheidet sich von anderen Patentanalysen, bei denen häufig nur neue Patentanmeldungen pro Jahr gezählt werden. Der Vorteil des in dieser Studie verwendeten Ansatzes besteht darin, dass sowohl die Dynamik der Entwicklung des Patentbestandes im Zeitverlauf als auch die absolute Größe und Stärke eines Patentportfolios zum jeweils aktuellen Zeitpunkt gemessen werden können. Bei Auswertungen auf Grundlage von Patentanmeldungen werden dagegen nur die neuesten Entwicklungen erfasst, während bereits bestehendes technologisches Know-how aus älteren Patenten nicht berücksichtigt wird.

Ein weiteres wichtiges Element ist der Fokus auf die Patentqualität. Grundlage für die Bewertung der Qualität ist eine Kombination aus Zitierungen des Patents sowie dessen Länderabdeckung.<sup>5</sup> Bei unseren Auswertungen liegt der Fokus auf dem Bestand und der Entwicklung der besten zehn Prozent der Patente pro Technologie – die Weltklassepatente. Der Fokus auf Weltklassepatente ist sinnvoll, um verzerrende Effekte durch länderspezifische Unterschiede in den Patentsystemen zu reduzieren. So werden etwa in China Forschende u. a. mit Steuererleichterungen dazu angehalten, so viel wie möglich zu patentieren, um die Relevanz des Forschungsstandorts China zu erhöhen.

### Auswahl der grünen Technologien

Die vorliegende Studie analysiert auf Grundlage einer Patentanalyse die wichtigsten globalen Trends in grünen Technologien und die Forschungsposition Deutschlands darin. Als Erstes ist dabei zu bestimmen, was überhaupt grüne Technologien sind. Wir orientieren uns hierfür an der Definition der Vereinten Nationen zu grünen Technologien:

---

<sup>4</sup> Die Laufzeit eines Patents beträgt im Normalfall 20 Jahre ab dem Zeitpunkt der Anmeldung unter der Voraussetzung, dass die jährlichen Patentgebühren gezahlt werden. Zahlreiche Patente verfallen jedoch frühzeitig aufgrund der Nichtzahlung der Jahresgebühren, falls sich für den Patentbesitzer keine ausreichend lukrative Verwertungsmöglichkeit ergibt. Auch die erfolgreiche Anfechtung eines Patents oder die Nichterteilung eines Patents nach der Patentprüfung führen zum Inaktivwerden eines Patents.

<sup>5</sup> Für mehr Informationen siehe Kapitel Methodik.

„Grüne Technologien schützen die Umwelt, sind weniger umweltschädlich, nutzen alle Ressourcen nachhaltiger, recyceln mehr ihrer Abfälle und Produkte und gehen mit Restmüll akzeptabler um als die Technologien, die sie ersetzt haben.“<sup>6</sup>

Für die vorliegende Studie wurden 60 grüne Einzeltechnologien ausgewählt und den folgenden zehn thematischen Oberkategorien zugeteilt:

- Neue Energie
- Energiespeicherung
- Wasserstoffwirtschaft
- Neue Mobilität
- Effiziente Mobilität
- Effiziente Produktion
- Energieeffiziente Systeme
- Energieeffiziente Geräte
- Anpassungstechnologien an den Klimawandel
- Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling

---

<sup>6</sup> Aktionsprogramm der Vereinten Nationen von Rio, 1992 ([https://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda\\_21.pdf](https://www.un.org/Depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf)).

TABELLE 1 Technologieüberblick

Nr.	Name	Nr.	Name
<b>Neue Energie</b>		<b>Wasserstoffwirtschaft</b>	
1	AC/DC Wandler, Photovoltaik	33	Grüne/Blau Ammoniakproduktion
2	Biotreibstoffe, Biomasse	34	Grüne/Blau Methanolproduktion
3	Geothermie	35	Herstellung von Brennstoffzellen
4	Kernfusionsreaktoren	36	Produktion von grünem/blauem Wasserstoff
5	Meeresenergie & Wasserkraft	37	Wasserstoffelektrolyseur, Elektrolyse
6	Organ. Solarzellen, Tandem- und Perovskitzellen	38	Wasserstofferzeugung und -speicherung
7	Schwimmende Offshore Windkraftanlagen	39	Wasserstoffleitungen, Rohre, H2/Gas-Trennung
8	Silizium Photovoltaik Zellen		
9	Solarthermie	<b>Neue Mobilität</b>	
10	Wärmepumpen	40	Autonome Straßenfahrzeuge
11	Windenergie	41	Batterieladegerät für Fahrzeuge
		42	Eisenbahntechnologien
<b>Energiespeicherung</b>		43	Elektrofahrzeuge, kein Hybrid
12	Bipolarbatterien	44	Elektromotoren
13	Feststoffakkumulator	45	Vernetzte Autos, Interaktion im Straßenverkehr
14	Lithium Akkumulatoren	46	Wasserstoff-Tankstelle
15	Natrium Ionen Batterien	47	Wasserstofftank
16	Redox-Flow, Alkalimembran-Brennstoffzellen		
		<b>Effiziente Mobilität</b>	
<b>Technologien zur Anpassung an Klimawandel</b>		48	Effizientes Autodesign
17	Effiziente Beregnung & Bewässerung	49	Energieeffiziente Flugzeugturbinen
18	Emissionsreduzierendes Tierfutter	50	Synthetische Treibstoffe
19	IR/Wärmemanagement, Wärmedämmfassaden		
20	Moderne Dämmstoffe	<b>Effiziente Produktion</b>	
21	N2O, Nox-Abscheidung	51	Additive Fertigung
22	Reinraumlandwirtschaft	52	Digitale Landwirtschaft, Präzisionslandwirtschaft
23	Torrefaction, Pyrolyse, Biokohlenstoff	53	Effiziente Glas- und Keramikproduktion
24	Wald, Bäume, Anpflanzung, Kultivierung, Aufforstung, Feuerwar-	54	Effiziente Chemieproduktion, Petrochemie, Textil
25	Wasserentsalzung	55	Effiziente Metallproduktion
		56	Kohlendioxidfilter, Abscheidung und Bindung
		57	Treibhausgasred. Aluminiummetallproduktion
		58	Vernetzte Produktion (Smart Factory)
<b>Nachhaltige Verbrauchsmaterial. / Recycling</b>			
26	Abfallmanagement	<b>Energieeffiziente Geräte</b>	
27	Fleischalternativen	59	Energieeff. Gebäude-, Beleucht.-, Büroelektronik
28	Kunststoff-, Glas-, Papier-, Elektronikrecycling	60	Energieeffiziente Gebäudetechnik
29	Nachhaltige Verpackungen		
30	Recycling von Batterien und Brennstoffzellen	<b>Energieeffiziente Systeme</b>	
31	Trinkwasseraufbereitung	61	HGÜ-Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung
32	Zementrecycling und Abfallwiederverwendung	62	Intelligente Stromnetze (Smart Grid/Meter)
		63	Intelligentes, vernetztes Haus (Smart Home)

| BertelsmannStiftung

Für die inhaltliche Auswahl der Technologien bzw. Oberkategorien wurde auf verschiedene Quellen zurückgegriffen. Zu nennen sind hier die EU Taxonomie für nachhaltige Wirtschaftsaktivitäten<sup>7</sup>, die Klimaschutztechnologien des Europäischen Patentamts (EPO)<sup>8</sup>, in denen relevante Patentklassen u. a. mit Experten und Expertinnen des Zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) festgelegt wurden, sowie die Green Technologies der Weltorganisation für geistiges Eigentum

<sup>7</sup> [https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities\\_de](https://finance.ec.europa.eu/sustainable-finance/tools-and-standards/eu-taxonomy-sustainable-activities_de)

<sup>8</sup> <https://www.epo.org/de/node/447280>.

(WIPO)<sup>9</sup>. Ergänzt wurde dies mit den Erfahrungen von EconSight aus früheren Analysen im Bereich Green Tech.<sup>10</sup>

Sämtliche von den genannten Quellen als grün bezeichnete Technologien wurden analysiert und diejenigen für die Liste der 60 Technologien ausgewählt, in denen es entweder bereits eine große Zahl an Patenten oder zumindest ein hohes Wachstum der Patentzahlen gibt. Eine hohe Zahl an Patenten zeigt, dass es bereits umfangreiche Forschungsaktivitäten gibt, was somit ein Hinweis auf die Relevanz der Technologie ist. Ein hohes Wachstum der Patentzahlen deutet auf eine hohe Forschungsdynamik in einem Technologiebereich hin, d. h. die Bedeutung der Technologie dürfte in den kommenden Jahren zunehmen.

Alle untersuchten Technologien tragen zu einer nachhaltigeren wirtschaftlichen Aktivität bei. Allerdings unterscheidet sich die Wirkung der verschiedenen grünen Technologien. Das entscheidende Kriterium hierbei ist der Einfluss, den die Technologien auf den Ausstoß von klimaschädlichen Emissionen haben. Beispielsweise gibt es zahlreiche Technologien, die keine oder zumindest kaum klimaschädliche Emissionen verursachen (z. B. viele Technologien der Kategorie „Neue Energie“ wie Wind oder Solarenergie, die zentral für das Gelingen der Energiewende sind). Andere Technologien, wie etwa energieeffizientere Flugzeugturbinen oder die effiziente Metallproduktion, senken zwar den Ausstoß an klimaschädlichen Emissionen, können ihn aber nicht komplett vermeiden. Für das Gelingen der Energiewende sind aber sowohl klimaneutrale als auch effizienzsteigernde Technologien notwendig. Denn auch bei einer erfolgreichen Transformation der Wirtschaft hin zu grünen Technologien wird der Bedarf nach Energieträgern wie Öl<sup>11</sup> und Gas in bestimmten Wirtschaftssegmenten weltweit noch lange hoch bleiben. Daher ist es zentral für das Gelingen der Energiewende, dass die Emissionen durch den Einsatz von Technologien (wie z. B. Kohlendioxidfilter, Abscheidung und Bindung)<sup>12</sup> oder grünem/blauen Wasserstoff reduziert werden.

Die Abbildung 1 zeigt die Struktur der zehn Technologiefelder. Im inneren Kreis befinden sich die zentralen klimaneutralen grünen Technologien, in den äußeren Kreisen befinden sich die Technologien, die aufgrund ihrer effizienzsteigernden Wirkung die Emissionen zumindest deutlich verringern können. Der Wirkungsgrad nimmt nach außen ab.

---

<sup>9</sup> <https://www3.wipo.int/wipogreen/en/>.

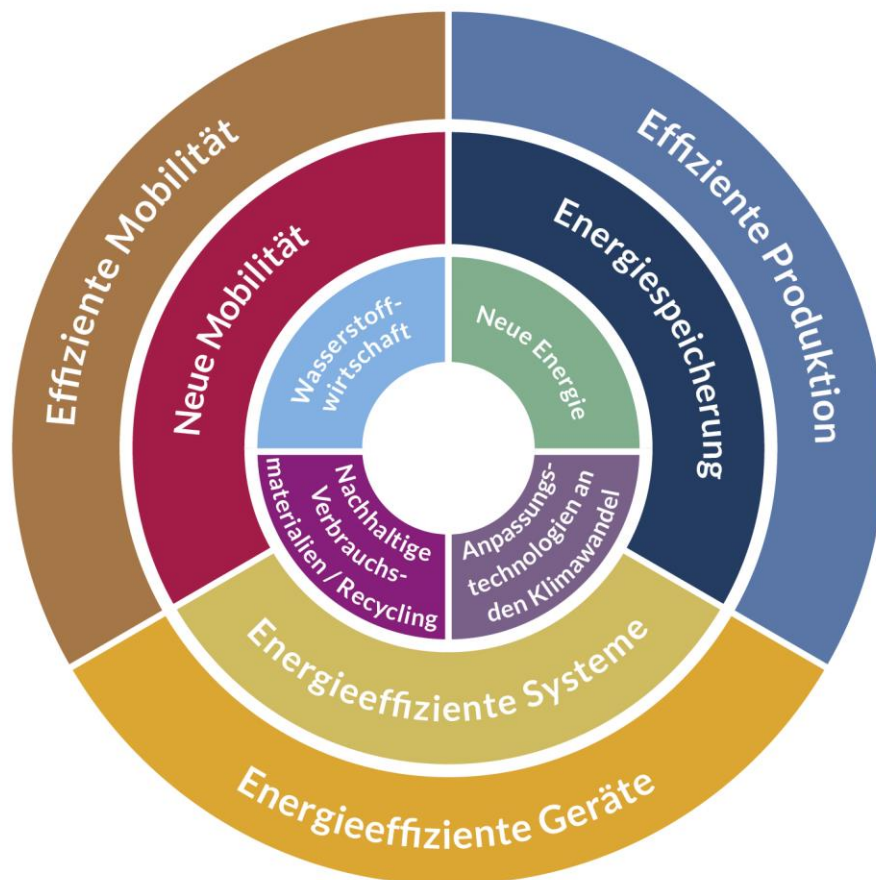
<sup>10</sup> EconSight 2023.

<sup>11</sup> IEA 2022.

<sup>12</sup> acatech 2018.



ABBILDUNG 1 Überblick der 10 Technologiefelder nach Wirkungsgrad



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

### 3 Globale Trends in grünen Technologien

Die Forschungsaktivitäten in grünen Technologien haben weltweit in den letzten Jahren stark zugenommen. Dies zeigt die Entwicklung der globalen Weltklassepatente: Zwischen 2010 und 2022 hat sich der aktive Bestand an globalen Weltklassepatenten von knapp 50.000 auf über 150.000 insgesamt mehr als verdreifacht. Im Vergleich dazu haben sich die Weltklassepatente in allen Technologien weltweit im gleichen Zeitraum lediglich verdoppelt (von rund 750.000 auf 1,5 Millionen), d. h. die Forschungsdynamik in grünen Technologien fiel klar überdurchschnittlich aus.

Innerhalb der zehn Oberkategorien ist die „Effiziente Produktion“ in Patentzahlen gemessen heute die größte Green-Tech-Oberkategorie mit mehr als 40.000 Weltklassepatenten, knapp vor der Kategorie „Neue Mobilität“ mit rund 36.000 Weltklassepatenten. Das Wachstum der Weltklassepatente lag in beiden Kategorien bei über 12 Prozent pro Jahr zwischen 2010 und 2022. Beide Kategorien haben sich im Vergleich zur Gesamtentwicklung der grünen Weltklassepatente (+10 Prozent p.a.) überdurchschnittlich dynamisch entwickelt.

Ein wichtiger Fokus des Bereichs „Effiziente Produktion“ liegt auf Technologien zur effizienteren Produktion in den großen energieintensiven Metall- und Chemieindustrien sowie in der Landwirtschaft. Ein wesentlicher Wachstumstreiber dabei ist die zunehmende Vernetzung der Produktionsprozesse. Beispielsweise sollen vorausschauende Wartungssysteme dazu beitragen, dass die Produktion ressourceneffizienter wird. Bei diesen Systemen handelt es sich um datengesteuerte Wartungsmethoden, die den Zustand der Produktionsanlagen analysieren und dabei helfen, Fehlfunktionen, Störungen sowie den Zeitpunkt von erforderlichen Wartungsarbeiten vorherzusagen. Damit können Probleme behoben werden, bevor sie zu Ausfallzeiten führen. Zudem werden noch intakte Komponenten nicht unnötig ausgetauscht und damit die Effizienz und Nachhaltigkeit gesteigert.

Das Patentwachstum in der Oberkategorie „Neue Mobilität“ wird nicht nur von den großen Autoherstellern und -zulieferern, sondern auch von Unternehmen aus anderen Branchen, wie etwa Elektronikkonzernen (z. B. Samsung), Batterieproduzenten (z. B. CATL), Chipherstellern (z. B. Intel) oder Softwareunternehmen (z. B. Alphabet, Baidu), getrieben. Im Automobilsektor finden massive technologische Veränderungen statt mit dem Wandel zur Elektromobilität und der zunehmenden Digitalisierung (Stichwort autonomes Fahren).<sup>13</sup> Der Wettbewerbsdruck für die etablierten Akteure ist daher sehr hoch. Zahlreiche neue asiatische Automobilhersteller drängen auf den Markt, gleichzeitig versuchen auch Batteriehersteller, Elektronikkonzerne und Softwareunternehmen sich immer mehr Wertschöpfungsanteile zu sichern. Die etablierten Autounternehmen müssen daher stark in neue Technologien investieren, um auch zukünftig Technologieführer zu bleiben.

Nach einer sehr schwungvollen Entwicklung zu Beginn der 2010er Jahre hat sich die Forschungsdynamik im Bereich „Neue Energie“ seitdem etwas verlangsamt. Im Hinblick auf die Ziele des Pariser Klimaabkommens stellt die Abschwächung der Dynamik ein Warnsignal dar, da die Kategorie „Grüne Kerntechnologien“ wie die Solar- und Windenergie umfasst, welche zentral für die Dekarbonisierung der Wirtschaft sind. Damit die Pariser Klimaziele und damit eine Beschränkung des Temperaturanstieges auf zwei Grad gegenüber dem vorindustriellen Niveau erreicht werden können, ist ein signifikanter weiterer Anstieg der Energieerzeugung aus erneuerbaren Quellen eine zentrale Voraussetzung.<sup>14</sup> Die Internationale Energieagentur (IEA) unterstellt in ihrem „Net zero by 2050“-Szenario, dass fast 90 Prozent der weltweiten Stromerzeugung im Jahr 2050 aus erneuerbaren Quellen stammen, wobei Photovoltaik- und Windkraftanlagen zusammen fast 70 Prozent ausmachen.<sup>15</sup> Zwar sind Solar- und Windenergie im Vergleich zu anderen grünen Technologien bereits vergleichsweise reife Technologien. Doch die gegenwärtigen Probleme zahlreicher Unternehmen beim Ausbau der Offshore-Windfarmen (z. B. hohe Installationskosten sowie hoher Wartungsbedarf) zeigen, dass es weiterhin großen Bedarf nach Innovationen gibt.

Die Kategorie „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ ist gemessen an der Zahl der globalen Weltklassepatente die viertgrößte Kategorie. Das Recycling von Rohstoffen, Materialien und Produkten spielt eine wichtige Rolle in dieser Kategorie, aber auch die Trinkwasseraufbereitung ist

---

<sup>13</sup> Deloitte 2023.

<sup>14</sup> IEA 2022.

<sup>15</sup> IEA 2021.

eine wichtige Einzeltechnologie in diesem Bereich. Damit umfasst diese Kategorie Technologien, welche eine wichtige Rolle für das Funktionieren der Kreislaufwirtschaft spielen. Das Ziel der Kreislaufwirtschaft ist es, den Wert von Produkten, Materialien und Ressourcen so lange wie möglich zu erhalten, indem sie am Ende ihrer Nutzung in den Produktkreislauf zurückgeführt werden, während gleichzeitig die Abfallerzeugung minimiert wird. In der Kategorie „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ steigt die Zahl der Weltklassepatente insbesondere seit 2015 kräftig an.

Das höchste relative Wachstum fand in der Kategorie „Energieeffiziente Systeme“ statt, in der sich Weltklassepatente seit 2010 von knapp 2000 auf über 10.000 mehr als verfünffacht haben. Effizienztechnologien zielen darauf ab, den Energieeinsatz zu minimieren. Von hoher Bedeutung sind intelligente Stromnetze (Smart Grid), die über die Netzsteuerung eine möglichst hohe Auslastung der vorhandenen Infrastruktur erreichen wollen.

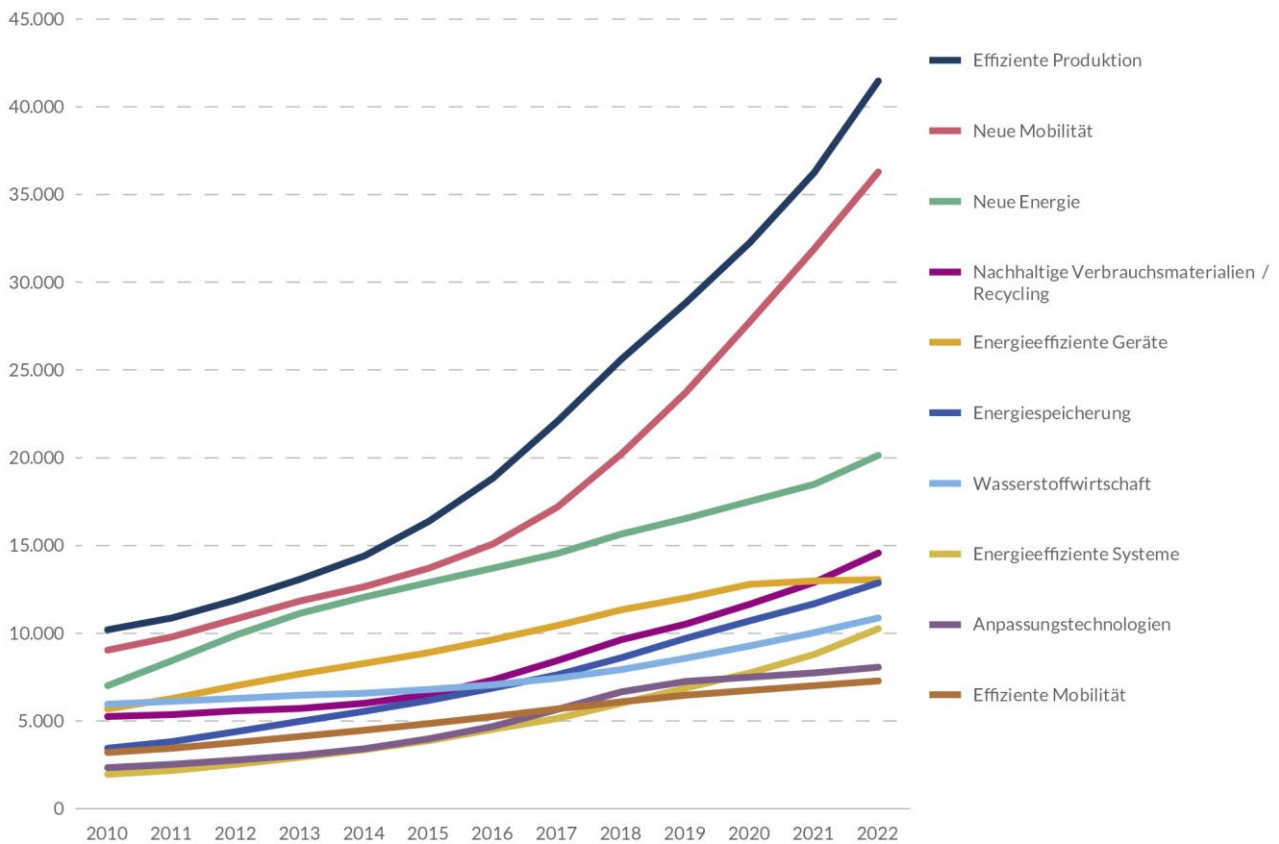
Interessant ist auch die Entwicklung in der Kategorie „Wasserstoffwirtschaft“, die alle Technologien umfasst, welche die Wertschöpfungskette rund um grünen bzw. blauen Wasserstoff und Brennstoffzellen abbilden. Nach einer stagnierenden Entwicklung in der ersten Hälfte der 2010er Jahre hat der Bestand an Weltklassepatenten in den letzten Jahren wieder zugenommen (Abbildung 2). Wasserstoff dürfte zukünftig aufgrund seiner vielfältigen Einsatzmöglichkeiten eine wichtige Rolle bei der Dekarbonisierung der Wirtschaft spielen. Wasserstoff kann mittels Brennstoffzellen Elektromotoren antreiben, zur Produktion klimafreundlicher Kraftstoffe eingesetzt werden, Energie speichern, Häuser heizen oder zur Produktion von grünem Stahl verwendet werden. Haupthindernisse für die Nutzung des Wasserstoffs in Mobilitätsanwendungen sind die hohen Anschaffungskosten, die geringe Verfügbarkeit von Wasserstoffinfrastruktur sowie die im Vergleich zu traditionellen Antrieben höheren Kraftstoffkosten um im Vergleich zu Elektroautos geringere Energieeffizienz.<sup>16</sup> Daher konnte sich der Einsatz von Wasserstoff bzw. Brennstoffzellen in Autos bislang nicht durchsetzen. Beispielsweise bieten derzeit nur Toyota und Hyundai Brennstoffzellenfahrzeuge auf dem deutschen Markt an. Es besteht aber großes Potenzial für den Einsatz von Wasserstoff bei LKWs, Zügen oder Schiffen, welche nicht oder nur unter hohen Kosten elektrifiziert werden können.<sup>17</sup>

---

<sup>16</sup> e-mobil BW 2023.

<sup>17</sup> IEA 2023.

ABBILDUNG 2 Entwicklung Weltklassepatente in den zehn grünen Oberkategorien, 2010 - 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

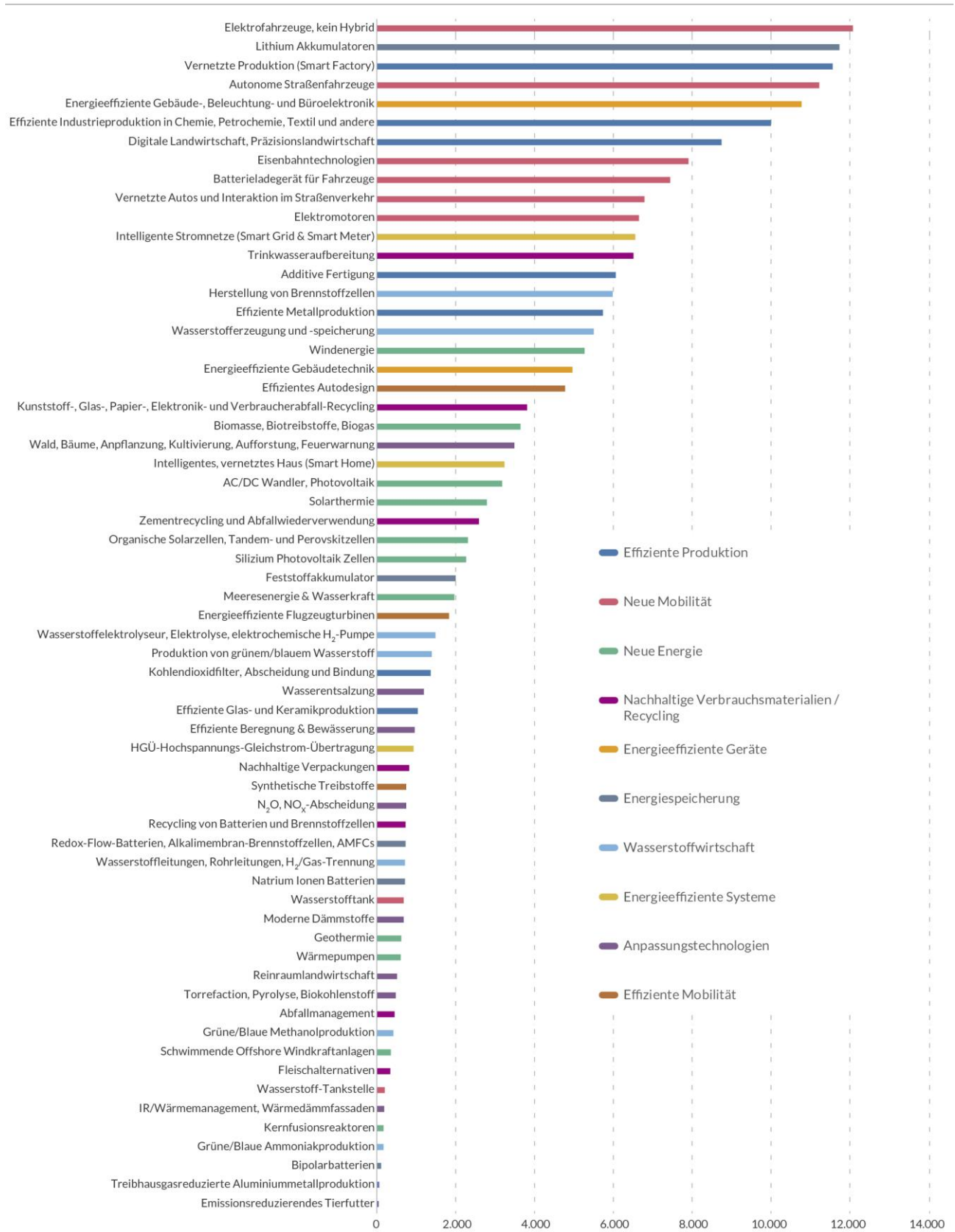
Betrachtet man die Entwicklung der Weltklassepatente auf Ebene der Einzeltechnologien zeigen sich beträchtliche Größenunterschiede in Bezug auf die Patenzahlen. In einigen etablierten Technologien, wie Elektrofahrzeugen oder Lithiumbatterien, überschreitet die Zahl der Weltklassepatente die Schwelle von 10.000 Stück. Andere Technologien, wie z. B. Bipolarbatterien, befinden sich hingegen noch in einem frühen Entwicklungsstadium und die Zahl der globalen Weltklassepatente ist noch vergleichsweise gering.

Die Einzeltechnologie mit der gemessen an der Entwicklung der Weltklassepatente höchsten Forschungsdynamik sind autonome Straßenfahrzeuge. In dieser Technologie hat sich die Zahl der Weltklassepatente zwischen 2017 und 2022 von knapp 3700 auf über 11.000 verdreifacht. Die Technologie autonome Straßenfahrzeuge umfasst dabei verschiedene Elemente: Damit Fahrzeuge autonom fahren können, müssen sie zunächst ihre Umgebung in Echtzeit erfassen. Hierfür sind Sensoren und Wahrnehmungssysteme zentral, darunter Lidar, Radar, Kameras und Ultraschallsensoren. Für die Verarbeitung der erfassten Daten ist (KI-)Software zentral, die es den Fahrzeugen ermöglicht, Muster zu erkennen, Entscheidungen zu treffen und sich an unterschiedliche Verkehrssituationen anzupassen. Bislang fahren auf den Straßen nur sehr wenige Fahrzeuge, die die Fähigkeit zum hochautomatisierten Fahren haben (sogenannte Level-3-Entwicklungsstufe). Bei Level-3-Fahrzeugen können Fahrerinnen und Fahrer die Augen von der Straße abwenden, müssen aber das Fahrzeug in Gefahrensituationen kurzfristig übernehmen können. Der Durchbruch von vollständig selbstfahrenden Autos (Level-4- und Level-5-Fahrzeuge)

lässt dagegen wegen noch nicht gelöster technologischer und regulatorischer Hürden auf sich warten.

Grundsätzlich war die Forschungsdynamik in der überwiegenden Mehrheit der Einzeltechnologien hoch. Nur bei den Siliziumphotovoltaikzellen ist der Bestand an Weltklassepatenten in den letzten fünf Jahren leicht gesunken (Abbildung 3).

ABBILDUNG 3 Zahl der Weltklassepatente in den grünen Einzeltechnologien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

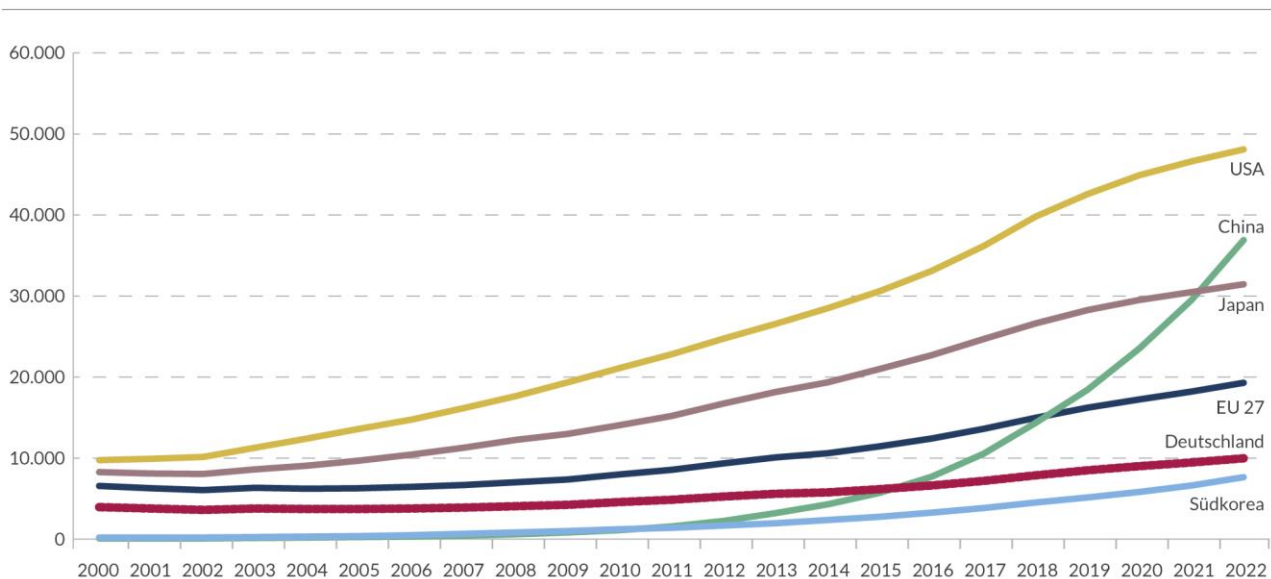
### 3.1 Entwicklung nach Regionen

Bei der Entwicklung der Green-Tech-Weltklassepatente nach Ort der Erfindung liegen die USA weltweit ganz vorne. Im Jahr 2022 lag der Bestand an in den USA entwickelten Green-Tech-Weltklassepatenten bei rund 48.000 Stück, jedes dritte weltweit entwickelte Weltklassepatent stammt somit aus den USA (Abbildung 4).

Setzt sich der Trend der letzten Jahre fort, dürfte China jedoch die USA bald vom Spitzenrang verdrängen. In China hat sich die Zahl der Weltklassepatente zwischen 2010 und 2022 vervielfacht, von knapp über 1000 Weltklassepatenten auf fast 37.000 Stück.

Japan folgt auf dem dritten Rang mit einem Bestand an Weltklassepatenten von über 31.000 im Jahr 2022. Die EU folgt mit rund 19.000 Weltklassepatenten auf Rang vier. Zudem erreichte die EU seit 2010 ein etwas höheres Wachstumstempo als die USA und Japan mit einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 7,6 Prozent (gegenüber jeweils rund 7 Prozent in Japan und den USA). Ein weiteres wichtiges Land im Bereich Green Tech ist Südkorea mit knapp 7700 Weltklassepatenten. Südkorea erreichte nach China das zweithöchste Wachstum an Weltklassepatenten seit 2010.

ABBILDUNG 4 Entwicklung Weltklassepatente in den wichtigsten Ländern/Regionen, 2010 - 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

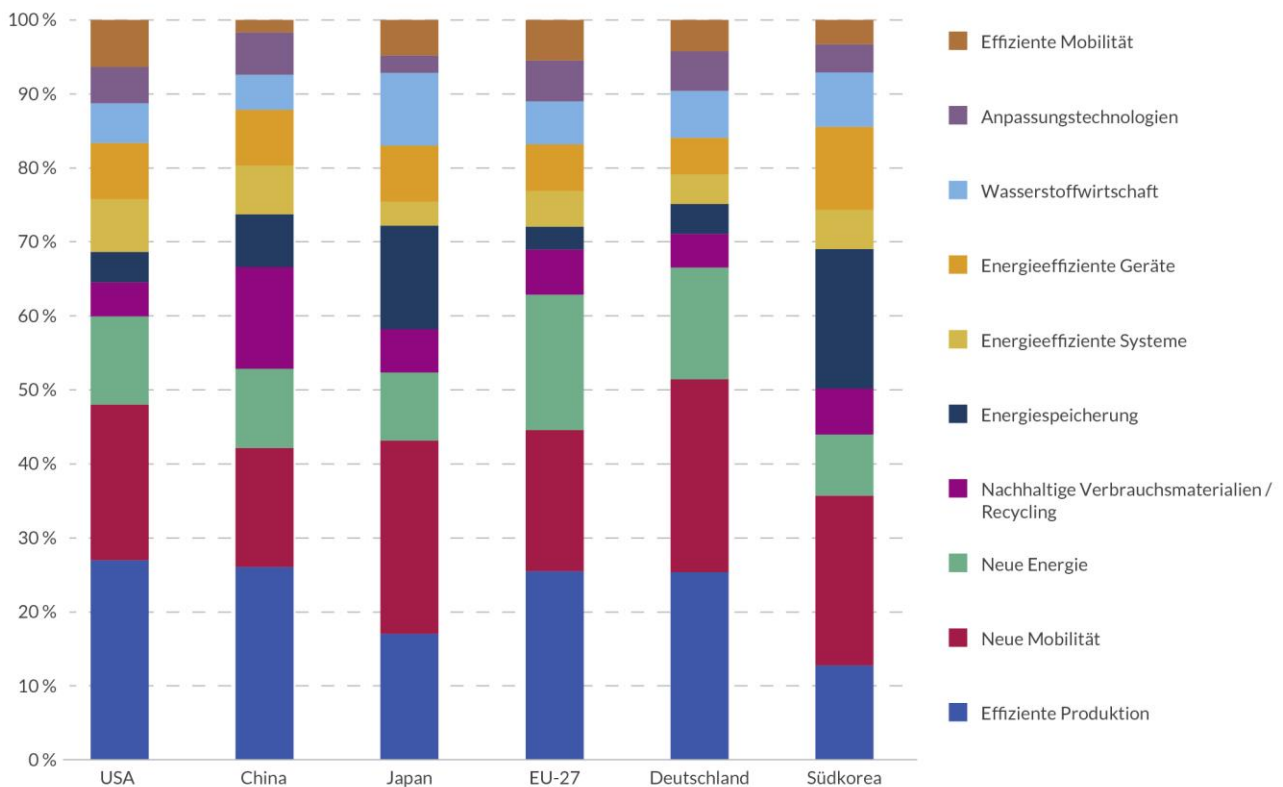
### 3.2 Technologieschwerpunkte der Regionen

Betrachtet man die Technologieschwerpunkte der größten Regionen, zeigt sich, dass die beiden Kategorien „Effiziente Produktion“ und „Neue Mobilität“ in allen Regionen von hoher Bedeutung sind (Abbildung 5).

Bei den Technologien zur „Energiespeicherung“ sind dagegen vor allem Südkorea und Japan überdurchschnittlich vertreten. Hierfür verantwortlich ist die Präsenz weltweit führender Unternehmen im Bereich Batterieforschung in diesen beiden Ländern (z. B. LG Energy Solution und

Samsung SDI in Südkorea, Panasonic und Toshiba in Japan). Japan ist zudem der globale Technologieführer in der Kategorie „Wasserstoffwirtschaft“. Die EU sowie Deutschland spielen vor allem in der Kategorie „Neue Energie“ eine wichtige Rolle im globalen Forschungswettbewerb, während China in der Kategorie „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ einen klaren Forschungsschwerpunkt hat. In China ist der Fokus auf die Einführung und Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft bereits seit 2006 ein wichtiges Element der staatlichen Wirtschaftspolitik im Rahmen der Fünfjahrespläne.<sup>18</sup> Mit staatlichen Vorgaben und Investitionen wird seitdem die Umsetzung der Kreislaufwirtschaft gefördert, wobei der Schwerpunkt auf den sogenannten 3R-Strategien liegt (d. h. reduce, reuse, recycle; auf Deutsch: reduzieren, wiederverwenden, recyceln). Dies hat zu einer höheren Ressourcenproduktivität in China geführt, d. h. der relativen Entkopplung des Ressourcenverbrauchs vom Wachstum des Bruttoinlandprodukts (BIP-Wachstum). Die Entwicklung der globalen Weltklassepatente zeigt, dass mittlerweile auch umfangreiche Spitzenforschungsaktivitäten im Bereich „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ in China zu finden sind.

ABBILDUNG 5 Weltklassepatente der wichtigsten Ländern/Regionen nach Oberkategorien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

Von den weltweit rund 150.000 aktiven Weltklassepatenten in grünen Technologien entfallen mehr als 40.000 auf die Kategorie „Effiziente Produktion“ und rund 36.000 auf „Neue Mobilität“ (Abbildung 6). Beide Kategorien haben sich seit 2010 zudem überdurchschnittlich dynamisch

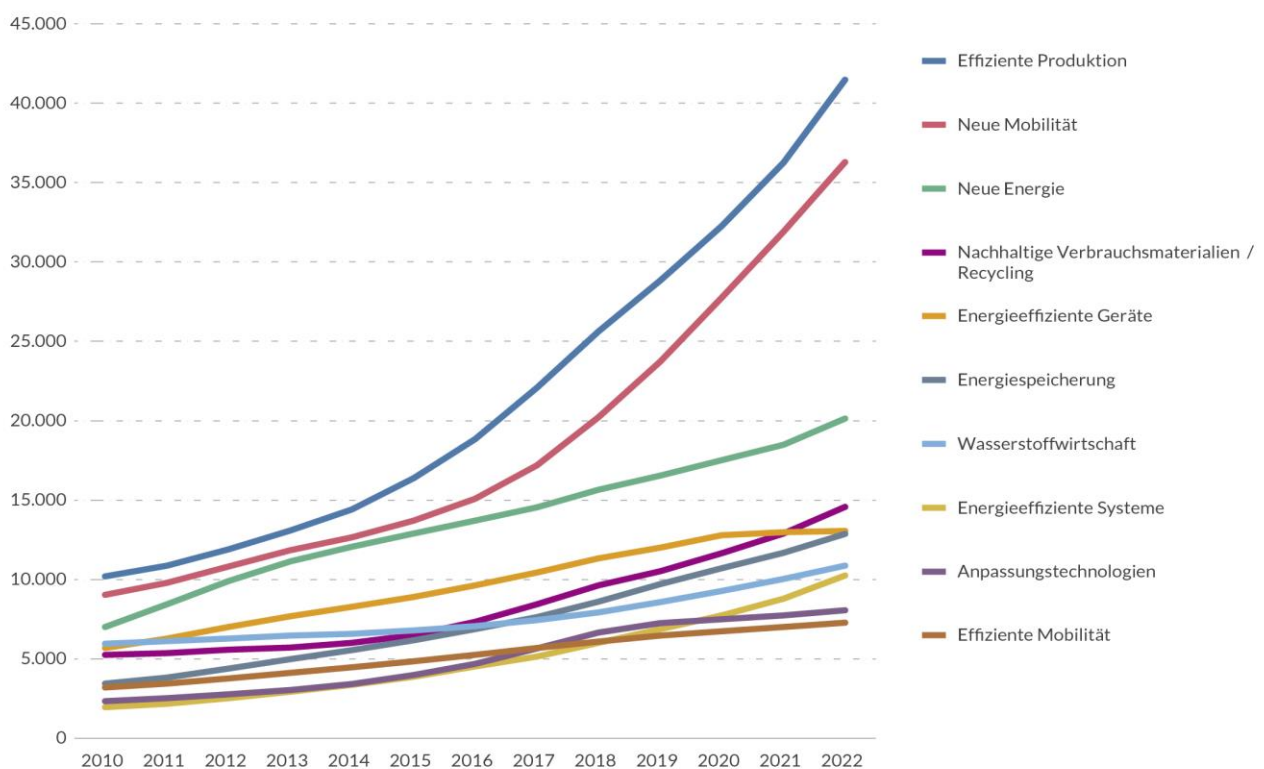
<sup>18</sup> Bleischwitz et al. 2022.



entwickelt. Während die Gesamtzahl der grünen Weltklassepatente zwischen 2010 und 2022 um rund 10 Prozent pro Jahr gestiegen ist, lagen die Wachstumsraten in den Kategorien „Effiziente Produktion“ und „Neue Mobilität“ bei über 12 Prozent pro Jahr im gleichen Zeitraum. Ein wesentlicher Wachstumstreiber in der Kategorie „Effiziente Produktion“ ist die zunehmende Vernetzung der Produktionsprozesse. Im Bereich „Neue Mobilität“ finden im Automobilsektor massive technologische Veränderungen statt mit dem Wandel zur Elektromobilität und der zunehmenden Bedeutung der Digitalisierung (Stichwort autonomes Fahren). Die globalen Forschungsschwerpunkte in grünen Technologien stimmen somit gut mit den Forschungsschwerpunkten in Deutschland überein.

Das höchste relative Wachstum fand jedoch in der Kategorie „Energieeffiziente Systeme“ statt, in der sich die Zahl der Weltklassepatente seit 2010 von knapp 2000 auf über 10 000 mehr als verfünffacht hat (+15 Prozent p. a.). Etwas weniger dynamisch verlief die Entwicklung dagegen im Bereich „Neue Energie“ (+9 Prozent p. a.). Im Hinblick auf die Ziele des Pariser Klimaabkommens stellt die Abschwächung der Forschungsdynamik ein Warnsignal dar, da die Kategorie „Neue Energie“ grüne Kerntechnologien wie die Solar- und Windenergie umfasst, welche zentral für die Dekarbonisierung der Wirtschaft sind. Interessant ist auch die Entwicklung im Bereich Wasserstoff. Nach einer Durststrecke in der ersten Hälfte der 2010er Jahre mit einem stagnierenden Bestand an Weltklassepatenten hat hier die Forschungsdynamik in den letzten Jahren angezogen. Insgesamt legten die Wasserstoff-Weltklassepatente aber im Zeitraum 2010 bis 2022 lediglich um rund 5 Prozent pro Jahr zu.

ABBILDUNG 6 Entwicklung Weltklassepatente in den zehn grünen Kategorien, 2010 - 2022



### 3.3 Technologieprofil USA

#### Textbox 1: Technologieprofile

Technologieprofile stellen zum einen die Forschungsaktivitäten der ausgewählten Unternehmen in grünen Technologien im Detail dar, zum anderen können sie auch für eine Darstellung der Wettbewerbsfähigkeit in diesen Technologien genutzt werden.

Ein Standardvergleich von Technologien innerhalb eines Landes würde durch einen Vergleich der absoluten Patentzahlen erfolgen. Einige Technologien sind jedoch patentintensiver als andere. Beispielsweise werden im Bereich Telekommunikation technologische Neuerungen häufiger patentiert als in anderen Forschungsbereichen. Gründe für die hohe Patentintensität in der Telekommunikation umfassen die sehr hohe Wettbewerbsintensität in der Branche sowie die wichtige Rolle von asiatischen Telekommunikationsunternehmen, welche typischerweise sehr viel patentieren. So war etwa der chinesische Telekom-ausrüster Huawei im Jahr 2022 der führende Patentanmelder für europäische Patente beim Europäischen Patentamt (EPO).<sup>19</sup>

Daher beschreibt ein Vergleich einer patentintensiven Technologie mit einer weniger patentintensiven Technologie lediglich die Patentaktivitäten und sagt wenig über die relative Wettbewerbsfähigkeit in diesen Technologien aus. Setzt man jedoch die Patentaktivität in Relation zur weltweiten Patentaktivität, so ergibt sich der Weltanteil des Landes an dieser Technologie. Dies zeigt die Bedeutung des Landes in dieser Technologie und gleichzeitig die relative Wettbewerbsfähigkeit im Vergleich zu anderen Ländern. Die Entwicklung des weltweiten Anteils über zwei Zeitpunkte hinweg zeigt die Zunahme oder Abnahme der Wettbewerbsfähigkeit im Laufe der Zeit.

Konkret zeigen die folgenden Technologieprofile (Abbildungen 7 und 8) den Umfang der Spitzenforschungsaktivitäten in den grünen Oberkategorien bzw. den Einzeltechnologien (Größe der Kugeln entspricht Zahl der Weltklassepatente). Setzt man die Zahl der Weltklassepatente in Relation zur globalen Patentaktivität, ergibt sich der Weltanteil des Landes an dieser Technologie bzw. Technologie-kategorie (y-Achse). Die Entwicklung des weltweiten Anteils zwischen 2017 und 2022 hinweg zeigt die Zunahme oder Abnahme der Wettbewerbsfähigkeit im Laufe der Zeit (x-Achse).

Da die Zahl der Weltklassepatente und das Patentwachstum sich zwischen den verschiedenen Ländern teils deutlich unterscheiden, variieren die Achsenskalen von Profil zu Profil, um eine gute Lesbarkeit zu erreichen. Aus Gründen der Lesbarkeit sind zudem nicht alle Kugeln beschriftet (Abbildung 8).

---

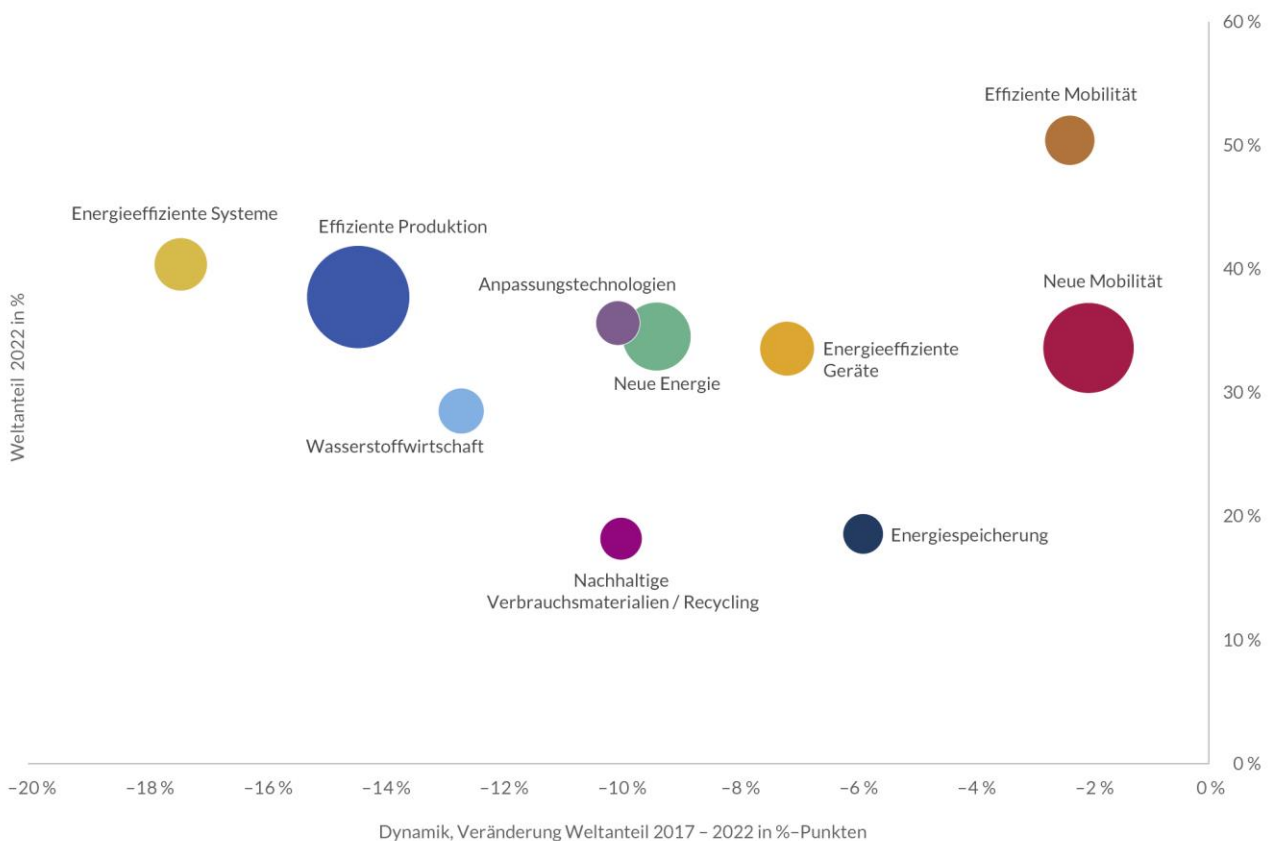
<sup>19</sup> EPO 2023.

Die USA sind ein Vorreiter in vielen grünen Technologien. Mit über 48.000 Weltklassepatenten im Jahr 2022 liegen die USA weltweit an der Spitze. Dies entspricht einem Anteil von rund 32 Prozent an allen globalen Weltklassepatenten in grünen Technologien.

Zahlreiche Unternehmen mit sehr umfangreichen Forschungsaktivitäten in grünen Technologien kommen aus den USA.<sup>20</sup> Zu nennen sind hier etwa der US-Autohersteller Ford, der Industriekonzern General Electric, der Versandhändler Amazon oder der Softwarehersteller Alphabet. Zudem verfügen auch die führenden US-Universitäten wie etwa Massachusetts Institute of Technology (MIT) oder Harvard über umfangreiche Forschungsaktivitäten in grünen Technologien.

Einen besonders hohen Anteil an den weltweiten Weltklassepatenten besitzen die USA in der Kategorie „Effiziente Mobilität“, in der sie mehr als jedes zweite Weltklassepatent besitzen. Dies ist vor allem der Forschungsstärke der US-Flugzeugzulieferer General Electric und Raytheon zu verdanken, die bei den energieeffizienten Flugzeugturbinen den Weltmarkt beherrschen.

ABBILDUNG 7 USA: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

<sup>20</sup> EconSight 2023.

Die meisten US-Weltklassepatente sind jedoch den beiden Kategorien „Effiziente Produktion“ und „Neue Mobilität“ zuzuordnen.

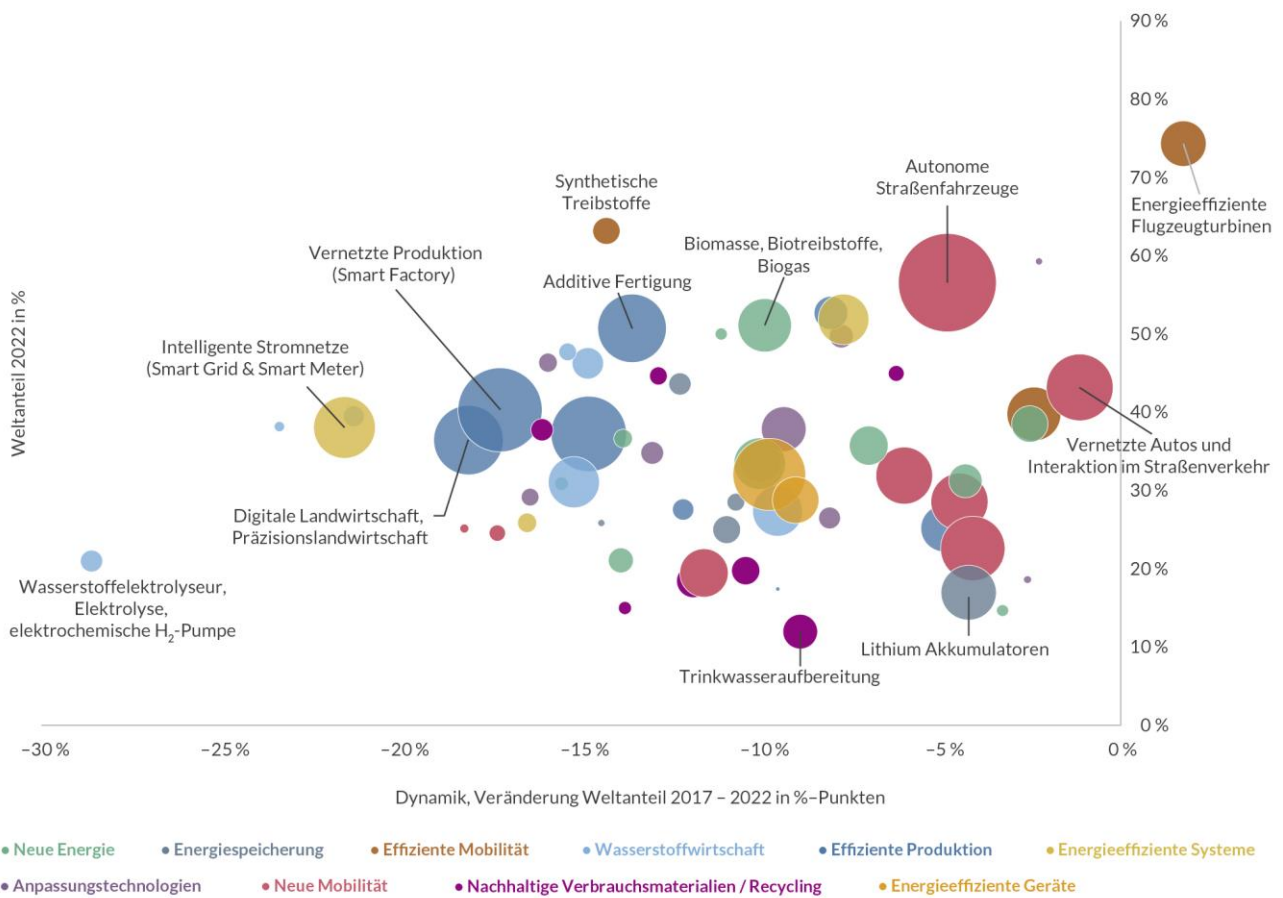
Im Bereich „Effiziente Produktion“ sind erneut General Electric und Raytheon wichtige Akteure aufgrund ihrer Aktivitäten im Bereich 3D-Druck. Daneben spielt auch das Softwareunternehmen Alphabet eine nennenswerte Rolle mit Stärken in den Technologien Smart Factory und Digital Agriculture.

Alphabet (vor allem dank der Unternehmenstochter Waymo) sowie die beiden Chiphersteller Qualcomm und Intel gewinnen auch in der Kategorie „Neue Mobilität“ zunehmend an Bedeutung. Dies vor allem aufgrund ihrer Kompetenz in den Technologien autonome Straßenfahrzeuge sowie vernetzte Autos und Interaktion im Straßenverkehr. Der Einsatz dieser Technologien soll zukünftig dazu beitragen, die Verkehrsströme zu optimieren und die Zahl der Unfälle zu verringern und somit auch den Energieverbrauch zu senken. Die Technologie autonome Straßenfahrzeuge ist insgesamt die Technologie mit den meisten in den USA entwickelten Weltklassepatenten (6350 Weltklassepatente im Jahr 2022). Neben den genannten Unternehmen sind natürlich auch die großen US-Autobauer Ford, General Motors und Tesla in diesen Technologien sowie auch bei Elektromotoren und Elektrofahrzeugen stark positioniert.

Im Vergleich der grünen Oberkategorien sind die USA in den Kategorien „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ und „Energiespeicherung“ im globalen Forschungswettbewerb unterdurchschnittlich positioniert. In diesen beiden Kategorien liegt der US-Anteil an den globalen Weltklassepatenten bei unter 20 Prozent (gegenüber dem Durchschnitt von 32 Prozent über alle Kategorien hinweg). Bei Recycling- und Batterietechnologien kann die US-Forschung derzeit nicht mit der Dynamik und Qualität der asiatischen Konkurrenz aus China, Japan und Südkorea mithalten.

Insgesamt muss auch angemerkt werden, dass der Weltanteil der USA in allen grünen Oberkategorien in den letzten fünf Jahren geschrumpft ist. Dieses Bild zeigt sich jedoch nicht nur in den USA, sondern auch in der EU sowie in Japan. Verantwortlich hierfür ist vor allem das fulminante Patentwachstum in China in den letzten Jahren (siehe Kapitel 3.4 Technologieprofil China). China hat die Zahl der Weltklassepatente in grünen Technologien seit 2017 mehr als verdreifacht (von knapp 11.000 auf fast 37.000). Kein anderes großes Land konnte ein vergleichbares Wachstum erreichen. Infolgedessen ist der chinesische Weltanteil in allen grünen Oberkategorien seit 2017 gestiegen, während der US-Anteil (sowie die Anteile der EU und Japans) entsprechend gesunken sind.

ABBILDUNG 8 USA: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

### 3.4 Technologieprofil China

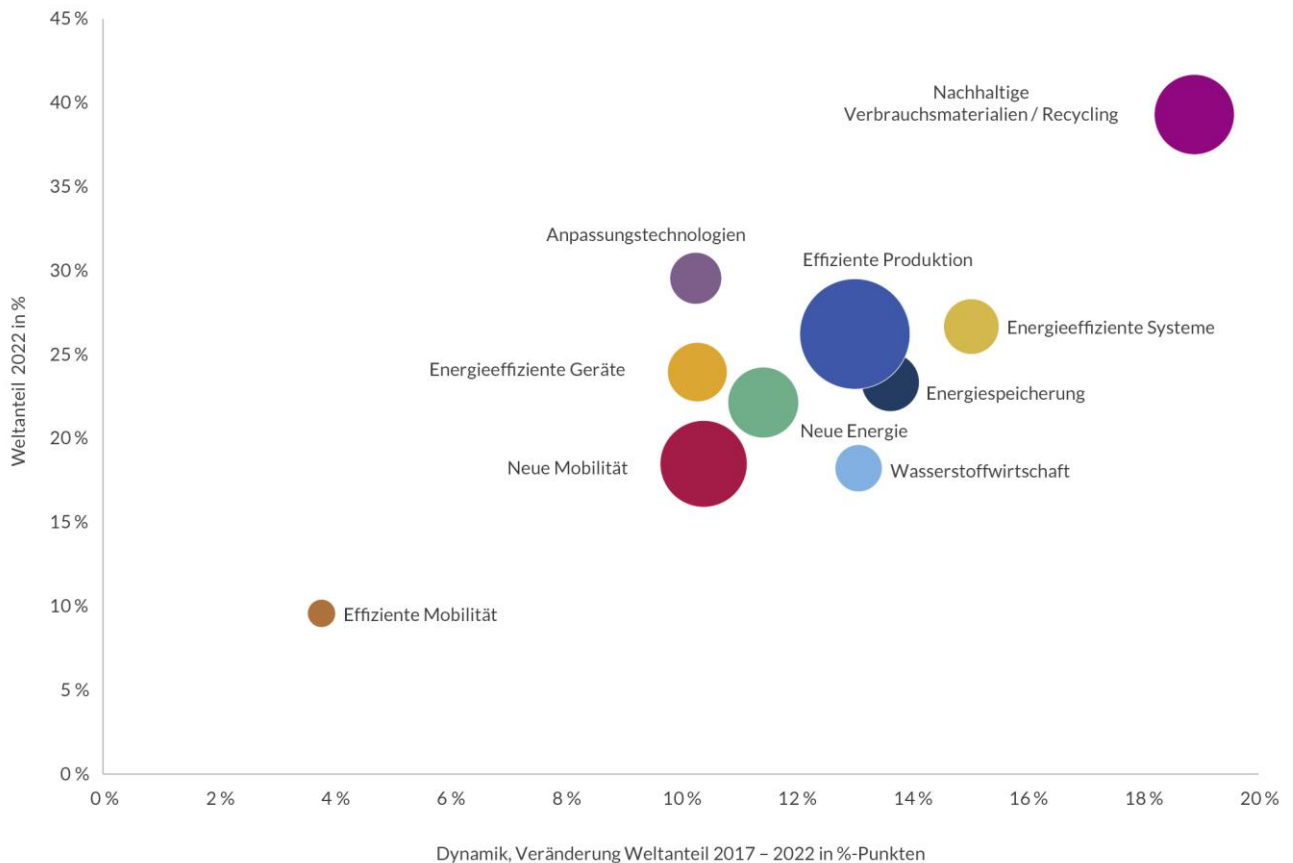
In den letzten rund 20 Jahren ist China ein rasanter Aufstieg zu einer der führenden Forschungsnationen in grünen Technologien gelungen. War China zu Beginn dieses Jahrhunderts in diesen Technologien noch kaum präsent, liegt das Land heute im globalen Vergleich der Weltklassepatente auf Platz zwei hinter den USA.

In Bezug auf die Forschungsdynamik kann kein anderes Land mit China mithalten. Dies zeigt das chinesische Technologieprofil, in denen sich alle zehn grünen Oberkategorien rechts der y-Achse befinden (Abbildung 9). Dies bedeutet, dass China seit 2017 seinen Weltanteil in allen zehn Oberkategorien steigern konnte.

Das beste Beispiel für den technologischen Aufstieg Chinas ist die Kategorie „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“. Hier konnte das Land seinen Weltanteil in den letzten fünf Jahren fast verdoppeln auf fast 40 Prozent. Damit liegt China in dieser Kategorie weltweit an der Spitze. Wie in Kapitel 3.2 erwähnt ist der Fokus auf die Einführung und Weiterentwicklung der Kreislaufwirtschaft bereits seit 2006 ein wichtiges Element der staatlichen Wirtschaftspolitik. Auf Ebene der Einzeltechnologien sind hier insbesondere die Trinkwasseraufbereitung sowie das

Recycling von Batterien und Brennstoffzellen, das Zementrecycling sowie das Kunststoff-, Glas-, Papier-, Elektronik- und Verbraucherabfallrecycling als chinesische Stärken hervorzuheben.

ABBILDUNG 9 China: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

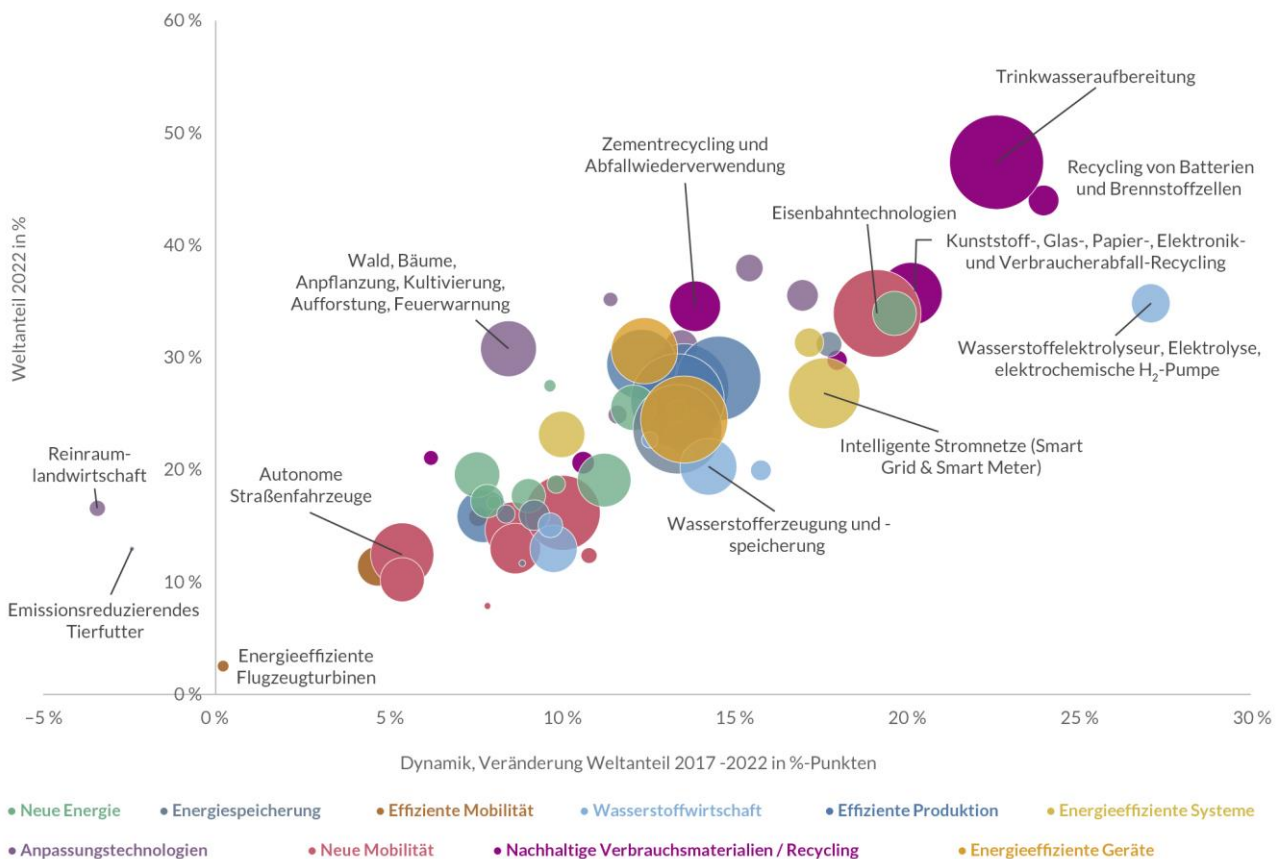
Das größte Technologiefeld ist auch in China der Bereich „Effiziente Produktion“. Gemessen an den Weltklassepatenten sind vor allem die Technologien vernetzte Produktion (Smart Factory), effiziente Industrieproduktion in der (Petro)chemie und Textilindustrie sowie digitale Landwirtschaft, Präzisionslandwirtschaft von hoher Bedeutung in China. Das weltweit größte, staatliche Ölraffinerie-, Gas- und Petrochemie-Konglomerat China Petrochemical (auch Sinopec Group genannt) verfügt insgesamt über die meisten Weltklassepatente aus China im Bereich „Effiziente Produktion“ (vor allem in der Technologie effiziente Industrieproduktion in der (Petro)chemie und Textilindustrie).

Im Bereich „Neue Mobilität“ verfügt China vor allem bei den Eisenbahntechnologien über viele Weltklassepatente (Abbildung 10). Diese Technologien umfassen Eisenbahnen inkl. Trams und anderen Schienenfahrzeuge, wobei alles erfasst wird, was zum Schienentransport gezählt werden kann, inkl. Einzelteile, Infrastruktur, Gleis- und Zugmanagement. Viele chinesische Eisenbahn-Weltklassepatente gehören dem staatlichen Eisenbahnhersteller CRRC, dem weltweit größten Schienenfahrzeughersteller der Welt.

Die einzige Oberkategorie, in der Chinas Weltanteil an den globalen Weltklassepatenten unter 10 Prozent liegt, ist „Effiziente Mobilität“. Bei energieeffizienten Flugzeugturbinen, effizientem

Autodesign und synthetischen Treibstoffen hat China (noch) einen technologischen Rückstand gegenüber den weltweit führenden Ländern. Eine Erklärung hierfür ist aber auch, dass viele chinesische Autohersteller (wie etwa BYD) ihren Forschungsfokus bereits früh auf die Elektromobilität bzw. autonomes Fahren/Vernetzung gelegt haben und somit im Bereich „Neue Mobilität“ (wie bei Elektrofahrzeugen oder autonomen Straßenfahrzeugen) besser abschneiden.

ABBILDUNG 10 China: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

### 3.5 Technologieprofil Japan

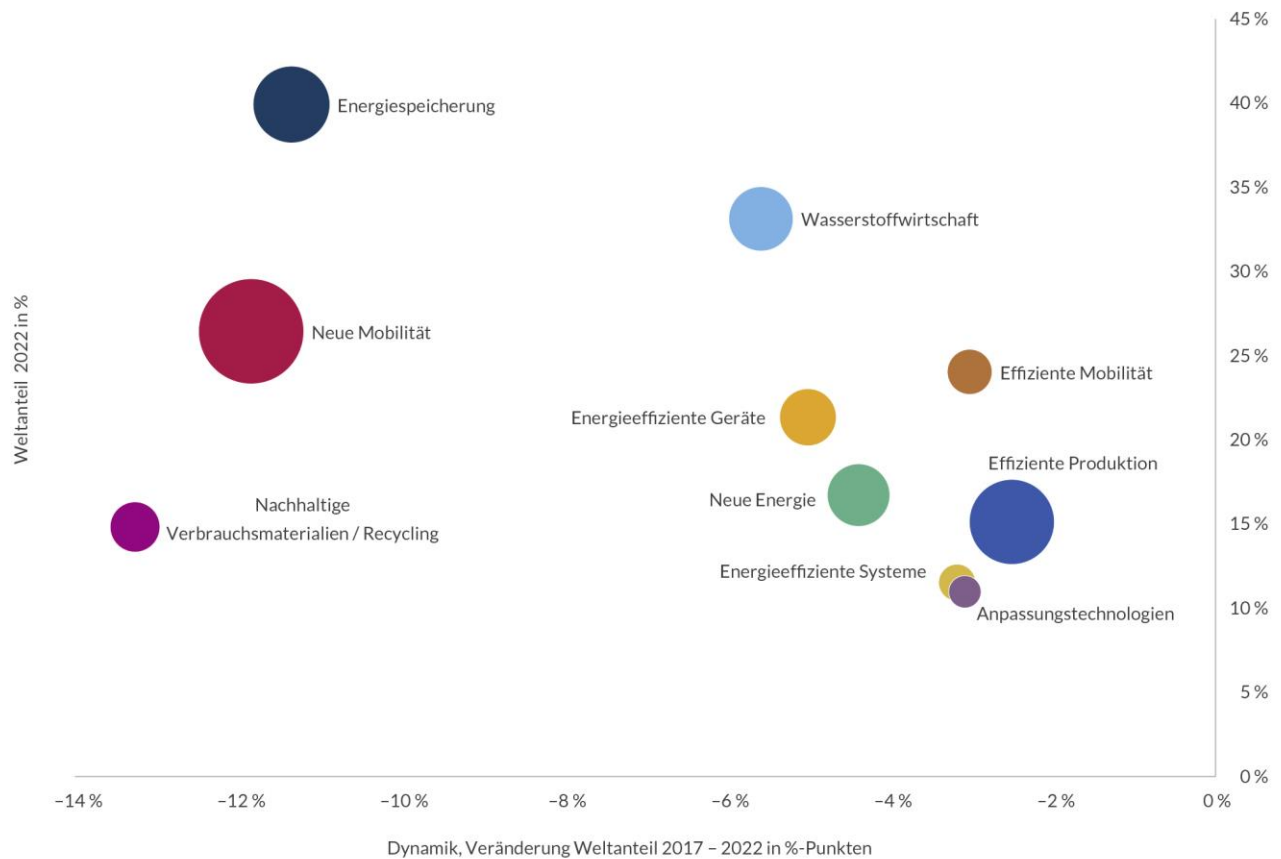
Japan ist traditionell einer der führenden Standorte im Bereich Green Tech. Im Jahr 2022 gab es insgesamt über 31.000 Weltklassepatente in grünen Technologien aus Japan. Dies entspricht einem Anteil von 21 Prozent an allen globalen Weltklassepatenten und damit liegt das Land im globalen Vergleich auf Rang drei. Genau wie in den USA ist aber auch der japanische Weltanteil in allen grünen Oberkategorien in den letzten fünf Jahren geschrumpft.

Über den höchsten Weltanteil verfügt Japan in den beiden Oberkategorien „Energiespeicherung“ (Weltanteil von 40 Prozent im Jahr 2022) und „Wasserstoffwirtschaft“ (33 Prozent). In beiden Kategorien ist Japan weltweit der wichtigste Forschungsstandort (Abbildung 11).

Im Bereich „Energiespeicherung“ liegen die Stärken Japans insbesondere in den Technologien Lithiumbatterien (Weltanteil 2022 von 41 Prozent) sowie den Batterien der nächsten Generation

wie Feststoffakkumulatoren (46 Prozent) und Bipolarbatterien (55 Prozent) (Abbildung 12). Japan profitiert hier von der Präsenz zahlreicher technologisch führender Automobilunternehmen und Elektronikkonzerne im Land. Zu nennen sind hier insbesondere Toyota, Panasonic und Toshiba, welche über viele Weltklassepatente für Lithiumbatterien verfügen.

ABBILDUNG 11 Japan: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

In der Kategorie „Wasserstoffwirtschaft“ ist vor allem Japans technologisches Know-how in der Herstellung von Brennstoffzellen auffällig (Weltanteil 2022 von 41 Prozent). Gemessen an den Weltklassepatenten ist Toyota nicht nur in Japan, sondern auch weltweit das wichtigste Unternehmen in der Brennstoffzellenforschung. Das japanische Autounternehmen forscht bereits seit vielen Jahren an Brennstoffzellen und setzt auf eine Doppelstrategie, bei der es sowohl batteriebetriebene Elektrofahrzeuge als auch Brennstoffzellen-/Wasserstoffautos entwickelt und produziert. Aber auch weitere japanische Unternehmer wie Honda und Panasonic verfügen über zahlreiche Weltklassepatente in der Kategorie „Wasserstoffwirtschaft“, ebenfalls vor allem in der Technologie Herstellung von Brennstoffzellen.

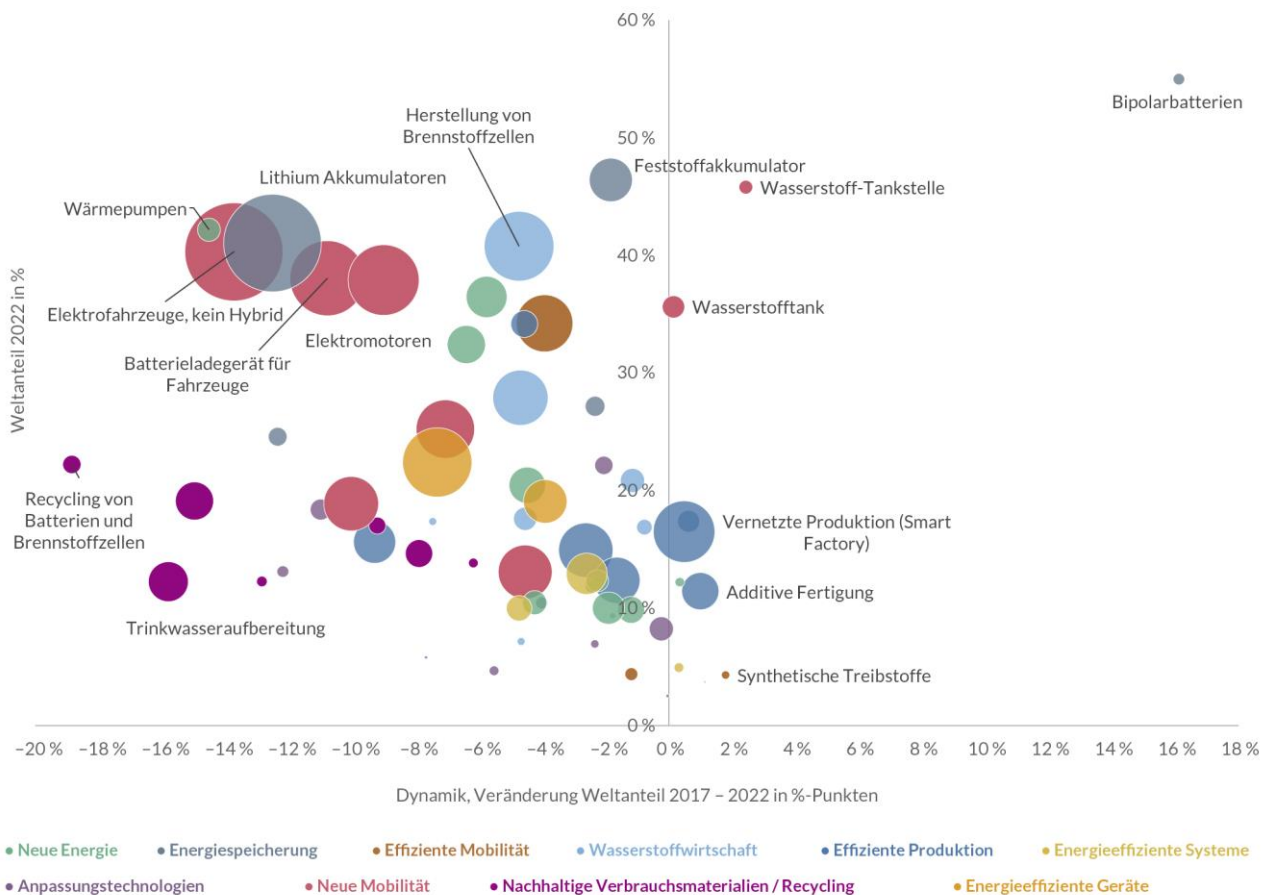
Angesichts der Präsenz zahlreicher großer Autofirmen ist Japan natürlich auch ein wichtiger Forschungsstandort im Bereich „Neue Mobilität“ (Weltanteil von 26 Prozent im Jahr 2022). Hier sind die japanischen Unternehmen vor allem im Bereich „Elektromobilität“ stark positioniert. So liegt der japanische Weltanteil in den Einzeltechnologien Batterieladegeräte für Fahrzeuge, Elektromotoren und Elektrofahrzeuge jeweils bei knapp 40 Prozent. Ebenfalls sehr hoch sind die Weltanteile bei Wasserstofftankstellen (46 Prozent) und Wasserstofftanks (36 Prozent) für



Fahrzeuge. Die japanischen Weltanteile in den Technologien vernetzte Autos (25 Prozent) sowie bei autonomen Straßenfahrzeugen (13 Prozent) liegen dagegen deutlich tiefer.

In den beiden Kategorien „Energieeffiziente Systeme“ und „Anpassungstechnologien an den Klimawandel“ ist Japan nicht so stark wie in den anderen grünen Kategorien. In beiden Kategorien liegt der japanische Weltanteil nur knapp über 10 Prozent (gegenüber einem durchschnittlichen japanischen Anteil von 21 Prozent an allen globalen Weltklassepatenten in grünen Technologien).

ABBILDUNG 12 Japan: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

Auffällig ist zudem, dass Japan in der Kategorie „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ in den letzten Jahren im internationalen Technologiewettbewerb an Boden verloren hat.

Beispielsweise ist der japanische Weltanteil an den globalen Weltklassepatenten im Recycling von Batterien und Brennstoffzellen zwischen 2017 und 2022 von über 40 Prozent auf 22 Prozent gesunken.

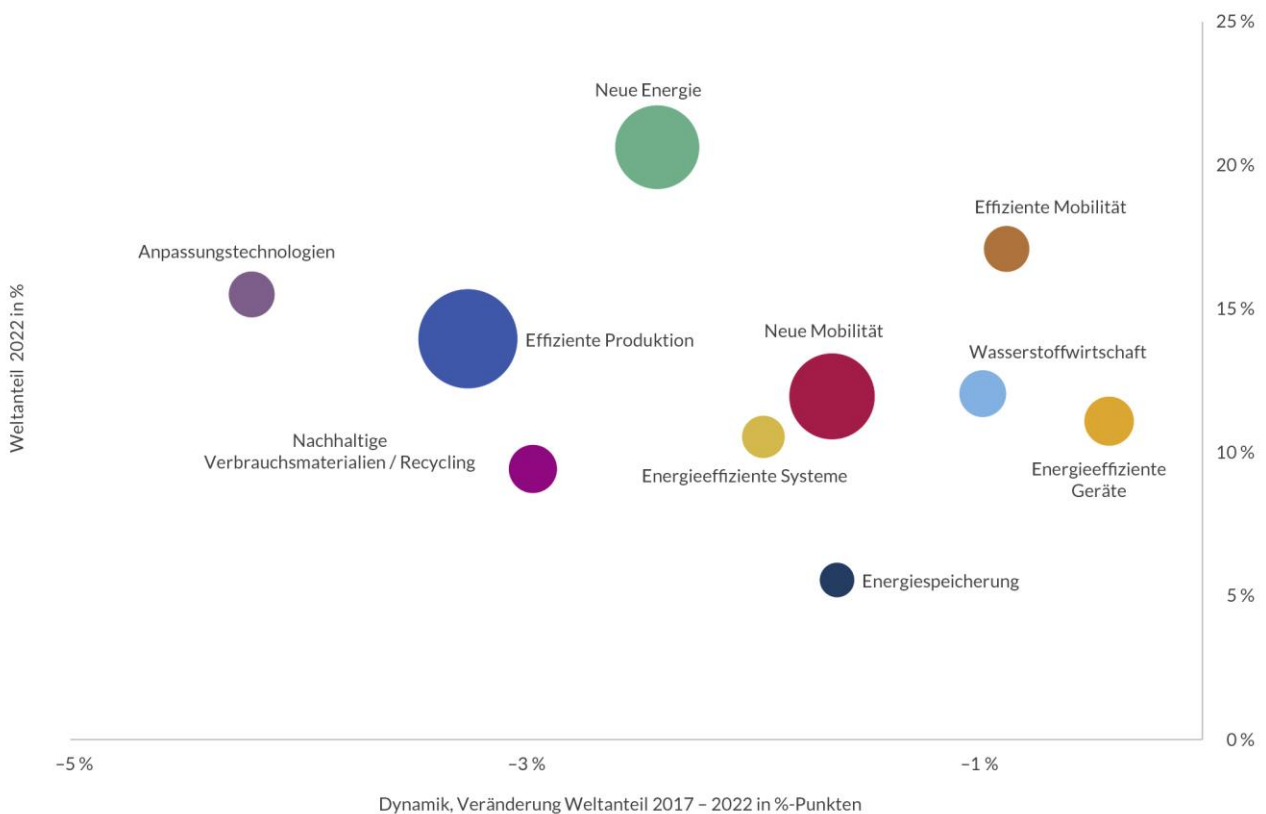
Auf Unternehmensebene ist in Bezug auf Japan noch auffällig, dass das Land über zahlreiche technologisch breit aufgestellte Unternehmen wie Panasonic, Toshiba oder Hitachi verfügt, welche in sehr vielen verschiedenen grünen Technologien aktiv sind. Dies erlaubt diesen Unternehmen von Synergieeffekten durch die zunehmende inhaltliche Verknüpfung vieler grüner Technologien im Sinne von Systemen zu profitieren – z. B. sind die intelligente Verknüpfung und das gemeinsame

Management von erneuerbaren Energien mit Stromspeichersystemen und dem Smart Grid notwendige Elemente zur zukünftigen Stabilisierung des Übertragungsnetzes.

### 3.6 Technologieprofil EU

Die EU ist der viertgrößte Forschungsakteur in grünen Technologien mit mehr als 19.000 Weltklassepatenten im Jahr 2022. Dies entspricht einem Weltanteil von knapp 13 Prozent an den globalen grünen Weltklassepatenten. Genau wie in den USA und Japan hat allerdings auch der Weltanteil der EU in allen grünen Technologieoberkategorien abgenommen. Ein positives Signal für den europäischen Forschungsstandort ist aber, dass die Weltklassepatente der EU seit 2017 stärker als in den USA und Japan gewachsen sind. Die Forschungsdynamik in der EU im Bereich Green Tech war somit zuletzt höher als in Japan und den USA.

ABBILDUNG 13 EU: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022



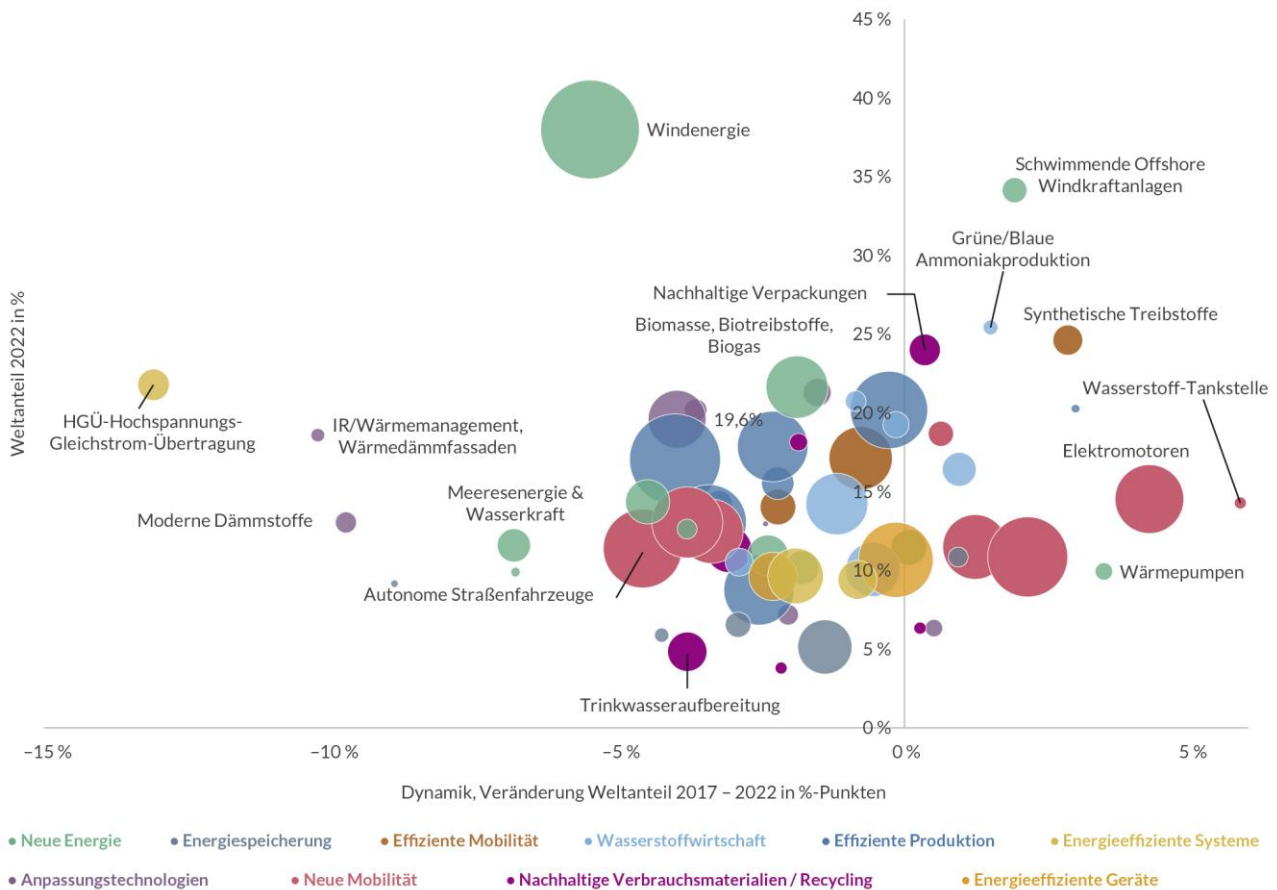
Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

Das Technologieprofil zeigt die führende Rolle der EU im Bereich „Neue Energie“ (Abbildung 13). Zwar ist der Weltanteil seit 2017 um mehr als zwei Prozentpunkte gesunken, aber trotzdem bleibt die EU mit einem Weltanteil von über 20 Prozent einer der wichtigsten Forschungsstandorte weltweit. Besonders hervorzuheben ist die exzellente Forschungsposition in der Windenergie bzw. bei Offshore-Windanlagen (Abbildung 14). In beiden Technologien verfügt die EU weltweit über die meisten Weltklassepatente. Vestas und Siemens Energy (Siemens Gamesa) sind die Top-Forschungsunternehmen in der Windenergie in Europa. Auch wenn einige Windkraftanlagenbetreiber bei Offshore-Anlagen zuletzt Probleme mit ausufernden Kosten hatten,

sind gerade die Offshore-Anlagen ein Bereich mit viel Zukunftspotenzial und dürften bei der weiteren Dekarbonisierung der Energieerzeugung eine wichtige Rolle spielen.<sup>21</sup>

ABBILDUNG 14 EU: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

Auch in der Kategorie „Effiziente Mobilität“ ist die EU gut positioniert, dank der Forschungsstärke der europäischen Autofirmen in den beiden Technologien effizientes Autodesign und synthetische Kraftstoffe. Weniger positiv fällt das Fazit bei der Kategorie „Neue Mobilität“ aus, wo der EU-Weltanteil bei 12 Prozent liegt und damit leicht unter dem Weltanteil bei grünen Technologien insgesamt (13 Prozent). Die europäischen Autobauer haben bei der Elektromobilität starke Konkurrenz durch Firmen wie Tesla sowie chinesische Akteure wie BYD, zudem wollen sich bei den Technologien vernetzte Autos/Interaktion im Straßenverkehr und autonomes Fahren branchenfremde Unternehmen wie Alphabet, Intel, Qualcomm oder Baidu ein Stück der Wertschöpfung sichern. Das Technologieprofil in Einzeltechnologien zeigt hier zwei gegenläufige Entwicklungen: Bei der Elektromobilität konnten die europäischen Autofirmen in den letzten Jahren ihren Weltanteil bei den Technologien Elektromotoren sowie Elektrofahrzeuge ausbauen. Bei den

<sup>21</sup> IRENA 2019.

Technologien vernetzte Autos/Interaktion im Straßenverkehr sowie autonomes Fahren verlieren die Europäer dagegen an Boden gegenüber der internationalen Konkurrenz.

Im Bereich „Energiespeicherung“ spielt die EU im internationalen Forschungswettbewerb nur eine untergeordnete Rolle. Hier liegt der Weltanteil an den globalen Weltklassepatenten lediglich bei knapp über 5 Prozent. Bei den Lithiumbatterien, einem zentralen Bestandteil der Elektromobilität, liegen die europäischen Unternehmen weit abgeschlagen hinter den asiatischen Marktführern. Auch bei den potenziellen Batterien der nächsten Generation (Festkörperbatterien, Bipolarbatterien, Natrium-Ionen-Batterien) verfügen europäische Forschungsakteure nur über wenige Weltklassepatente.

Die EU versucht im Rahmen der European Battery Alliance (EBA) die Position der EU als Standort für Batterieforschung und -produktion zu verbessern und zukünftig eine sichere Versorgung mit Batterien zu gewährleisten.<sup>22</sup> Die Lithiumbatterieproduktion in der EU hat auch in den letzten Jahren deutlich zugenommen, wenngleich ein Großteil der Batterieproduktion in der EU noch von ausländischen Batterieproduzenten, vor allem aus Asien, durchgeführt wird. Ein Wettbewerbsnachteil, den die EU bei der Produktion von Batterien hat, ist der Mangel an heimischen Rohstoffen bzw. an Kapazitäten für die Rohstoffverarbeitung. Beispielsweise kontrolliert China über 80 Prozent der weltweiten Raffineriekapazität für Li-Ionen-Batterierohstoffe.<sup>23</sup>

### 3.7 Technologieprofil Südkorea

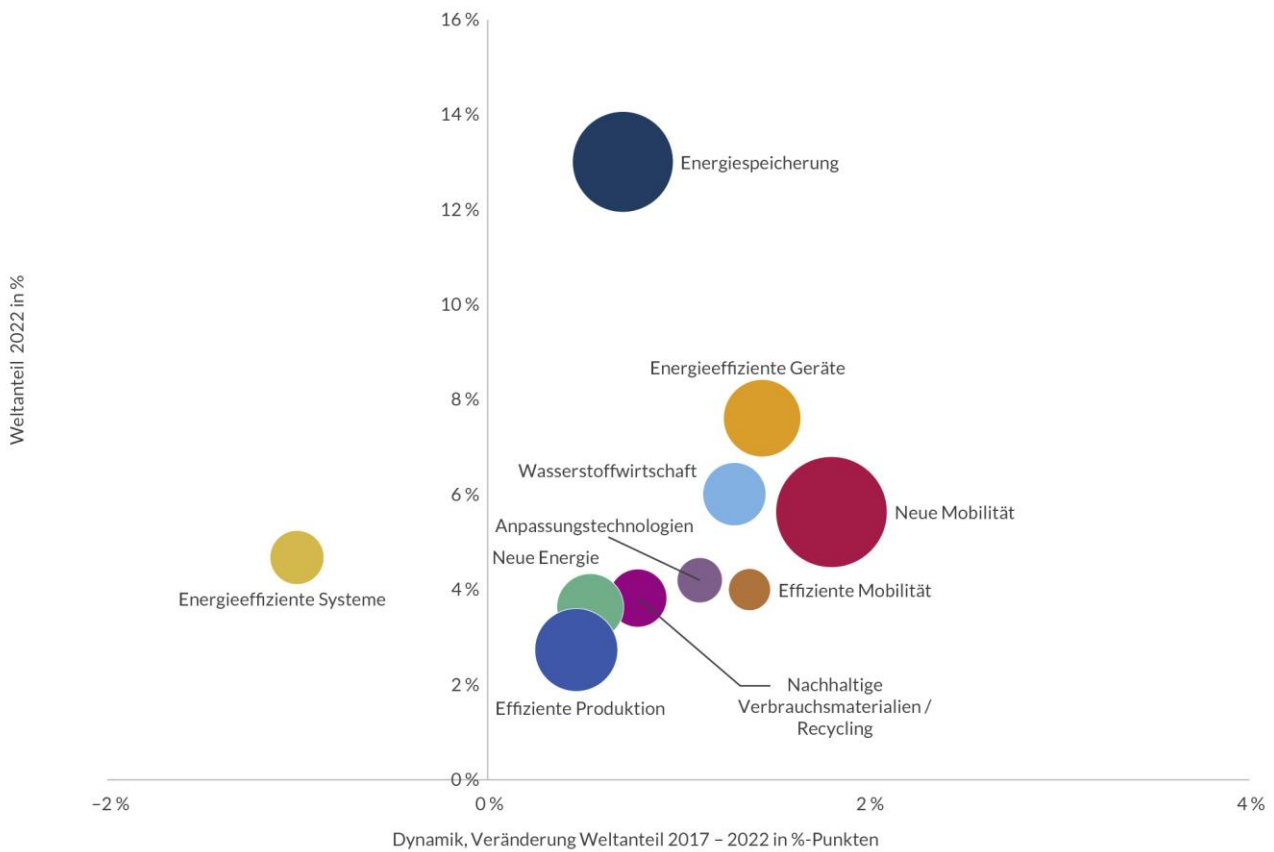
Südkorea hat in den letzten Jahren als Forschungsstandort für grüne Technologien stark an Bedeutung gewonnen. Das Land konnte seinen Weltanteil in fast allen grünen Oberkategorien ausbauen, nur bei „Energieeffiziente Systeme“ war ein Rückgang zu verzeichnen.

---

<sup>22</sup> European Commission 2023.

<sup>23</sup> European Commission 2022.

ABBILDUNG 15 Südkorea: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

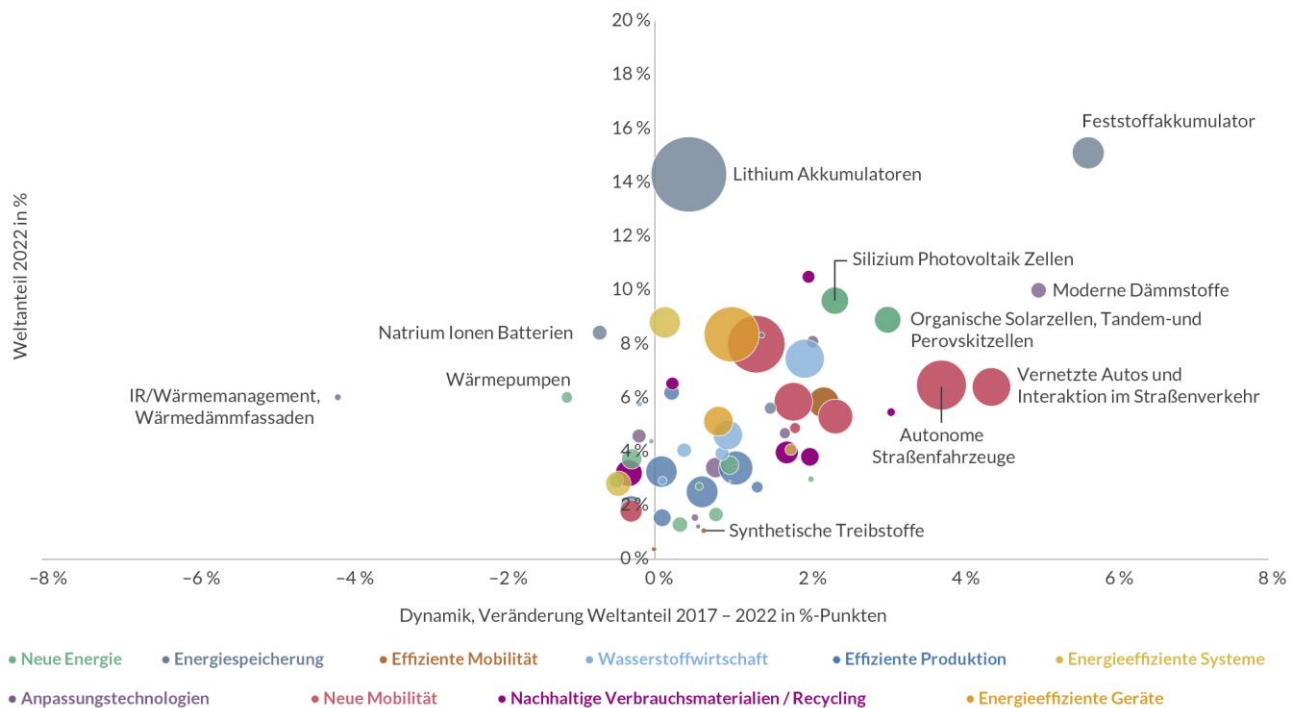
| BertelsmannStiftung

Ein Blick auf das Technologieprofil zeigt, dass Südkorea vor allem in der Kategorie „Energiespeicherung“ ein Top-Forschungsstandort ist. In dieser Kategorie verfügte das Land 2022 über fast 1700 Weltklassepatente, dies entspricht einem Weltanteil von 13 Prozent (Abbildung 15). Südkorea ist dabei sowohl bei Lithiumbatterien als auch bei Feststoffbatterien stark aufgestellt. Mit LG Chem/LG Energy und Samsung SDI sind zwei der wichtigsten Unternehmen im Bereich Batterietechnik in Südkorea angesiedelt (Abbildung 16).

Auch in der Kategorie „Energieeffiziente Geräte“ gibt es in Südkorea umfangreiche Forschungsaktivitäten. Dies zeigt sich im vergleichsweise hohen Weltanteil von 7,6 Prozent. Die großen Elektronikkonzerne Samsung und LG Electronics sind hier die wichtigsten Forschungsakteure im Land.

In den anderen grünen Oberkategorien liegt der südkoreanische Weltanteil noch tiefer, aber aufgrund der hohen Forschungsdynamik konnte das Land seinen Weltanteil in bestimmten Technologien stark ausbauen seit 2017. Zu nennen sind hier insbesondere die Technologien vernetzte Autos und autonome Fahrzeuge in der Kategorie „Neue Mobilität“, moderne Dämmstoffe in der Kategorie „Anpassungstechnologien an den Klimawandel“ und neuartige organische Solarzellen, Tandem- und Perovskitzellen im Bereich „Neue Energie“.

ABBILDUNG 16 Südkorea: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022



## 4 Entwicklung in Deutschland

Deutschland ist in der EU mit Abstand das wichtigste Forschungsland in grünen Technologien. Im Jahr 2022 gab es in Deutschland knapp 10.000 Weltklassepatente, damit lag der Anteil Deutschlands an allen Weltklassepatenten aus der EU bei über 50 Prozent. Deutschlands Anteil an allen globalen grünen Weltklassepatenten betrug 2022 knapp 7 Prozent.

### 4.1 Technologieprofil Deutschland

Das Technologieprofil zeigt, dass Deutschland in den Oberkategorien „Neue Mobilität“, „Effiziente Produktion“ sowie „Neue Energie“ über viele Weltklassepatente verfügt. In den Bereichen „Neue Energie“ und „Neue Mobilität“ war auch der deutsche Weltanteil im Jahr 2022 überdurchschnittlich hoch („Neue Energie“: 8,7 Prozent, „Neue Mobilität“: 8,3 Prozent gegenüber durchschnittlich 6,6 Prozent in den grünen Technologien insgesamt). Bei den Oberkategorien „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ und der „Energiespeicherung“ spielt Deutschland in Bezug auf die Spitzenforschung dagegen nur eine untergeordnete Rolle (jeweils Weltanteil unter 5 Prozent). Insgesamt zeigt das Technologieprofil aber somit eine ausgewogene Positionierung mit Stärken in vielen verschiedenen grünen Technologiebereichen.

Wie in den meisten Industriestaaten ist der deutsche Weltanteil in den letzten fünf Jahren in allen zehn Oberkategorien gesunken. Dies liegt hauptsächlich am rasanten Wachstum der Weltklassepatente in China sowie mit Abstrichen auch in Südkorea.

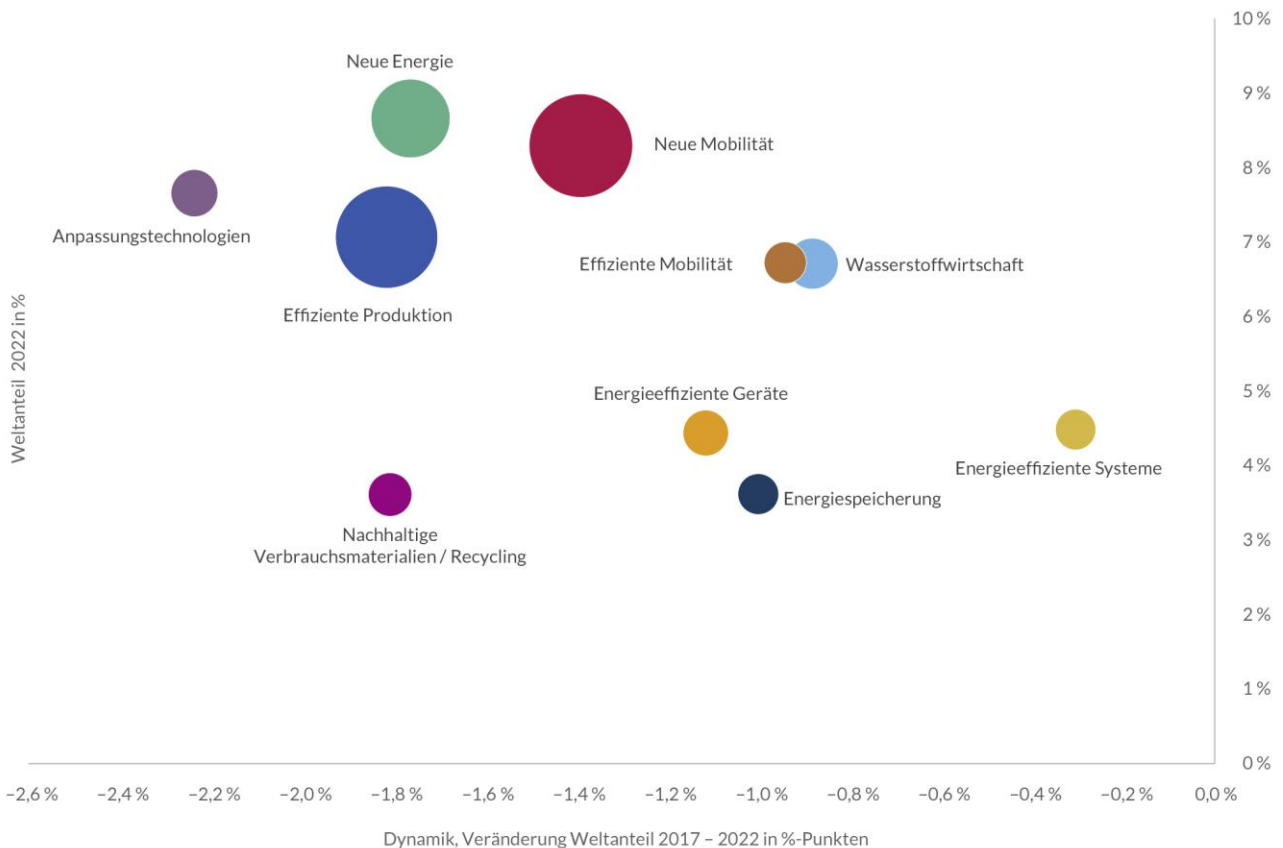
Betrachtet man die Branchenzuordnung der für die Weltklassepatente verantwortlichen Unternehmen, zeigt sich, dass ein Großteil der Forschungsaktivitäten in grünen Technologien in deutschen Schlüsselindustrien wie der Elektroindustrie, der Automobilbranche, der Chemieindustrie oder dem Maschinenbau erbracht wird. Auf Unternehmensebene sind Bosch (704 Weltklassepatente), VW (630), Siemens (535) und BASF (525) die wichtigsten Forschungsfirmen in grünen Technologien in Deutschland.

Ein negatives Ergebnis ist, dass die Bedeutung der IKT-Industrie (Informations- und Kommunikationstechnik) hinsichtlich der Zahl der Weltklassepatente in grünen Technologien in Deutschland nicht allzu hoch ist. Die Digitalisierung ist jedoch ein wichtiger Innovationstreiber in grünen Technologien. In anderen Ländern, wie etwa den USA, spielen Unternehmen aus dem IKT-Segment (z. B. Alphabet) eine wichtigere Rolle in Bezug auf die Spitzenforschung im Green-Tech-Bereich. Die fehlenden Impulse der IKT-Unternehmen in Deutschland sind daher eine Erklärung, warum Deutschland gerade in Technologien mit einem hohen Digitalisierungsgrad, wie z. B. autonome Fahrzeuge oder vernetzte Produktion/Smart Factory, nicht allzu stark abschneidet im internationalen Vergleich.

Auch bei der Forschungsdynamik schneidet Deutschland weniger positiv ab. Die Analyse der Forschungsdynamik im Rahmen der Technologieprofile basiert nicht auf dem absoluten Anstieg der Weltklassepatente, sondern auf dem Vergleich des Wachstums der Weltklassepatente gegenüber dem globalen Durchschnitt. Ist die Wachstumsrate kleiner als der globale Schnitt, sinkt der Anteil an den globalen Weltklassepatenten in einer Technologie bzw. einer Technologieoberkategorie.

Die Zahl der Weltklassepatente aus Deutschland ist zwar in den meisten grünen Technologien in den letzten Jahren teils deutlich gestiegen, international verlief die Entwicklung jedoch noch dynamischer. Im Technologieprofil zeigt sich dies daran, dass Deutschlands Weltanteil in allen zehn grünen Oberkategorien gesunken ist (Kugeln liegen links der y-Achse; Abbildung 17). Zwar sind aufgrund des rasanten Wachstums der Weltklassepatente aus China die Weltanteile in fast allen Industriestaaten in den meisten grünen Technologien gesunken, aber das Wachstum der Weltklassepatente aus Deutschland war in der Vergangenheit auch leicht tiefer als in den USA, Japan sowie den meisten EU-Ländern. Deutschland muss somit an Dynamik zulegen, um seine gute internationale Forschungsposition in grünen Technologien mittel- und langfristig halten zu können.

ABBILDUNG 17 Deutschland: Technologieprofil in grünen Oberkategorien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

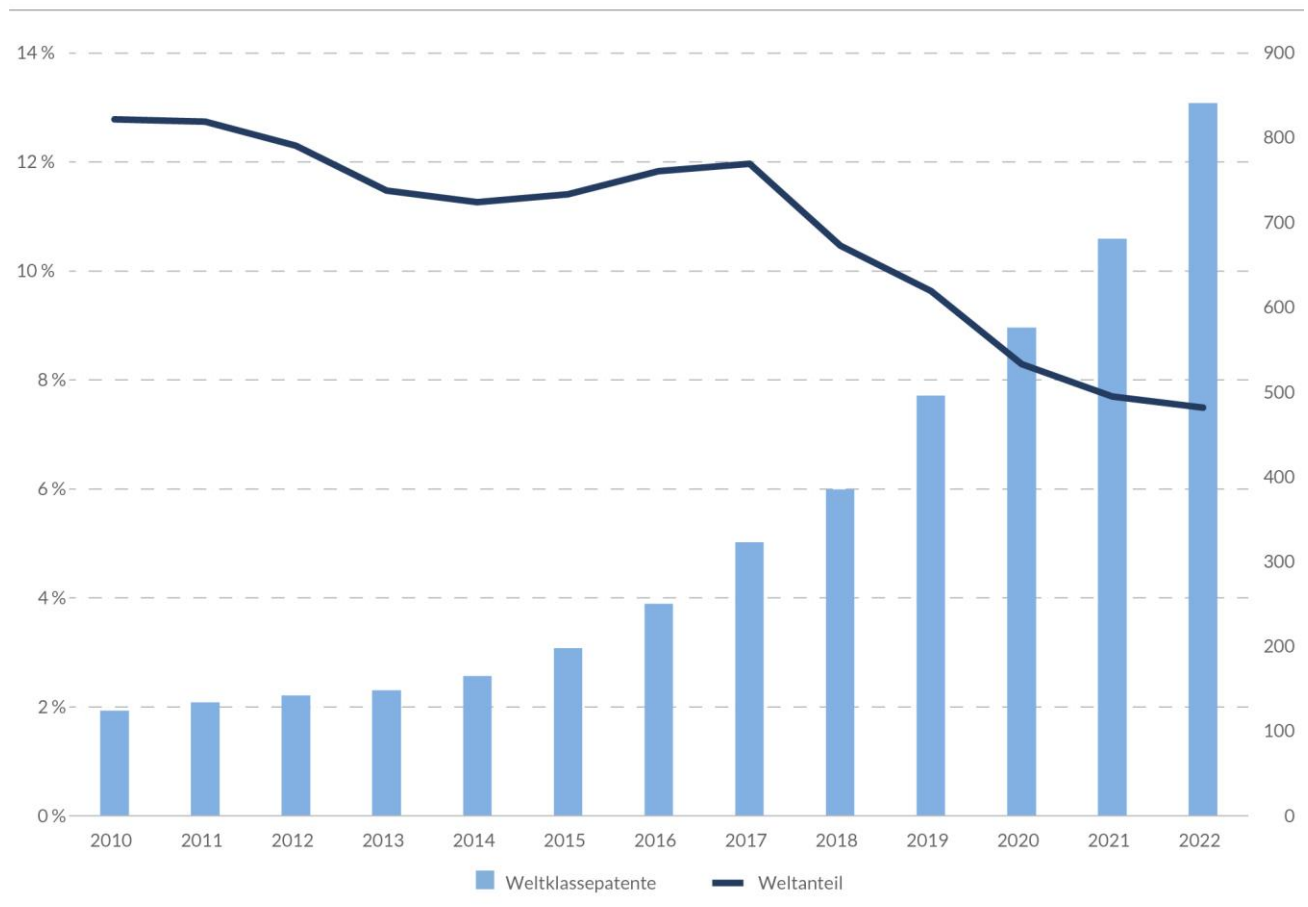
In der Kategorie „Neue Energie“ kommt fast jedes zehnte Weltklassepatent aus Deutschland. Die wichtigste Einzeltechnologie ist dabei die Windenergie, in der Deutschland einen Weltanteil von rund 16 Prozent hält. Besonders die Unternehmen General Electric, Siemens Energy (Siemens Gamesa), Enercon und Nordex verfügen über viele in Deutschland entwickelte Weltklassepatente. Seit 2017 ist der deutsche Weltanteil aber deutlich gesunken. Die Zahl der Windenergiepatente aus Deutschland ist zwar auch in den letzten Jahren weiter gestiegen, die Dynamik konnte aber nicht mit dem starken Patentwachstum in China mithalten. China hat daher Deutschland im Jahr 2022 von Platz zwei der führenden Windenergieforschungsländer verdrängt, die USA liegen weiterhin ganz vorne. In den anderen Einzeltechnologien der Kategorie „Neue Energie“ liegt der deutsche Weltanteil tiefer als in der Windenergie. Zum Beispiel liegt der Weltanteil in den verschiedenen Solartechnologien (Siliziumphotovoltaikzellen, Solarthermie, organische Zellen/Perovskitzellen) nur zwischen 5 bis 7 Prozent und bei Wärmepumpen beträgt der Anteil sogar nur 2,6 Prozent.

Die gemessen an den Patentzahlen größte Technologie-kategorie in Deutschland ist die „Neue Mobilität“ mit insgesamt knapp über 3000 Weltklassepatenten im Jahr 2022. Deutschland ist in diesem Bereich der klar prägende Forschungsakteur in der EU, daher ergibt sich das gleiche Bild wie in der EU. Bei den Einzeltechnologien autonome Straßenfahrzeuge und vernetzte Autos/Interaktion im Straßenverkehr konnte Deutschland in den letzten fünf Jahren nicht mit der globalen Dynamik mithalten. Die Zahl der Weltklassepatente aus Deutschland ist zwar stark gestiegen in diesen Technologien, doch die Weltklassepatente sind vor allem in China noch wesentlich stärker



gewachsen. Die Abbildung 18 zeigt dies exemplarisch für die Technologie autonome Straßenfahrzeuge.

ABBILDUNG 18 Deutschland: Weltklassepatente und Weltanteil in autonomen Straßenfahrzeugen



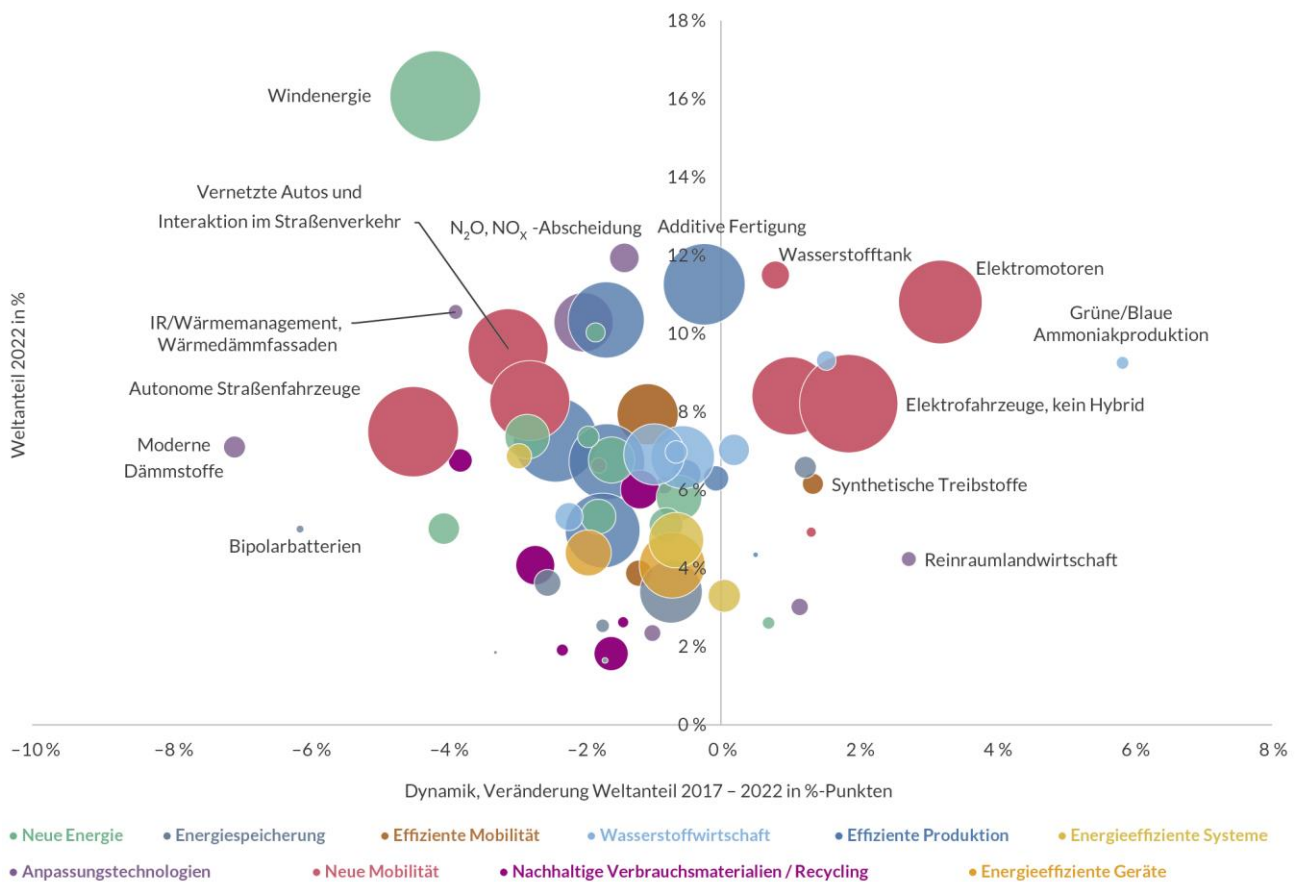
Weltanteil in % (linke Achse), Bestand an aktiven Weltklassepatenten (rechte Achse)

Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

Während Deutschland bei den Technologien vernetzte Autos/Interaktion im Straßenverkehr und autonome Straßenfahrzeuge an Boden verloren hat, hat sich die Position des deutschen Forschungsstandorts bei der Elektromobilität und den damit verbundenen Technologien Elektromotoren, Elektrofahrzeuge und Batterieladegeräte in den letzten Jahren verbessert (Abbildung 19). Insbesondere bei den Elektromotoren besitzt Deutschland mittlerweile einen hohen Weltanteil von fast 11 Prozent und konnte diesen Weltanteil seit 2017 um mehr als drei Prozentpunkte ausbauen. Volkswagen, Bosch und BMW verfügen bei den Technologien zur Elektromobilität über die meisten Weltklassepatente in Deutschland. Auch wenn hier die Entwicklung somit in die richtige Richtung geht, muss jedoch relativierend angemerkt werden, dass die Position im internationalen Forschungswettbewerb noch nicht so stark ist wie bei den traditionellen Autoantriebstechnologien. Beispielsweise lag der deutsche Weltanteil bei den Weltklassepatenten für Verbrennungsmotoren im Jahr 2022 bei fast 24 Prozent.

ABBILDUNG 19 Deutschland: Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien, 2022



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

Ein für den Industriestandort Deutschland sehr wichtiges Technologiefeld ist die „Effiziente Produktion“. Mit ca. 3000 Weltklassepatenten ist dies die zweitgrößte Oberkategorie in grünen Technologien. Auf Ebene der Einzeltechnologien ragen hier die additive Fertigung und die effiziente Metallproduktion heraus. In beiden Technologien kommt mehr als jedes zehnte Weltklassepatent aus Deutschland und bei der additiven Fertigung konnte Deutschland den Weltanteil im Zeitraum 2017 bis 2022 stabil halten. EOS und General Electric verfügen über die meisten in Deutschland entwickelten Weltklassepatente in diesen beiden Technologien. Dagegen ist die deutsche Forschungsposition bei der wichtigen Technologie vernetzte Produktion/Smart Factory ausbaufähig (Weltanteil von nur 5 Prozent).

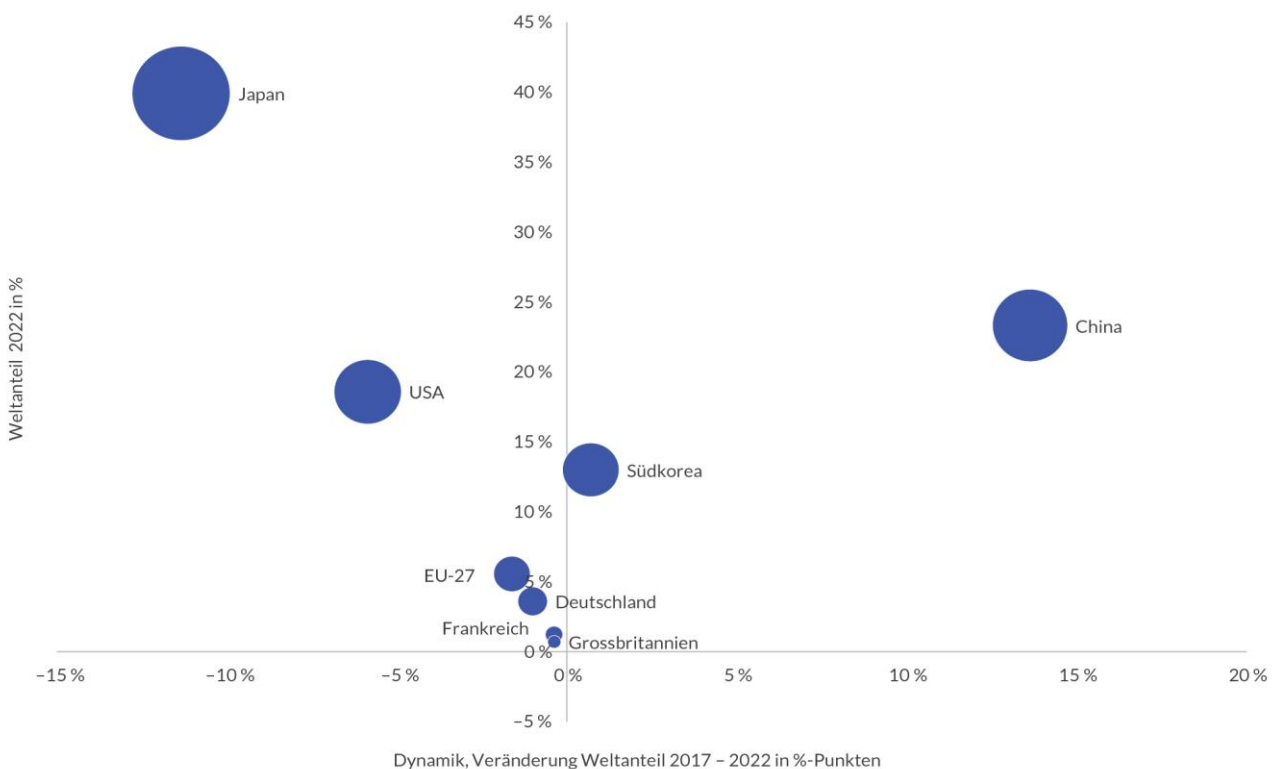
Eine spannende Technologiecategory sind auch „Anpassungstechnologien an den Klimawandel“. Hier verfügt Deutschland zwar über einen recht hohen Weltanteil von 7,7 Prozent an den globalen Weltklassepatenten, doch gleichzeitig hat sich dieser Anteil in den letzten Jahren deutlich reduziert. Auf Ebene der Einzeltechnologien war beispielsweise Deutschland im Jahr 2010 noch der wichtigste Forschungsstandort weltweit in den Technologie IR/Wärmemanagement/Wärmedämmfassaden. Seitdem ist der Weltanteil in dieser Technologie jedoch von über 60 Prozent auf nur noch 10,6 Prozent gesunken. Allerdings sind die Patentzahlen in dieser Technologie weltweit insgesamt klein. Die größte Einzeltechnologie in der Kategorie „Anpassungstechnologien an den Klimawandel“ ist die Forstwirtschaft mit 359 Weltklassepatenten

aus Deutschland im Jahr 2022. Die Claas KGaA und der US-Landwirtschaftstechnikkonzern Deere sind die Top-Forschungsplayer in der Forstwirtschaft in Deutschland.

Zudem ist die deutsche Autoindustrie bei einem wichtigen Teil der Wertschöpfungskette von Elektroautos, der „Energiespeicherung“, nur vergleichsweise schwach aufgestellt. Der Weltanteil in dieser Kategorie liegt bei lediglich 3,6 Prozent (Abbildung 20). Japan (z. B. Toyota, Panasonic) und China (z. B. CATL) sind die weltweit führenden Länder in der Spitzenforschung in Energiespeichertechnologien. Der geringe Anteil Deutschlands bzw. der EU an den Weltklassepatenten in Energiespeichertechnologien ist problematisch, da das Batteriesystem innerhalb des Antriebsstrangs eines Elektroautos für 57 Prozent der Wertschöpfung verantwortlich ist.<sup>24</sup>

Sowohl bei den derzeit dominierenden Lithiumbatterien als auch bei den meisten potenziellen Batterietypen der nächsten Generation verfügt Deutschland nur über geringe Weltanteile (jeweils unter 5 Prozent). Eine positive Ausnahme sind die Redox-Flow-Batterien, welche z. B. als stationäre Energiespeicher zum Einsatz kommen. Bei diesen Batterien erreichte Deutschland 2022 einen deutlich höheren Weltanteil von 6,6 Prozent und konnte diesen Anteil sogar ausbauen seit 2017. Allerdings sind Redox-Flow-Batterien noch nur eine Nischentechnologie.

ABBILDUNG 20 Forschungsposition der wichtigsten Länder in Energiespeichertechnologien



Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

<sup>24</sup> e-mobil BW 2023.

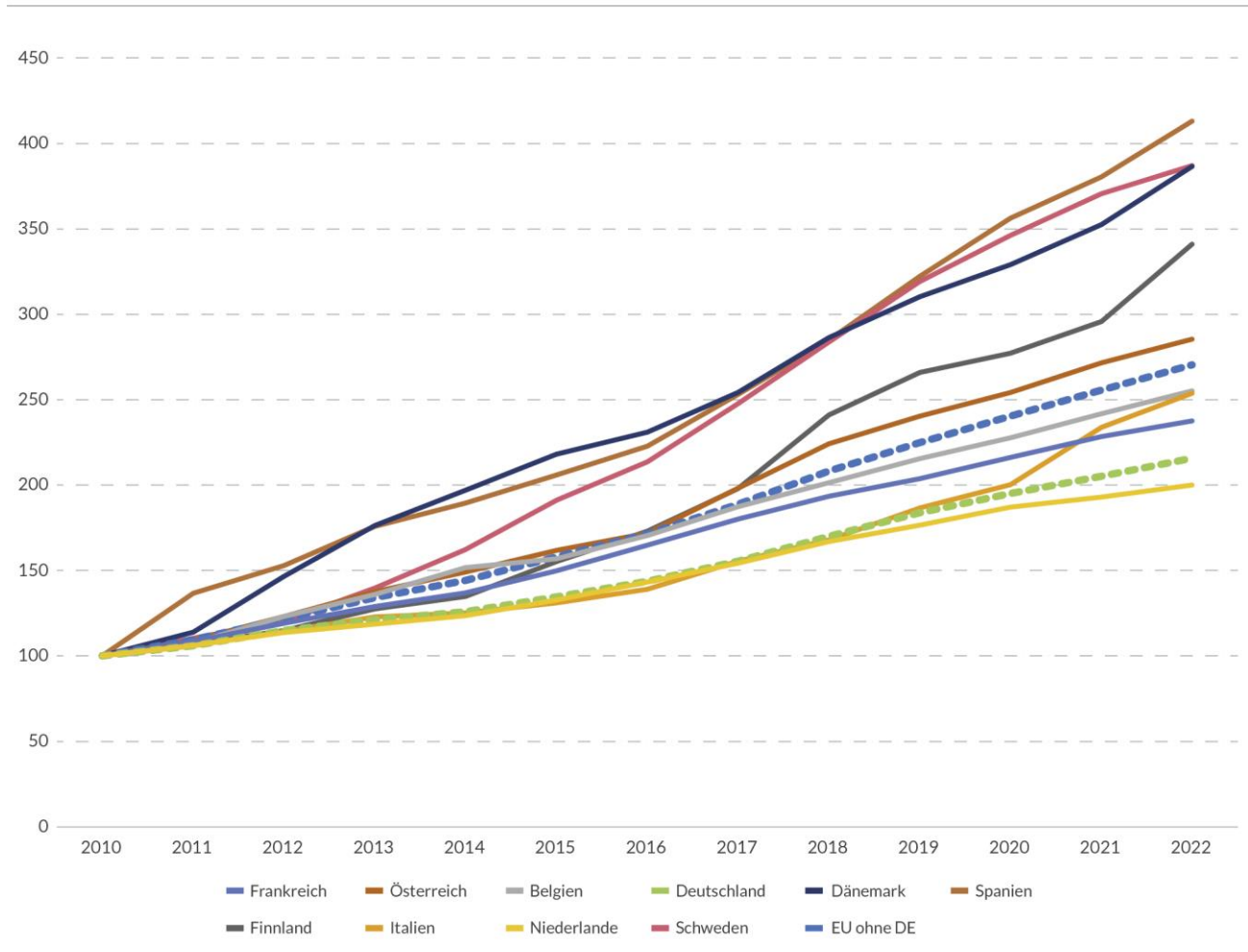
Auf Unternehmensebene fällt auf, dass es ähnlich wie in Japan einige technologisch breit aufgestellte Unternehmen wie Siemens, Bosch oder Volkswagen gibt, welche in vielen grünen Technologien Spitzenforschung betreiben. Dies ist ein Vorteil hinsichtlich der hohen Komplexität bei der Umstellung von zentralen auf dezentrale Energiesysteme.

## 4.2 Vergleich mit anderen EU-Ländern

Insgesamt ist die Zahl der Weltklassepatente in grünen Technologien in der EU-27 im Zeitraum 2010 bis 2022 von rund 8000 auf etwa 19.000 gestiegen. In Deutschland ist dabei im gleichen Zeitraum die Zahl der Weltklassepatente von knapp 4600 auf knapp 10.000 gewachsen. Damit ist der deutsche Anteil an den gesamten Weltklassepatenten aus der EU von 57 auf 52 Prozent gesunken. Frankreich lag 2022 mit rund 3000 Weltklassepatenten auf Platz zwei der EU-Länder, gefolgt von den Niederlanden auf Platz drei mit rund 1600 Weltklassepatenten.

Betrachtet man die Entwicklung der Weltklassepatente in den wichtigsten EU-Ländern, zeigt sich, dass insbesondere Spanien sowie die skandinavischen Länder eine sehr hohe Forschungsdynamik seit 2010 erreichen konnten (Abbildung 21). In Spanien haben sich die Weltklassepatente seit 2010 vervierfacht (von rund 150 auf über 630) und auch Schweden und Dänemark konnten ähnlich hohe Wachstumsraten erzielen. Deutschland stellt in Sachen Dynamik dagegen eines der Schlusslichter im EU-Vergleich dar (Wachstum von 116 Prozent seit 2010 gegenüber einem durchschnittlichen Wachstum von 170 Prozent in den restlichen EU-Ländern). Unter den größeren EU-Ländern war nur in den Niederlanden seit 2010 eine geringere Dynamik als in Deutschland zu verzeichnen (Wachstum von 100 Prozent).

ABBILDUNG 21 Entwicklung Weltklassepatente in ausgewählten EU-Ländern, indiziert (2010 = 100)



Weltklassepatente in grünen Technologien, indiziert (2010 = 100)  
Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

### 4.3 Vergleich Forschungsaktivitäten in Deutschland gegenüber weltweiten Forschungsaktivitäten deutscher Unternehmen

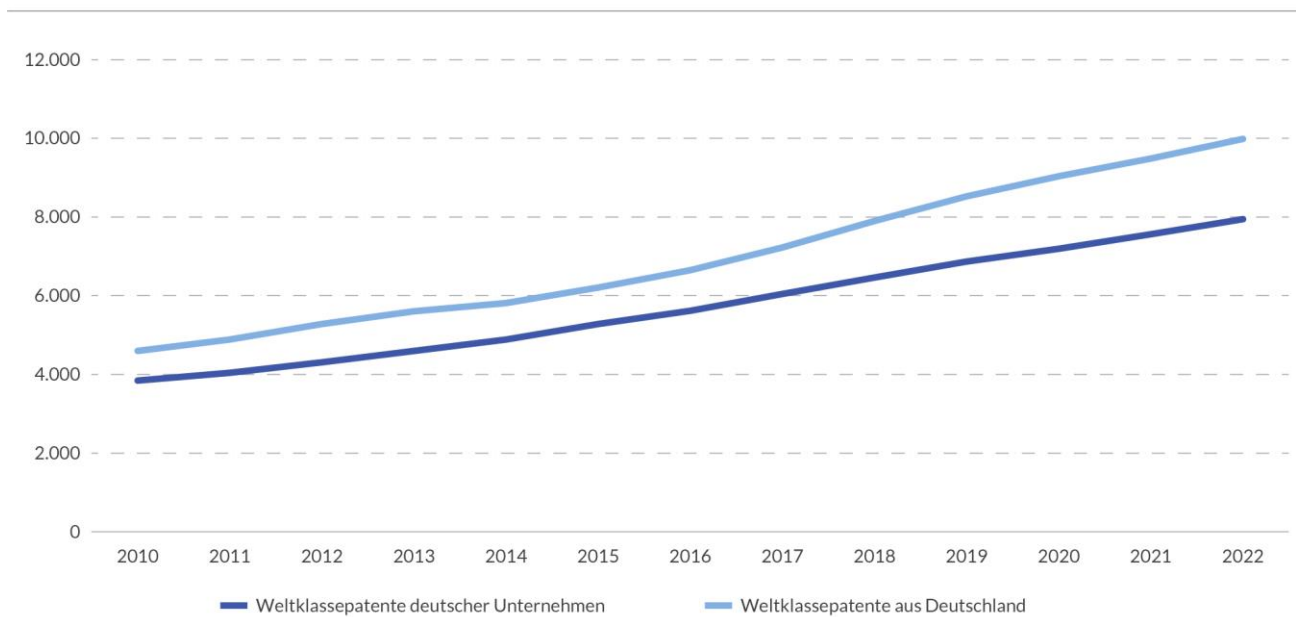
Die bisher dargestellten Patentanalysen basieren auf der regionalen Zuteilung der Patente nach dem Kriterium Erfinderwohnsitz (vgl. Kapitel 6 Methodik), d. h. ein Patent wird einem Land zugeordnet, wenn mindestens ein am Patent beteiligter Forscher seinen Wohnsitz in dem entsprechenden Land hat. Damit wird gezeigt, wo die Forschungsleistung effektiv stattgefunden hat. Diese Perspektive sagt hingegen nichts darüber aus, wem die technologischen Schutzrechte wirtschaftlich gehören.

In diesem Teilkapitel werden daher zusätzlich die Forschungsaktivitäten deutscher Unternehmen an den verschiedensten internationalen Forschungsstandorten konsolidiert und dem Unternehmenssitz (Hauptquartier) zugeordnet („Ultimate Owner“- bzw. „Ultimate Country“-Prinzip). Damit wird zusätzlich zur Frage, wo die Forschungsleistung erbracht worden ist, dargestellt, wem die Forschungsleistung „gehört“.

Insgesamt gab es 2022 knapp 8000 Weltklassepatente in grünen Technologien, die Unternehmen bzw. Forschungsinstitutionen/Hochschulen aus Deutschland zugerechnet sind. Hierbei ist zu erwähnen, dass nicht alle Weltklassepatente weltweit einem „Ultimate Owner“ bzw. „Ultimate Country“ zugeteilt werden können. Es gibt zwar zu jeder Patentanmeldung Informationen zur Erfinder- und Anmeldenderadresse, doch nicht immer ist der Anmelder auch der Besitzer des Patents. Gerade bei Patentanmeldungen von kleineren Unternehmen sind die Informationen zu den Besitzverhältnissen nicht immer verfügbar. Insgesamt gab es weltweit im Jahr 2022 rund 100.000 Weltklassepatente, die einem „Ultimate Owner“ und „Ultimate Country“ zugeteilt sind, somit sind etwa zwei Drittel aller globalen Weltklassepatente nach der Methode des „Ultimate Owner“ einem Land zuteilbar.

Die Abbildung 22 zeigt die Entwicklung der Weltklassepatente deutscher Unternehmen in grünen Technologien gegenüber allen in Deutschland entwickelten Weltklassepatenten seit 2010. Es zeigt sich, dass die Zahl der Weltklassepatente aus Deutschland etwas stärker gestiegen ist, insgesamt verläuft der Trend jedoch ähnlich. Dies ist ein Indiz dafür, dass der Forschungsstandort Deutschland weiterhin attraktiv ist für Unternehmen.

ABBILDUNG 22 Weltklassepatente deutscher Unternehmen vs. Weltklassepatente aus Deutschland



Bestand an aktiven Weltklassepatenten in grünen Technologien pro Jahr  
Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

Tatsächlich ist der Anteil der Weltklassepatente von deutschen Unternehmen, bei denen Forschende mit einer deutschen Adresse beteiligt sind, seit 2010 von 65 auf 68 Prozent leicht gestiegen. Über alle Unternehmen hinweg betrachtet scheint es somit keinen Trend zur Verlagerung von Forschungsaktivitäten ins Ausland gegeben zu haben bzw. Verlagerungen wurden durch neue Aktivitäten im Inland mehr als kompensiert.

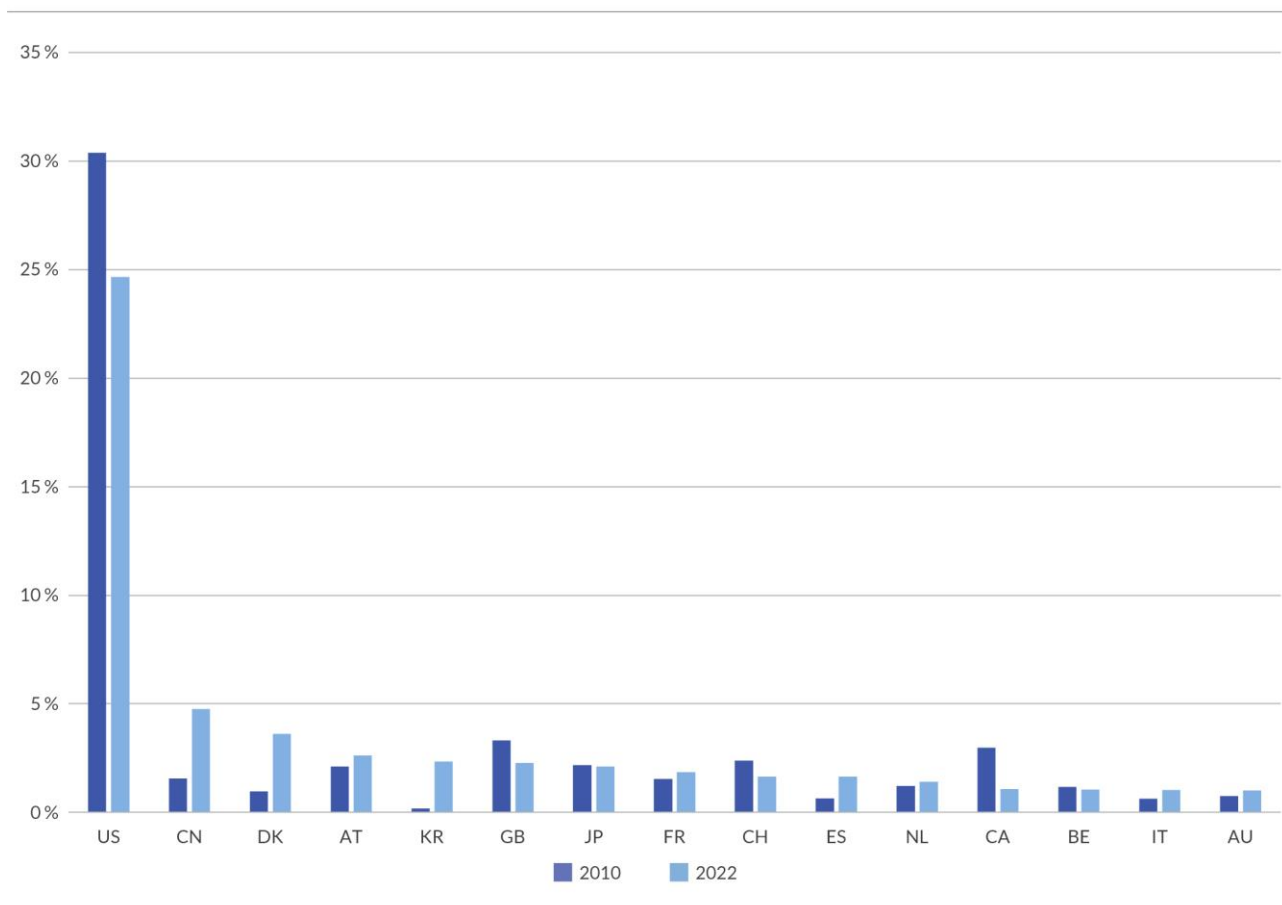
### Wichtigste ausländische Forschungsstandorte deutscher Unternehmen

Es hat jedoch gewisse Verschiebungen bei den regionalen Schwerpunkten der Forschungsaktivitäten von deutschen Unternehmen im Ausland gegeben. Wie die Abbildung 23

zeigt, sind die USA immer noch der bei Weitem wichtigste Standort für Forschungsaktivitäten in grünen Technologien von deutschen Unternehmen im Ausland. Bei fast jedem vierten Weltklassepatent von deutschen Unternehmen sind in den USA beheimatete Forschende involviert.<sup>25</sup> Dieser Anteil ist höher als die Summe aller derartiger Forschungs Kooperationen mit anderen EU-Ländern. Hiermit besteht somit noch Verbesserungspotenzial für eine intensivere Forschungszusammenarbeit in grünen Technologien innerhalb der EU.

Siemens und BASF sind die beiden deutschen Unternehmen mit den meisten in den USA (mit)entwickelten Weltklassepatenten in grünen Technologien (jeweils mehr als 300). Allerdings ist der US-Anteil seit 2010 um rund fünf Prozentpunkte gesunken. An Bedeutung gewonnen als Forschungsstandorte für deutsche Unternehmen haben dagegen vor allem China, Dänemark, Südkorea und Spanien.

ABBILDUNG 23 Top 15 der Forschungsstandorte deutscher Unternehmen im Ausland



Anteil Länder an Weltklassepatenten deutscher Unternehmen in grünen Technologien in %  
Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

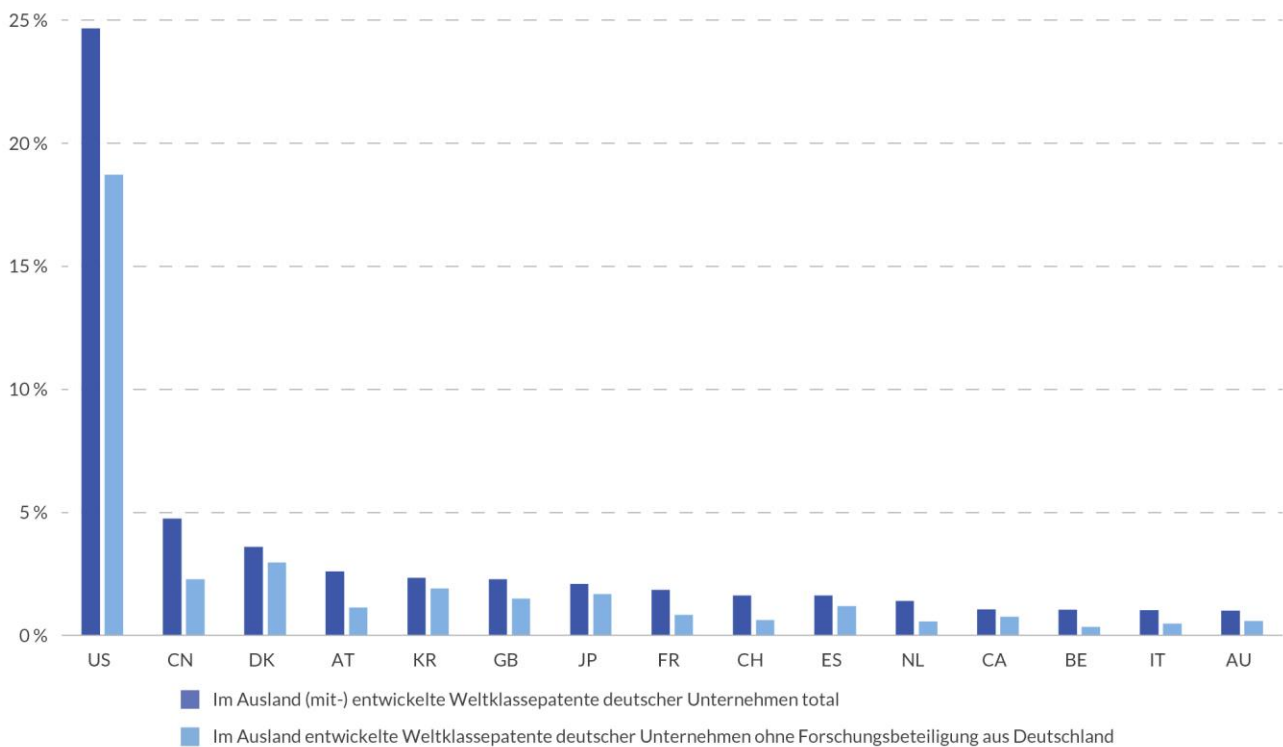
Bemerkenswert ist auch, dass die USA als Forschungsstandort vor allem in der Spitzenforschung für die deutschen Unternehmen von sehr hoher Bedeutung sind. Betrachtet man nicht die

<sup>25</sup> Dies beinhaltet Weltklassepatente, an denen nur Forschende am US-Forschungsstandort eines deutschen Unternehmens beteiligt sind, als auch Patente, an denen sowohl US-Forschende als auch Forschende von deutschen Standorten beteiligt sind.

Weltklassepatente, sondern alle Patente, liegt der US-Anteil an allen Patenten deutscher Unternehmen nicht bei 25 Prozent, sondern nur bei etwa 10 Prozent.

Beschränkt man sich bei der Analyse nur auf Weltklassepatente, die von deutschen Unternehmen im Ausland ohne Beteiligung von Forschenden mit deutscher Adresse entwickelt wurden, liegen die USA mit einem Anteil von fast 19 Prozent ebenfalls weit an der Spitze aller ausländischen Standorte (Abbildung 24). Auffällig bei dieser Analyse ist, dass die Bedeutung Chinas mit einem Anteil von 2,3 Prozent weniger als halb so hoch ist wie bei der Analyse aller Weltklassepatente deutscher Unternehmen im Ausland. Eine mögliche Rolle hierbei spielt die Bedeutung von Joint Ventures von deutschen und chinesischen Unternehmen bei Forschungsaktivitäten in China.<sup>26</sup> Hierdurch sind häufig sowohl Forschende aus Deutschland als auch Forschende in China an der Entwicklung von Weltklassepatenten beteiligt.

ABBILDUNG 24 Top 15 der Forschungsstandorte deutscher Unternehmen im Ausland 2022 (Vergleich alle Weltklassepatente vs. Weltklassepatente ohne deutsche Beteiligung)



Anteil Länder an Weltklassepatenten deutscher Unternehmen in grünen Technologien in %  
Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

## Grünes Technologieprofil deutscher Unternehmen (Ultimate Country Perspektive)

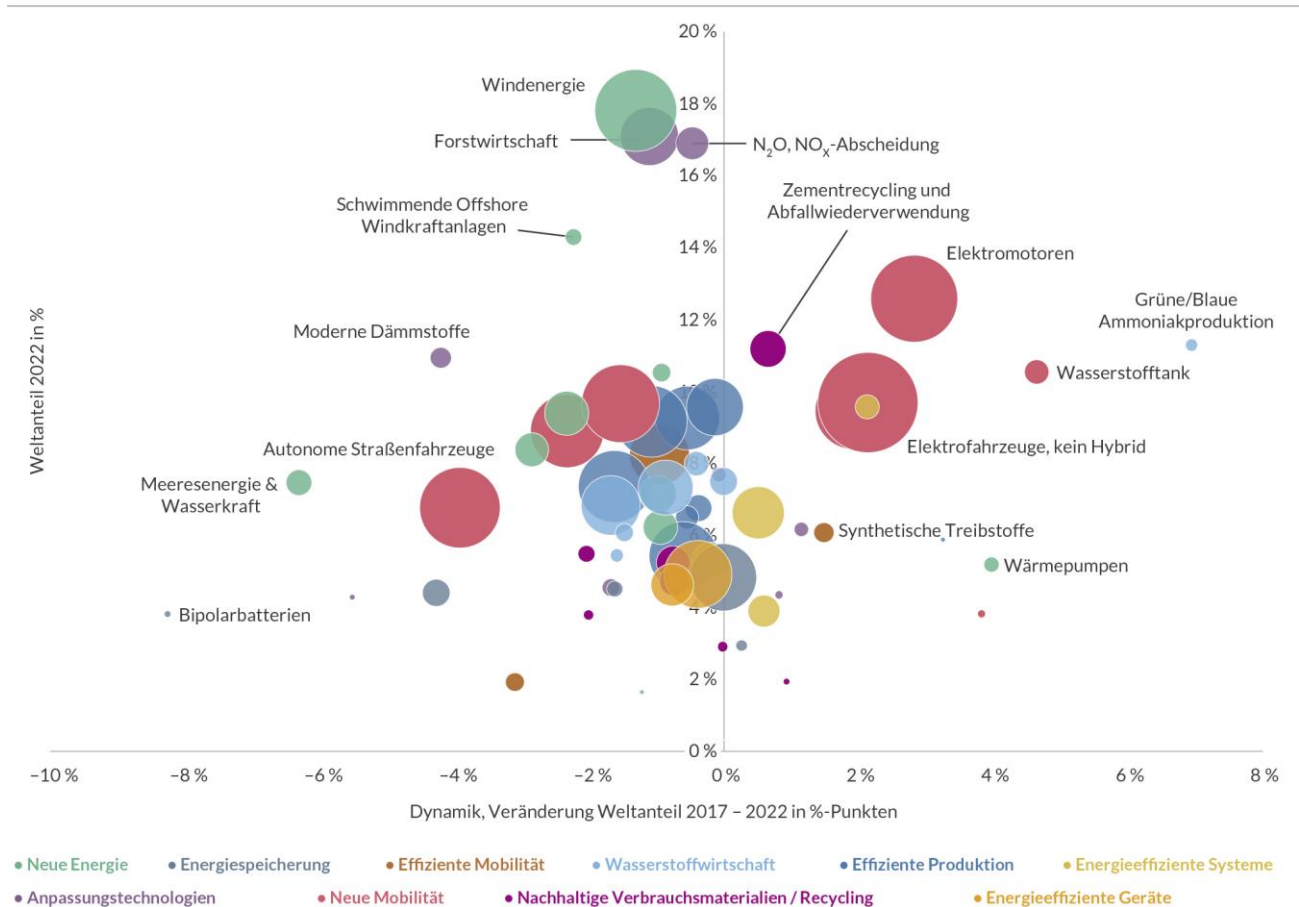
Analog zu den vorherigen Kapiteln können die internationalen Forschungsaktivitäten der Unternehmen aus Deutschland auch in Form von Technologieprofilen dargestellt werden, um

<sup>26</sup> Clingendael 2022.



Unterschiede zwischen der Erfinderwohnsitz- und der „Ultimate Country“-Perspektive in den einzelnen Technologien ermitteln zu können (Abbildung 25).

ABBILDUNG 25 Technologieprofil in grünen Einzeltechnologien (Ultimate Country Perspektive)



| BertelsmannStiftung

Grundsätzlich sieht das Technologieprofil der deutschen Unternehmen sehr ähnlich aus wie das Technologieprofil aller Weltklassepatente aus Deutschland. Es gibt jedoch auch nennenswerte Unterschiede in einigen Technologien. Auffällig ist, dass der Weltanteil der deutschen Unternehmen und Hochschulen an den globalen Weltklassepatenten vor allem in der Kategorie „Anpassungstechnologien an den Klimawandel“, wie etwa der Forstwirtschaft, der N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>-Abscheidung und den modernen Dämmstoffen, deutlich höher liegt. Dies bedeutet, dass deutsche Forschungsakteure einen wichtigen Teil ihrer Forschungsaktivitäten in diesen Technologien im Ausland ausüben. Das gleiche Ergebnis ergibt sich auch bei den Technologien Zementrecycling/Abfallwiederverwendung, Wasseraufbereitung und Offshore-Windkraftanlagen. Grundsätzlich kann ein größerer Anteil des Weltanteils deutscher Unternehmen/Hochschulen in einer Technologie gegenüber dem Weltanteil aller Weltklassepatente aus Deutschland ein Hinweis dafür sein, dass die Forschungsbedingungen in dieser Technologie im Ausland attraktiver sind.

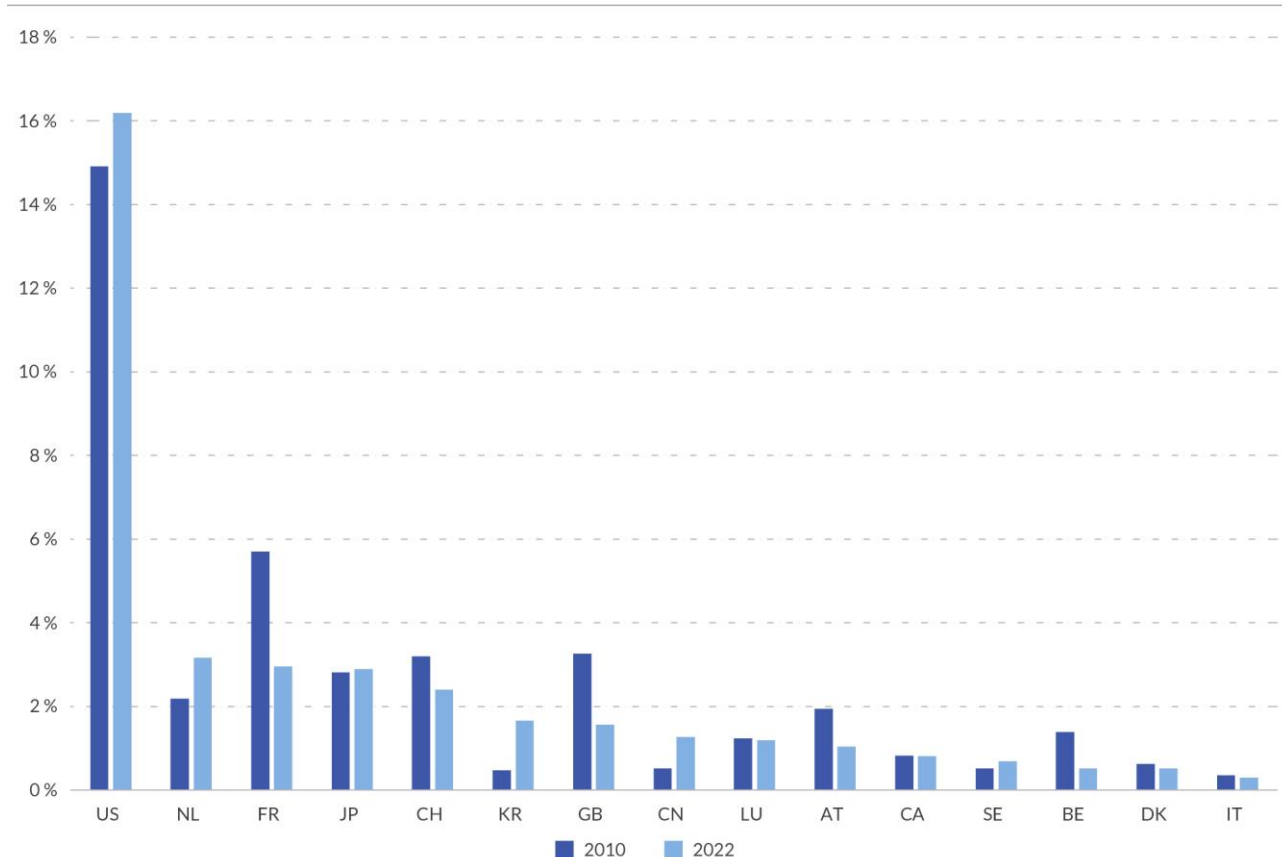
Im Gegensatz liegt der Weltanteil deutscher Unternehmen bei den Technologien Fleischalternativen und grüne/blau Methanolproduktion um mehrere Prozentpunkte tiefer, als wenn alle Weltklassepatente aus Deutschland gezählt werden. Dies bedeutet, dass in diesen Technologien ausländische Forschungsaktivitäten in Deutschland eine wichtige Rolle spielen. Der

deutsche Forschungsstandort scheint in diesen Technologien somit über eine hohe Attraktivität zu verfügen. In beiden Technologien ist die Gesamtzahl der Weltklassepatente allerdings noch relativ klein (grüne/blau Methanolproduktion: 16 Weltklassepatente deutscher Unternehmen/Hochschulen gegenüber 39 Weltklassepatenten aus Deutschland im Jahr 2022, Fleischalternativen: vier Weltklassepatente deutscher Unternehmen/Hochschulen gegenüber 23 Weltklassepatenten aus Deutschland im Jahr 2022).

### Ausländische Forschungsaktivitäten in Deutschland nach Herkunftsland

Die Analyse der in Deutschland entwickelten Weltklassepatente auf Grundlage der Herkunftsländer der Unternehmen zeigt, dass vor allem US-Unternehmen Spitzenforschungsaktivitäten in grünen Technologien in Deutschland ausüben (Abbildung 26). Der Anteil von US-Firmen an allen in Deutschland entwickelten Weltklassepatenten lag 2022 bei über 16 Prozent und damit rund einen Prozentpunkt höher als im Jahr 2010. General Electric (GE) und John Deere sind zwei US-Unternehmen, welche über große Patentportfolios in Deutschland verfügen. Die Niederlande, Frankreich und Japan folgen auf den nächsten Plätzen im Herkunftsländerranking mit einem Anteil von jeweils rund 3 Prozent.

ABBILDUNG 26 Herkunftsländer ausländischer Unternehmen mit in Deutschland entwickelten Weltklassepatenten



Anteil Länder an Weltklassepatenten deutscher Unternehmen in grünen Technologien in %  
Quelle: EconSight, 2023.

## 4.4 Verteilung der Green-Tech-Weltklassepatente nach Branchen

Die bisherige Analyse wertete die Forschungsaktivitäten der Unternehmen auf Technologieebene aus. Eine alternative Analyseperspektive ist die Auswertung der Green-Tech-Forschungsaktivitäten auf Grundlage der Branchenstruktur. Hierfür wurden die gemessen an den Weltklassepatenten 250 besten Green-Tech-Unternehmen in Deutschland Wirtschaftsbranchen zugeordnet. Damit konnten für das Jahr 2022 rund 8000 Weltklassepatente den Branchen zugewiesen werden, dies entspricht rund 80 Prozent aller Green-Tech-Weltklassepatente aus Deutschland (Abbildung 27).

Diese Sichtweise zeigt, dass sehr viele Green-Tech-Weltklassepatente von Unternehmen aus der Elektroindustrie entwickelt werden. Ganz vorne liegt hier Siemens mit über 500 Weltklassepatenten. Siemens verfügt vor allem in den beiden Bereichen „Neue Mobilität“ (Eisenbahntechnologien) sowie „Effiziente Produktion“ (Smart Factory) über zahlreiche Weltklassepatente.

Zudem nehmen die Automobilhersteller und -zulieferer auch in grünen Technologien ihre Rolle als Technologieführer in Deutschland ein. In beiden Branchen gibt es jeweils mehr als 1200 Green-Tech-Weltklassepatente. Das führende Forschungsunternehmen ist Bosch mit über 700 Green-Tech-Weltklassepatenten. Kein anderes Unternehmen verfügt über mehr Green-Tech-Weltklassepatente in Deutschland. Bosch forscht insbesondere im Bereich „Neue Mobilität“ an Elektromotoren und Batterien, besitzt aber auch zahlreiche Weltklassepatente im Bereich „Wasserstoffwirtschaft“.<sup>27</sup>

Auch die Chemiebranche ist sehr wichtig für die Green-Tech-Forschung in Deutschland mit ebenfalls über 1200 Weltklassepatenten im Jahr 2022. BASF (525 Weltklassepatente) sowie Evonik (215 Weltklassepatente) gehören beide zu den Top-10-Forschungsunternehmen in Deutschland in grünen Technologien.

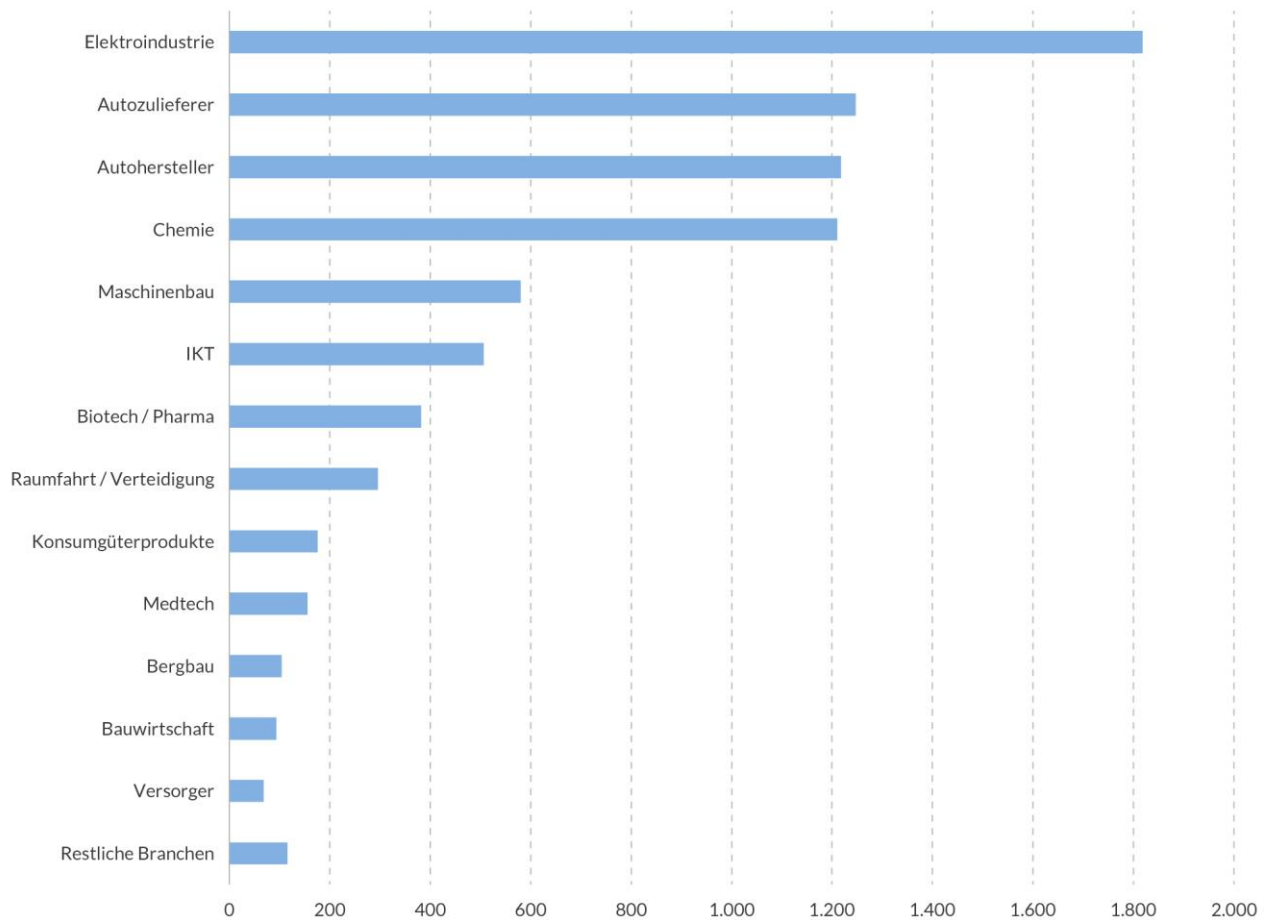
Die Branchen Maschinenbau (580 Weltklassepatente) und IKT (507 Weltklassepatente) folgen auf den weiteren Plätzen im Branchenranking. Auf den ersten Blick überrascht die hohe Zahl an Green-Tech-Weltklassepatenten in der Branche Biotech/Pharma (382 Weltklassepatente). Hierfür ist vor allem das Unternehmen Merck KGaA verantwortlich mit über 250 Weltklassepatenten. Das Unternehmen hat neben dem Fokus auf Life Sciences auch Forschungsaktivitäten in verschiedenen Green-Tech-Bereichen wie z. B. umweltfreundliche Lösungsmittel, effiziente OLEDs, Fleischersatz oder Materialien für Solarmodule.<sup>28</sup>

---

<sup>27</sup> Roland Berger 2021.

<sup>28</sup> <https://www.merckgroup.com/de/sustainability/products-and-innovation/products.html>.

ABBILDUNG 27 Green Tech-Weltklassepatente nach Branchen in Deutschland im Jahr 2022



Branchenzuteilung basierend auf eigenen Berechnungen, gemäß primärem Geschäftszweck  
Quelle: EconSight, 2023.

| BertelsmannStiftung

Insgesamt zeigt die Auswertung der Green-Tech-Weltklassepatente nach Branchen, dass die Unternehmen der klassischen deutschen Schlüsselindustrien wie Automobilindustrie, Elektroindustrie und Chemie auch in grünen Technologien die wichtigsten Technologieführer in Deutschland sind. Zugleich fällt auf, dass die Bedeutung der IKT-Industrie hinsichtlich der Zahl der Weltklassepatente nicht allzu hoch ist. In anderen Ländern wie etwa den USA spielen Unternehmen aus dem IKT-Segment eine wichtigere Rolle in Bezug auf die Spitzenforschung im Green-Tech-Bereich. Die fehlenden Impulse der IKT-Unternehmen in Deutschland sind daher eine Erklärung, warum Deutschland gerade in Technologien mit einem hohen Digitalisierungsgrad, wie z. B. autonome Fahrzeuge oder vernetzte Produktion/Smart Factory, nicht allzu stark abschneidet im internationalen Vergleich.

### Verteilung der grünen Oberkategorien nach Branchen

Die Abbildung 28 zeigt zusätzlich zur Aufteilung der Weltklassepatente nach Branchen auch die zugehörige Green-Tech-Oberkategorie. Die wichtigsten Forschungsfirmen der Elektroindustrie wie Siemens und GE sind vor allem in den Bereichen „Neue Energie“ und „Effiziente Produktion“ tätig. Die Automobilhersteller und -zulieferer besitzen erwartungsgemäß vor allem im Bereich „Neue Mobilität“ viele Weltklassepatente. Die Forschungsaktivitäten der Chemieunternehmen in

Deutschland sind relevant für eine Vielzahl an Green-Tech-Oberkategorien. Neben dem Bereich „Effiziente Produktion“ verfügen Chemieunternehmen wie BASF auch über zahlreiche Weltklassepatente in den Bereichen „Neue Energie“, „Wasserstoffwirtschaft“, „Anpassungstechnologien an den Klimawandel“ und „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“.

ABBILDUNG 28 Green Tech-Weltklassepatente aufgeteilt nach Branchen und Oberkategorien in Deutschland im Jahr 2022



Branchenzuteilung basierend auf eigenen Berechnungen, gemäß primärem Geschäftszweck  
Quelle: EconSight, 2023.

## 5 Fazit

### Technologischer Fortschritt ist zentral für das Erreichen der Klimaziele

Für das Erreichen der langfristigen Klimaziele spielen Innovationen eine zentrale Rolle. Der technische Fortschritt und neue Entwicklungen in grünen Technologien können nicht allein für die

Rettung des Klimas sorgen. Aber mit technischem Fortschritt werden die Anpassung einfacher und das Gelingen wahrscheinlicher.

### **Hohe Forschungsdynamik weltweit**

Ein positives Ergebnis der vorliegenden Studie ist, dass die Forschungsdynamik in grünen Technologien weltweit sehr hoch ist. Die Zahl der globalen Green-Tech-Weltklassepatente hat sich zwischen 2010 und 2022 verdreifacht, damit verläuft die Entwicklung deutlich dynamischer als im Durchschnitt der restlichen Technologiebereiche. Diese hohe Dynamik ist auch dringend erforderlich, da für das Gelingen der Klimawende mittel- und langfristig zahlreiche Technologien nötig sind, die sich derzeit noch in der Prototypenphase befinden.

### **Hohe Forschungsaktivität in den Kategorien „Neue Energie“ und „Neue Mobilität“**

Innerhalb der zehn untersuchten grünen Oberkategorien sind „Effiziente Produktion“ und „Neue Mobilität“ gemessen an den Weltklassepatenten die größten Oberkategorien. Ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt in „Effiziente Produktion“ ist die zunehmende Vernetzung der Produktionsprozesse, während in „Neue Mobilität“ vor allem der Wandel zur Elektromobilität sowie die zunehmende Digitalisierung (Stichwort autonomes Fahren) die Forschungsaktivitäten ankurbeln.

### **Höhere Forschungsdynamik in der Kategorie „Neue Energie“ ist nötig**

Die für das Erreichen der Klimaziele wichtigste Kategorie ist jedoch der Bereich „Neue Energie“. Ein weiterer Ausbau der erneuerbaren Energien, vor allem von Wind- und Solarenergie, ist die Voraussetzung dafür, dass die weltweiten klimaschädlichen Emissionen in den kommenden Jahren in ausreichendem Masse gesenkt werden können. Gerade der Ausbau der Windenergie erfolgt jedoch derzeit zu langsam. Die gegenwärtigen Probleme zahlreicher Unternehmen beim Ausbau der Offshore-Windfarmen (z. B. hohe Installationskosten sowie hoher Wartungsbedarf) zeigen, dass es weiterhin großen Bedarf nach Innovationen gibt. Es ist daher ein Warnsignal, dass sich die Forschungsdynamik im Bereich „Neue Energie“ nach einer sehr schwungvollen Entwicklung zu Beginn der 2010er Jahre seitdem verlangsamt hat.

### **Die USA sind ganz vorne bei den Weltklassepatenten, aber China holt rasant auf**

Im globalen Vergleich sind die USA der weltweit führende Spitzenforschungsstandort in grünen Technologien. Jedes dritte weltweit entwickelte Weltklassepatent stammt aus den USA. USA liegen in den Kategorien „Neue Energie“, „Neue Mobilität“, „Effiziente Mobilität“, „Energieeffiziente Systeme“, „Energieeffiziente Geräte“, „Anpassungstechnologien an den Klimawandel“ und „Effiziente Produktion“ an der Spitze.

Der wichtigste Wachstumsmotor weltweit ist aber China. Das Land konnte seine Weltklassepatente in grünen Technologien allein in den letzten fünf Jahren mehr als verdreifachen (von 11.000 auf 37.000) und liegt damit insgesamt weltweit auf Platz zwei. China ist mittlerweile in fast allen grünen Oberkategorien einer der Top-3-Forschungsstandorte weltweit. In der Kategorie „Nachhaltige Verbrauchsmaterialien/Recycling“ liegt China sogar bereits auf Platz eins.

Japan belegt Platz drei bei den Green-Tech-Weltklassepatenten und ist der weltweit führende Forschungsstandort in den Kategorien „Energiespeicherung“ und „Wasserstoffwirtschaft“.

Die EU folgt auf Rang vier. Sie spielt vor allem in den Kategorien „Neue Energie“ und „Effiziente Mobilität“ eine wichtige Rolle im globalen Forschungswettbewerb.

### **Deutschland ist der Top-Forschungsstandort für grüne Technologien in der EU**

Deutschland ist in der EU mit Abstand das wichtigste Forschungsland in grünen Technologien. Im Jahr 2022 gab es in Deutschland knapp 10.000 Weltklassepatente, damit lag der Anteil Deutschlands an allen Weltklassepatenten aus der EU bei über 50 Prozent. Deutschlands Anteil an allen globalen grünen Weltklassepatenten betrug 2022 knapp 7 Prozent.

Das deutsche Technologieprofil zeigt, dass Deutschland vor allem in den Bereichen „Neue Mobilität“, „Effiziente Produktion“ sowie „Neue Energie“ über viele Weltklassepatente und einen hohen Weltanteil verfügt.

In der Kategorie „Neue Energie“ kommt fast jedes zehnte Weltklassepatent aus Deutschland. Die wichtigste Einzeltechnologie ist dabei die Windenergie, in der Deutschland einen Weltanteil von rund 16 Prozent hält.

Ein für den Industriestandort Deutschland sehr wichtiges Technologiefeld ist die „Effiziente Produktion“. Bei den Einzeltechnologien ragen hier die materialsparende additive Fertigung (3D-Druck) und die energieeffiziente Metallproduktion heraus. In beiden Technologien kommt mehr als jedes zehnte Weltklassepatent aus Deutschland. Dagegen ist die deutsche Forschungsposition bei der wichtigen Technologie vernetzte Produktion/Smart Factory ausbaufähig (Weltanteil von nur 5 Prozent).

### **Deutschland holt bei der Elektromobilität auf, hat aber Verbesserungsbedarf beim autonomen Fahren sowie bei Energiespeichertechnologien**

Die größte Technologiekategorie in Deutschland ist „Neue Mobilität“ mit insgesamt knapp über 3000 Weltklassepatenten im Jahr 2022. Bei den Einzeltechnologien autonome Straßenfahrzeuge und vernetzte Autos/Interaktion im Straßenverkehr konnte Deutschland in den letzten fünf Jahren nicht mit der globalen Dynamik mithalten. Die Position des deutschen Forschungsstandorts bei der Elektromobilität hat sich in den letzten Jahren dagegen verbessert. Insbesondere bei den Elektromotoren besitzt Deutschland mittlerweile einen hohen Weltanteil von fast 11 Prozent und konnte diesen Weltanteil seit 2017 um mehr als drei Prozentpunkte ausbauen.

Weniger gut ist die Forschungsposition Deutschlands und auch der EU insgesamt in der Kategorie „Energiespeicherung“, einem wichtigen Teil der Wertschöpfungskette von Elektroautos. Der deutsche Weltanteil an den globalen Energiespeichertechnologien liegt bei lediglich 3,6 Prozent und der EU-Anteil liegt mit knapp über 5 Prozent nur wenig höher. Japan, China, USA und Südkorea liegen allesamt klar vor der EU bzw. Deutschland.

### **Die Unternehmen der deutschen Schlüsselindustrien sind die Technologieführer in grünen Technologien, es fehlen dagegen positive Impulse von IKT-Unternehmen**

Die Auswertung der Green-Tech-Weltklassepatente nach Branchen zeigt, dass die Unternehmen der klassischen deutschen Schlüsselindustrien wie Automobilindustrie, Elektroindustrie und Chemie auch in grünen Technologien die wichtigsten Technologieführer sind. Zudem fällt auf, dass Deutschland über einige technologisch sehr breit aufgestellte Unternehmen wie Siemens und Bosch verfügt, welche in vielen grünen Technologien Spitzenforschung betreiben. Dies erlaubt diesen Unternehmen von Synergieeffekten durch die zunehmende inhaltliche Verknüpfung vieler grüner Technologien im Sinne von Systemen zu profitieren – z. B. sind die intelligente Verknüpfung und das gemeinsame Management von erneuerbaren Energien mit Stromspeichersystemen und dem Smart Grid notwendige Elemente zur zukünftigen Stabilisierung des Übertragungsnetzes.

Ein negatives Ergebnis ist, dass die Bedeutung der IKT-Industrie hinsichtlich der Zahl der Weltklassepatente in grünen Technologien in Deutschland nicht allzu hoch ist. Die Digitalisierung ist jedoch ein wichtiger Innovationstreiber in grünen Technologien. In anderen Ländern wie etwa den USA spielen Unternehmen aus dem IKT-Segment (z. B. Alphabet) eine wichtigere Rolle in Bezug auf die Spitzenforschung im Green-Tech-Bereich. Die fehlenden Impulse der IKT-Unternehmen in Deutschland sind daher eine Erklärung, warum Deutschland gerade in Technologien mit einem hohen Digitalisierungsgrad, wie z. B. autonome Fahrzeuge oder vernetzte Produktion/Smart Factory, nicht allzu stark abschneidet im internationalen Vergleich.

### **Die USA sind der wichtigste internationale Forschungsstandort für deutsche Unternehmen**

Die USA sind der bei Weitem wichtigste ausländische Standort für Forschungsaktivitäten in grünen Technologien von deutschen Unternehmen. Bei fast jedem vierten Weltklassepatent von deutschen Unternehmen sind in den US beheimatete Forschende involviert. Dieser Anteil ist höher als die Summe aller derartiger Forschungsk Kooperationen mit anderen EU-Ländern. Hiermit besteht somit noch Verbesserungspotenzial für eine intensivere Forschungszusammenarbeit in grünen Technologien in der EU.

## **6 Methodik**

### **Analyseansatz: Bewertung der Technologieportfolios auf Grundlage von Patentdaten**

Die Grundlage der Technologieanalyse ist die Auswertung von Patentdaten. Patente sind ein wichtiger Erfolgsausweis von Forschung und Entwicklung und damit einer der wichtigsten Innovationsoutput-Indikatoren. Das Patentportfolio einer (regionalen) Volkswirtschaft bzw. ihrer Unternehmen und Forschungseinrichtungen bildet eine wichtige Grundlage für ihre Innovations- und damit auch Zukunftsfähigkeit. Vor allem Neuerungen im hochtechnologischen Bereich sind elementar, um wettbewerbsfähig zu bleiben und drängende gesellschaftliche Herausforderungen zu lösen. Patentanalysen tragen dazu bei, die Stärken und Schwächen einer Region bzw. eines Landes aufzudecken. Der Fokus von Patentanalysen liegt dabei naturgemäß ausschließlich auf den Innovationsaktivitäten von Unternehmen und Forschungsinstitutionen. Stärken oder Schwächen in Bereichen der Wertschöpfungskette, welche nicht oder weniger von Innovationsaktivitäten der Unternehmen geprägt sind (wie z. B. Vertrieb, Marketing usw.) können durch Patentanalysen nicht



erfasst werden. Das Gleiche gilt für Stärken oder Schwächen hinsichtlich Standortfaktoren (z. B. Energiekosten, Fachkräfteverfügbarkeit, Steuerbelastung usw.).

### **Wie sind Patente in der Studie definiert?**

In dieser Studie werden die Begriffe Patente und Patentfamilien synonym verwendet. Technisch gesehen ist der Begriff „einfache Patentfamilie“ oder „simple family“ korrekt. Häufig melden Unternehmen eine Erfindung in mehreren Ländern zum Patent an. Dies resultiert in mehreren Patentanmeldungen (bzw. bei erfolgreicher Erteilung in mehreren Patenten) für die gleiche Erfindung. Derart verbundene Patente und Anmeldungen nennt man zusammen eine „Patentfamilie“ oder „simple family“. Die Patente einer „simple family“ haben alle genau die gleiche Priorität. Die Prioritätsfrist beginnt mit der ersten Anmeldung einer Erfindung in einem beliebigen Land. Innerhalb der folgenden zwölf Monate ist der Anmelder berechtigt, die gleiche Erfindung in anderen Ländern zu patentieren. Für diese Folgeanmeldungen kann der Anmelder das Prioritätsdatum der ersten Anmeldung in Anspruch nehmen. Das bedeutet, dass für diese weiteren Anmeldungen dieses Prioritätsdatum bei der Beurteilung der Neuheit der Erfindung beachtet wird.

### **Aktives Patentportfolio statt Neuanmeldungen**

Anhand der Entwicklung der Patente pro Jahr können die Stärke der Patentportfolios der ausgewählten Länder bzw. Regionen analysiert und verglichen sowie die technologische Entwicklung aufgezeigt werden. Dabei werden sämtliche aktive Patente, also auch ältere noch gültige Patente, zum jeweiligen Stichtag (Jahresende) berücksichtigt. Die Laufzeit eines Patents beträgt im Normalfall 20 Jahre ab dem Zeitpunkt der Anmeldung unter der Voraussetzung, dass die jährlichen Patentgebühren gezahlt werden. Zahlreiche Patente verfallen jedoch frühzeitig aufgrund der Nichtzahlung der Jahresgebühren, falls sich für den Patentbesitzer keine ausreichend lukrative Verwertungsmöglichkeit ergibt. Auch die erfolgreiche Anfechtung eines Patents oder die Nichterteilung eines Patents nach der Patentprüfung führen zum Inaktivwerden eines Patents. Die Analyse auf Grundlage der aktiven Patente unterscheidet sich von anderen Patentanalysen, bei denen häufig nur neue Patentanmeldungen pro Jahr gezählt werden. Der Vorteil des in dieser Studie verwendeten Ansatzes besteht darin, dass sowohl die Dynamik der Entwicklung des Patentbestandes im Zeitverlauf als auch die absolute Größe und Stärke eines Patentportfolios zum jeweils aktuellen Zeitpunkt gemessen werden können. Bei Auswertungen auf Grundlage von Patentanmeldungen werden dagegen nur die neuesten Entwicklungen erfasst, während bereits bestehendes technologisches Know-how aus älteren Patenten nicht berücksichtigt wird.

### **Welches Patent ist das beste in einer grünen Technologie?**

Ein einzelnes Patent beschreibt selten eine signifikante Entwicklung.<sup>29</sup> In der Regel sind Patente detailliert und sehr technisch verfasst. Der Laie kann nicht auf Anhieb erkennen, ob ein Patent bedeutsam im Sinne eines großen technologischen Fortschritts ist, oder ob es sich um eine kleine

---

<sup>29</sup> Eine Ausnahme ist die Patentierung in Pharmatechnologien. Hier findet man in vielen Fällen ein direktes sogenanntes „patent to product mapping“, also eine Zuordnung eines Patents zu einem konkreten Produkt.

inkrementelle Innovation handelt. Ein Beispiel mag das erläutern: Das iPhone ist eine der wichtigsten Erfindungen der letzten 15 Jahre, es gibt aber kein iPhone-Patent. Es gibt allerdings hunderte Apple-Patente, die sich mit unterschiedlichen Aspekten des Geräts beschäftigen. In Summe bilden diese Patente die Grundlage für die Entwicklung des iPhones. Den einzelnen Patenten ist gemeinsam, dass sie alle qualitativ sehr hoch bewertet sind. Diese hohe Bewertung ist für uns in dieser Studie das zentrale Selektionsmerkmal.

Je mehr hochwertige Patente in einem Land in den grünen Technologien entwickelt werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich aus diesem Patentportfolio etwas Signifikantes entwickeln wird. EconSight<sup>30</sup> bewertet sämtliche Patente und trennt die relevanten Patente von den weniger relevanten. Für diese Studie wurden nur die 10 Prozent wichtigsten Patente pro Technologie identifiziert – die Weltklassepatente.

### **Was sind Weltklassepatente?**

Gemessen wird die Anzahl der qualitativ hochwertigen Patente, die pro Land in grünen Technologien entwickelt wurden. Um die Qualität der einzelnen Patente zu bestimmen, werden die Länderabdeckung und die Zitierungshäufigkeit ermittelt. Die Länderabdeckung berechnet die weltweite gesetzliche Abdeckung des Patentschutzes. Sie zeigt, wie Unternehmen die Bedeutung ihrer eigenen Erfindung bewerten. Je grösser die Zahl der Länder, in denen das Patent angemeldet wird, desto teurer wird der Patentschutz. Eine breitere internationale Länderabdeckung signalisiert also, dass der Patentanmelder sein Patent für vielversprechend hält (Eigeneinschätzung). EconSight legt besonderen Wert auf eine realistische Länderklassifikation, denn obwohl ein Patent in vielen Ländern angemeldet werden kann, sind strategisch nur einige wenige Länder relevant. Gemessen wird deshalb, ob ein Patent die „kritische Masse“ erreicht hat (mehrere große Länder wie die USA, China, Japan, Europa, aber auch zentrale mittelgroße Länder wie Großbritannien, Deutschland, Südkorea). Ob ein Patent zusätzlich in vielen kleinen Ländern aktiv ist, ist für die Grundqualität unerheblich.

Die Zitierungshäufigkeit des Patents ergibt sich daraus, wie oft die Prüfer der verschiedenen Patentämter darauf Bezug nehmen und es zitieren. Die Patentämter prüfen nach recht ähnlichen Methoden, ob eine Patentanmeldung neu und erfinderisch ist, und ziehen dazu andere, publizierte Patente heran. Daraus wird ersichtlich, wie wichtig eine Erfindung im Vergleich zu anderen Patenten in derselben Technologie ist (Fremdeinschätzung). EconSight legt auch hier besonderen Wert auf die Relevanz der gemessenen Werte. Während andere Bewertungssysteme Zitierungen einfach zählen oder bestenfalls jüngere Zitierungen höher gewichten als ältere, fokussiert EconSight auf businessrelevante Zitierungen. So ist beispielsweise die Zitierung eines Patents durch einen einzelnen Erfinder weniger wert als die Zitierung durch ein großes Unternehmen wie Alphabet.

Die individuelle Patentstärke als Kombination aus relevanter Länderabdeckung (Erreichung einer „kritischen Masse“) und relevanter Zitierungshäufigkeit („business relevante“ Zitierungen) lässt darauf

---

<sup>30</sup> EconSight 2023.

schließen, welche Auswirkung eine Patentfamilie auf den Wettbewerb hat und erlaubt eine quantifizierbare Einteilung in wichtige und weniger wichtige Patente. EconSight legt den Schwerpunkt der Analyse auf die sogenannten Weltklassepatente: die besten 10 Prozent aller Patente innerhalb einer definierten Technologie, gemessen an der individuellen Patentstärke.

Der Fokus auf Weltklassepatente ist sinnvoll, um verzerrende Effekte durch länderspezifische Unterschiede in den Patentierungssystemen zu reduzieren. So werden beispielsweise in China Forschende u. a. mit Steuererleichterungen dazu angehalten, so viel wie möglich zu patentieren, um die Relevanz des Forschungsstandorts China zu erhöhen.

### **Wie ist ein Unternehmen definiert – das Ultimate-Owner-Prinzip**

Die Patente der Unternehmen werden nach dem Ultimate-Owner-Prinzip ausgewiesen. Dabei wird jedes Patent der jeweils höchsten kontrollierenden wirtschaftlichen Einheit zugeordnet (Ultimate Owner). Entsprechend sind etwa alle Patente von Audi, Volkswagen und Porsche der VW Group zugeordnet. Die Unternehmen LG Electronics, LG Chem und LG Display sind hingegen eigenständige börsennotierte Unternehmen, die daher separat ausgewiesen werden.

Eine Minderheitsbeteiligung führt nicht zur wirtschaftlichen Kontrolle. Beispielsweise ist die Daimler Truck Holding AG als eigenständiges Unternehmen an der Börse notiert und die Mercedes-Benz Group AG hält weniger als die Hälfte der Anteile (30 Prozent, Stand Mai 2023).

Das Ultimate-Owner-Prinzip konsolidiert auch sämtliche Unternehmenskäufe auf der Ebene der kontrollierenden wirtschaftlichen Einheit. So sind die Aktivitäten des Robotik-Unternehmens KUKA der chinesischen Midea Group zugeordnet.

### **Regionale Zuteilung der Patente**

Ein Patent ist das Ergebnis von Forschungsarbeiten, die in der Regel von mehreren Forschenden, teilweise von mehr als einer Einrichtung und manchmal von mehr als einem Land, durchgeführt werden. Es stellt sich die Frage, wie diese Patente gezählt werden sollen und welcher Region bzw. welchem Land sie zugeschrieben werden sollen. In Patentanalysen gibt es üblicherweise zwei Möglichkeiten zur geographischen Zuordnung der Patente. Die erste Möglichkeit ist die Zuordnung der Patente nach der Adresse des Patentanmelders (meistens ein Unternehmen). Ein Nachteil bei diesem Ansatz ist, dass teilweise die Adresse des anmeldenden Unternehmens nicht mit dem Ort der Erfindung übereinstimmt. Beispielsweise kann es sein, dass ein Großunternehmen das Patent unter der Adresse des Hauptsitzes anmeldet, auch wenn die Forschungsarbeit tatsächlich an einer anderen Niederlassung des Unternehmens stattgefunden hat. Um dieses Problem zu vermeiden, erfolgt häufig stattdessen die geographische Zuordnung der Patente anhand der Wohnsitze der beteiligten Erfinder und Erfinderinnen. Dieser Ansatz wurde auch in der vorliegenden Studie verwendet. Sollten an einem Patent Forschende aus mehreren Ländern beteiligt sein, wird das Patent für jedes einzelne Land gezählt.

## 7 Kurzbeschreibungen der grünen Technologien

### Neue Energie

#### AC/DC-Wandler, Photovoltaik

Umwandlungstechnologie von Gleich- in Wechselspannung für photovoltaische Anlagen.

#### Biotreibstoffe, Biomasse

Die Umwandlung von Kohlenstoffverbindungen aus biogenen Quellen (z. B. Bioabfälle, Gülle, Holz aus Kurzumtriebsplantagen etc.) durch verschiedene technische Schritte und Prozesse zu elektrischem Strom oder Energieträgern wie Biogas oder Biotreibstoffen.

#### Geothermie

Die Geothermie nutzt die Erdwärme zur direkten oder indirekten Energieerzeugung. Diese kann direkt zur Heizung von Gebäuden, für Warmwasser oder zur Stromerzeugung eingesetzt werden. Der Vorteil liegt in der wetterunabhängigen und damit steuerbaren Produktion.

#### Kernfusionsreaktoren

Dieses Feld beschreibt Technologien um die Energieerzeugung durch Kernfusion, und beinhaltet Stellarator, Tokamak und vergleichbare Technologien.

#### Meeresenergie & Wasserkraft

Gezeitenkraftwerke, Strömungs- und Wellenkraftwerke zur Stromerzeugung. Der Schwerpunkt liegt auf der Umwandlung von Wellen- oder Gezeitenenergie und nicht auf der Speicherung von elektrischem Wasser in Wasserpumpenspeichern (wie sie in der Kategorie „Energiespeicherung“ enthalten sind). Eine gewisse Überschneidung mit diesem Bereich ist jedoch erkennbar, da einige Anlagen mehr als eine Energieerzeugungstechnologie kombinieren.

#### Organische Solarzellen, Tandem- und Perovskitzellen

Sammelgruppe von Nichtsiliziumsolarzellen, auf Basis von organischen Farbstoffen (Polymerzellen), meist mit niedrigerem Wirkungsgrad und (anorganische) Tandem- und Perovskitzellen mit höheren Wirkungsgraden. Da die gleichen organischen Moleküle in organischen PVs und in OLEDs verwendet werden, gibt es Überschneidungen mit dem OLED-Bereich.

#### Schwimmende Offshore-Windkraftanlagen

Schwimmende Offshore-Windkraftanlagen können weiter entfernt von den Küsten errichtet werden als traditionelle bodengebundene Windkraftanlagen. Die technische Herausforderung liegt in der Stabilität der schwimmenden Plattform.

## **Siliziumphotovoltaikzellen**

Klassische Siliziumsolarzellen, die auf Basis dotierter Siliziumhalbleiter Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umwandeln. Siliziumsolarzellen bestehen in der Regel aus polykristallinen oder monokristallinen Siliziumscheiben für die Energieumwandlung.

## **Solarthermie**

Solarthermische Anlagen, die im Gegensatz zu Photovoltaikanlagen nicht Strom erzeugen, sondern Wärme, die z. B. in Warmwasserspeichern gespeichert werden kann. Je nach Technologien können unterschiedlich hohe Temperaturen erzeugt werden, bis hin zu Prozesswärmemetemperaturen bei konzentrierenden Anlagen.

## **Wärmepumpen**

Wärmepumpen arbeiten im umgekehrten Sinne wie ein Kühlschrank. Sie extrahieren Energie aus der Umwelt (Luft, Erde, Wasser) und wandeln sie in Wärme um. Forschung geht in Richtung industrieller Nutzung, wofür höhere Temperaturen und die Anpassung an unterschiedliche Umweltbedingungen notwendig sind.

## **Windenergie**

Stromerzeugung durch Rotoren, Drachen- oder andere windbewegte Installationen. Windkraftspezifische Bauteile wie Rotorblätter sind ebenfalls enthalten.

## **Energiespeicherung**

### **Bipolarbatterien**

Im Gegensatz zu klassischen Lithium-Ionen-Batterien sind bei Bipolarbatterien die Kathode und die Anode auf einem gemeinsamen Elektrodenträger aufgebracht. Der Vorteil gegenüber Lithium-Ionen-Batterien ist der geringere Platzbedarf aufgrund weniger Bauteilen und Verbindungselementen. Der Strom fließt über die gesamte Fläche der Batterie. Es wird erwartet, dass die Batterie in Elektrofahrzeugen zu deutlich höheren Reichweiten führt.

### **Feststoffakkumulator**

Akkumulator oder Batterie, die einen Feststoff-Elektrolyten aufweist, der aus Polymeren oder Oxiden, z. B. Granaten, besteht und weniger empfindlich auf Elektrolytverlust und Entzündung ist als Technologie mit flüssigen Elektrolyten.

### **Lithiumakkumulatoren**

Lithiumakkumulatoren, also wieder aufladbare Stromspeicher auf Basis von Li-Ionen als Elektrolyt (und nicht Lithiumbatterien im eigentlichen Sinn).

## **Natrium-Ionen-Akkumulator**

Sodiumbatterien haben ähnliche Eigenschaften wie Li-Ionen-Batterien, sind aber grösser in ihrer Struktur und damit schwerer. Es wird erwartet, dass die Vorteile in der Ladezeit, der besseren Leistungsfähigkeit bei kälteren Temperaturen sowie im günstigeren Preis aufgrund besserer Materialverfügbarkeit liegen.

## **Redox-Flow-Batterien, Alkalimembran-Brennstoffzellen, AMFCs**

Flow Batteries liegen technologisch zwischen Brennstoffzellen und Akkus. Flow- oder Redox-Flow-Batterien bestehen aus zwei typischerweise großen Flüssigkeitskammern, die durch eine Membran getrennt sind. In den beiden Kammern werden flüssige Elektrolyte, Katholyt und Anolyt, gegeneinander gepumpt und wandeln chemische in elektrische Energie um. Sie leiden normalerweise unter einer geringeren Energiedichte, benötigen im Vergleich zu Lithiumbatterien eine höhere Stromdichte, haben niedrigere Lade- und Entladeraten und müssen größer sein, um dies auszugleichen. Die Materialanforderungen sind jedoch weniger kritisch und das Design kann sehr flexibel sein. Sie sind langlebig und verwenden weniger schädliche und billigere Chemikalien, was sie für große stationäre Energiespeicheralternativen attraktiv macht. Aufgrund der Verwendung von alkalischen Elektrolyten sind Redox-Flow-Batterien mit alkalischen Brennstoffzellen (AFCs), alkalischen Membran-Brennstoffzellen (AMFC) oder alkalischen Anionenaustauschmembran-Brennstoffzellen (AAEMFC) verwandt, aber nicht identisch. Sie beruhen auf dem Transport von Alkalianionen, meist Hydroxid  $\text{OH}^-$ , zwischen den Elektroden. Ursprüngliche AFCs verwendeten wässriges Kaliumhydroxid (KOH) als Elektrolyt. Die NASA hat in den 1960er Jahren alkalische Brennstoffzellen für Apollo- und Space-Shuttle-Projekte verwendet. Beide Technologien, Redox Flow oder AMFCs, sind aufgrund der engen Verwandtschaft in dieser Technologiedefinition enthalten.

## **Wasserstoffwirtschaft**

### **Grüne/blau Ammoniakproduktion**

Ammoniak wird klassisch für die Düngemittelproduktion erzeugt, entwickelt sich aber immer mehr zu einem Wasserstoffspeichermaterial oder auch für direkten Einsatz in Verbrennungsmotoren, z. B. für Schiffe (dann meistens Liquid Ammonia). Grün hergestellt ist er dann, wenn der verwendete Wasserstoff ebenfalls grün und die Produktion nachhaltig ist. Blauer Ammoniak entsteht aus Wasserstoff, in dessen Herstellung das entstandene  $\text{CO}_2$  abgefangen, solidifiziert oder umgewandelt wird (z. B. in Methanol).

### **Grüne/blau Methanolproduktion**

Methanol wird als einer der wichtigen Energieträger und auch als Wasserstoffspeichermaterial zunehmend anders als petrochemische Rohstoffe produziert. Grünes Methanol ist dabei Methanol aus nachwachsenden Quellen oder unter Nutzung von nachhaltig erzeugter Energie erzeugt. Blaues Methanol wird insbesondere aus  $\text{CO}_2$ -Abgasen erzeugt und umgewandelt. Damit ist es nicht selbst aus nachhaltigen Quellen, aber aus Abfällen aufbereitet, welche sonst in die Umwelt gelangen würden.

## **Herstellung von Brennstoffzellen**

Brennstoffzellen sind aufwendig in der Herstellung. Insbesondere die hohe Anzahl an dünnen Schichten, die in einer gasdichten Umgebung gestapelt (ge„stackt“) werden müssen, führt zu einer langsamen Produktion mit viel Ausschuss. Moderne Produktionsmethoden und insbesondere die Automatisierung der Brennstoffzellenproduktion sind Schlüssel zu einer größeren Verfügbarkeit und konkurrenzfähigen Preisen.

## **Produktion von grünem/blauem Wasserstoff**

Die Technologie konzentriert sich auf die Wasserstoffproduktion mithilfe erneuerbarer Energien, insbesondere Elektrolyse und Brennstoffzellen mit Strom aus Photovoltaik- und Windkraftanlagen. Für den schnellen kurzfristigen Einsatz bietet sich auch die Erzeugung von blauem Wasserstoff aus Erdgas an.

## **Wasserstoffelektrolyseur, Elektrolyse, elektrochemische H<sub>2</sub>-Pumpe**

Der Elektrolyseur ist das Herzstück des Prozesses zur Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff. Elektrolyseure gibt es in verschiedenen Größen, von großen Produktionsanlagen bis hin zu kleinen Produkten. Die aktuelle Forschung konzentriert sich auf Kostensenkungen der Elektrolyseureinheit und ein besseres Verständnis der Abbauprozesse, um die Lebensdauer des Geräts zu verlängern. Ebenfalls in das Feld eingeschlossen sind elektrochemische Wasserstoffpumpen, die im Design vergleichbar sind, aber hauptsächlich zur Reinigung von Wasserstoff aus Gasgemischen vorgesehen sind.

## **Wasserstofferzeugung und -speicherung**

Dieses Feld umfasst die Herstellung von Wasserstoff, ohne Unterscheidung des Verfahrens oder der Behandlung der Nebenprodukte (insbesondere des CO<sub>2</sub> aus der Dampfreformierung), sowie die Lagerung und Transportvorrichtungen für Wasserstoff. Es handelt sich um die Sammlung der diversen Herstellverfahren für Wasserstoff, wobei der klassische Prozess der Dampfreformierung und der Umwandlung von Synthesegas (aus Erdgas oder Methan) die modernen Methoden der Elektrolyse und Verwendung von Brennstoffzellen zurzeit klar dominiert.

## **Wasserstoffleitungen, Rohrleitungen, H<sub>2</sub>/Gas-Trennung**

Wasserstoff kann gasförmig oder flüssig durch Pipelines und andere Rohrinfrastrukturen transportiert werden, die normalerweise für Erdgas ausgelegt sind. Es wird ohnehin häufig dem Erdgas beigemischt und kann direkt aus dem Gasgemisch abgetrennt werden, etwa für Brennstoffzellen zur Stromerzeugung oder an H<sub>2</sub>-Tankstellen. Dieser Bereich umfasst Technologien zur Abtrennung und Reinigung von Wasserstoff aus Gasströmen sowie Pipelinetechnologie oder spezifische Rohre und Geräte zum Transport und zur Handhabung von H<sub>2</sub>. Es ist ein Teilgebiet der Wasserstofferzeugung und -speicherung.

## Neue Mobilität

### Autonome Straßenfahrzeuge

Die Technologie autonome Straßenfahrzeuge umfasst verschiedene Elemente: Damit Fahrzeuge autonom fahren können, müssen sie zunächst ihre Umgebung in Echtzeit erfassen. Hierfür sind Sensoren und Wahrnehmungssysteme zentral, darunter Lidar, Radar, Kameras und Ultraschallsensoren. Für die Verarbeitung der erfassten Daten ist (KI-)Software zentral, die es den Fahrzeugen ermöglicht, Muster zu erkennen, Entscheidungen zu treffen und sich an unterschiedliche Verkehrssituationen anzupassen.

### Batterieladegerät für Fahrzeuge

Ladesysteme von Fahrzeugbatterien von Elektrofahrzeugen oder Hybrid-Fahrzeugen umfassen Vor-Ort- und Infrastrukturinstallationen, aber auch On-Board-Ladetechnologien wie Rekuperation.

### Elektrofahrzeuge, kein Hybrid

Hybridfahrzeuge und Elektrofahrzeuge haben einen Elektromotor gemeinsam. Bei Hybriden ist er jedoch deutlich kleiner als bei Elektrofahrzeugen und nur für geringe Geschwindigkeit und geringe Reichweite geeignet. Hybridfahrzeuge haben mindestens zwei Antriebsmotoren, und von diesen ist der benzinbetriebene Motor im Allgemeinen die Hauptantriebseinheit. Daher wurde das allgemeine Gebiet der Elektrofahrzeuge von hybridbezogenen Patenten getrennt. Das Feld umfasst alle Arten von Fahrzeugen und ist nicht auf Straßenfahrzeuge beschränkt.

### Elektromotoren

Elektromotoren werden sehr häufig in allen Arten von Geräten verwendet, von Mikrogrößen bis hin zu Autoantriebsmotoren. Dieser Bereich umfasst den Bereich der automobilen Elektromotoren und umfasst die beiden Teilbereiche Wicklungs- und Hairpin-Technologien für Elektromotoren.

### Eisenbahntechnologien

Eisenbahntechnologien, inkl. Tram und andere Schienenfahrzeugtechnologien. Es wird in diesem Feld alles erfasst, was zum Schienentransport gezählt werden kann, inkl. Einzelteile, Infrastruktur, Gleis- und Zugmanagement usw.

### Vernetzte Autos und Interaktion im Straßenverkehr

Das Technologiefeld umfasst Patente, die primär auf die Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmern gerichtet sind. Dazu gehört die Kommunikation zwischen Fahrzeugen (V2V), aber auch die Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur. Durch eine verbesserte Kommunikation zwischen den Verkehrsteilnehmern wird ein sehr großer Effizienzgewinn erwartet, insbesondere aufgrund der hohen Verkehrskonzentration in Ballungsräumen.

### Wasserstofftank

Wasserstoff kann auf viele Arten gespeichert werden, wie z. B. Metallhydride oder flüssige **organische Wasserstoffträger** (LOHC). Aber in den meisten Fällen, insbesondere für die Mobilität, wird Wasserstoff unter Druck gespeichert, bei 700 bar. Druckbehälter sind nicht neu und werden seit Jahren hauptsächlich aus Metall hergestellt. Die Nachfrage nach leichten und sicheren



Wasserstofftanks ist jedoch der Schlüssel für eine erfolgreiche Anwendung von Wasserstoff im Verkehr. Wasserstoff ist nicht nur das leichteste verfügbare Gas und stellt hohe Anforderungen an die Dichtungstechnik, er ist auch in Luft-Sauerstoff-Gemischen explosiv. Neue Technologien wie Composite-Tanks wurden erfolgreich für Autoanwendungen entwickelt, während prozessintegrierte Tanks für Tankstellen, Schiffe oder Schwerlastfahrzeuge ebenfalls entwickelt werden. Dieser Bereich ist ein Teilbereich der Wasserstoffherzeugung und -speicherung, deckt jedoch die spezifische Nachfrage nach hochdrucksicheren H<sub>2</sub>-Gastanks ab, die einer der vielen Schlüsselfaktoren für eine erfolgreiche H<sub>2</sub>-Hochskalierung sind.

### **Wasserstofftankstelle**

Wasserstofftankstellen sind für den zukünftigen Markt der Wasserstoffmobilität von entscheidender Bedeutung. Dieser Bereich umfasst die Technologien hinter dieser Wasserstoffversorgung von Fahrzeugen. Wasserstoff kann zu diesen Wasserstofftankstellen beispielsweise durch Pipelines sogar zusammen mit Erdgas transportiert und wieder getrennt oder vor Ort beispielsweise durch Elektrolyseure erzeugt werden.

## **Effiziente Mobilität**

### **Effizientes Autodesign**

In diesem Feld wird gezielt die Optimierung von Fahrzeugen erfasst, sei es die Aerodynamik, Reifen oder Gewichtsreduktion.

### **Energieeffiziente Flugzeugturbinen**

Ähnlich wie bei Autos und effizienten Verbrennungsmotoren gibt es auch bei Flugzeugturbinen eine große Anzahl von Patenten, die sich mit der Treibstoffeinsparung befassen. Turbinen sind riesige Energieerzeuger und der Treibstoffverbrauch von Flugzeugen ist ein großer Kostenfaktor in der kommerziellen Luftfahrt. Daher wird auf dem Gebiet des Verbrauchs und der Energieeffizienz von Flugzeugturbinen weiterhin intensiv geforscht und innoviert. Dieser Bereich steht in gewissem Zusammenhang mit der elektrischen Fliegerei (Energieerzeugung in Hybridbauweise, Energieerzeugung an Bord) sowie mit stationären Turbinen und Windenergie, da viele Aspekte effizienter Turbinen auch für andere Anwendungen als Flugzeuge geeignet sind und genutzt werden.

### **Synthetische Treibstoffe**

Treibstoffe, insbesondere für die Mobilität, hergestellt aus nicht petrochemischen Rohstoffen, insbesondere Fischer-Tropsch und ähnliche Verfahren. Synthetische Kraftstoffe werden meist aus Synthesegas hergestellt, einem Gemisch aus CO und H<sub>2</sub> (Kohlenmonoxid und Wasserstoff). Diese können in jedes petrochemische Produkt umgewandelt werden. Bisher wird meist Erdgas als Quelle für das CO verwendet. Zukünftig werden aber erneuerbare Quellen immer wichtiger werden, um klimaneutrale Treibstoffe erzeugen zu können.

## **Effiziente Produktion**

### **3D-Druck (Additive Manufacturing)**

Herstellung von vielfältigen Produkten und Ersatzteilen zur bedarfsgerechten Massen-Massschneidung statt Massenproduktion. Während in der herkömmlichen Produktion Objekte in der Regel aus einem Materialblock herausgearbeitet werden, wird im 3D Druck das Objekt Schicht für Schicht aufgebaut.

### **Digitale Landwirtschaft, Präzisionslandwirtschaft**

Unterstützungs- und Optimierungstechnologien in der Landwirtschaft zum Einsatz von Drohnen oder Satelliten zur ressourcenschonenden Ertragsoptimierung.

### **Effiziente Glas- und Keramikproduktion**

Technologien zur Vermeidung von Ausschuss und zur ressourceneffizienteren Herstellung von Glas und Keramik.

### **Effiziente Industrieproduktion in Chemie, Petrochemie, Textil und andere**

Technologien zur energiesparenden und ressourcenoptimierten Produktion in Chemie und verwandten Bereichen.

### **Effiziente Metallproduktion**

Technologien zur energieoptimierten Produktion von Metallen. Im Zentrum der Forschungsaktivitäten steht die Steigerung der Effizienz (Wirkungsgrad) der Schmelz- und Warmhalteöfen. Zudem spielt auch die optimierte Abwärmenutzung eine Rolle. Bei der Roheisenproduktion geht es auch um die tiefgreifende Umstellung des Reduktionsprozesses, um Prozessemissionen zu vermeiden.

### **Kohlendioxidfilter, Abscheidung und Bindung**

Gasfilteranlagen, Abscheidungsrichtungen und Kohlenstoffbindungsprozesse ermöglichen die direkte Bindung des entstehenden CO<sub>2</sub>. Im Idealfall wird das gewonnene CO<sub>2</sub> wieder als Rohstoff eingesetzt und gebunden aus dem Kreislauf genommen. In den meisten Fällen handelt es sich um industrielle Gaswaschanlagen und Filter, es werden aber auch Direkt-Capture-Anlagen, also solche die CO<sub>2</sub> aus der Luft filtern, erfasst.

### **Treibhausgasreduzierte Aluminiummetallproduktion**

Die Produktion von Aluminium benötigt viel Energie, insbesondere für die Kryolith-Elektrolyse. Dieser Strom kann z. B. aus nachhaltigen Quellen kommen und in die Metallproduktion integriert sein. Außerdem produzieren die Kohlelektroden in der Schmelzelektrolyse weiteres CO<sub>2</sub> während des Prozesses, weshalb vermehrt alternative Elektrodenmaterialien zum Einsatz kommen. Es bestehen gewisse Überschneidungen zur Technologie effiziente Metallproduktion.

### **Vernetzte Produktion (Smart Factory)**

Vernetzung in der industriellen Produktion bis zur komplett integrierten Fabrik. Ein wesentlicher Teil dieser Technologie sind vorausschauende Wartungssysteme, die Elemente wie Monitoring, Datensammlung und Bildanalysen, Fehlerdiagnose und vernetzte Kontrolle der Produktion umfassen. Bei diesen Systemen handelt es sich um datengesteuerte Wartungsmethoden, die den Zustand der Produktionsanlagen analysieren und dabei helfen, Fehlfunktionen, Störungen sowie den Zeitpunkt von erforderlichen Wartungsarbeiten vorherzusagen. Damit können Probleme behoben werden, bevor sie zu Ausfallzeiten führen. Ein kleiner Bereich besteht auch aus adaptiven Kontrollsystemen, wie sie bei automatisierten Fabrikationen Anwendung finden (automatisierte Containerterminals und Warentransport, autonome „Fließbänder“).

## **Energieeffiziente Systeme**

### **Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung (HGÜ)**

HGÜ ist eine Gleichstrom-Energieübertragungstechnik, die speziell für die Stromübertragung über große Entfernungen entwickelt wurde und geringere Übertragungsverluste verspricht als die Wechselstrom-Übertragungstechnik. An den Ein- und Ausspeisepunkten erfolgt in der Regel eine Transformation von bzw. auf Wechselstrom.

### **Intelligente Stromnetze (Smart Grid & Smart Meter)**

Stromnetze und Stromverteilung mit kommunikativer Verteilung und Steuerung. Diese finden sich in dezentralen Energieerzeugern (z. B. Windenergieanlagen), aber auch in modernen Fahrzeugen. Perspektivisch wird angestrebt, solche Systeme auch in größeren Regionen aufzubauen, um viele dezentrale Erzeuger und Verbraucher effizient miteinander zu koppeln. Zu diesem Bereich gehören auch Smart Meter, die typischerweise in Häusern als zentrale Station zur Verwaltung der internen Stromverteilung verwendet werden und normalerweise direkt an das Hauptnetz angeschlossen sind.

### **Intelligentes, vernetztes Haus (Smart Home)**

Geräte in und um Gebäude, die aus Sensoren und Netzwerkkomponenten bestehen. Das intelligente energieeffiziente Zusammenspiel der Geräte steht im Vordergrund. Das Feld überschneidet sich mit der Technologie intelligente Stromnetze (Smart Grid & Smart Meter), da diese Smart Meter oft der Hauptkontakt von Smart Houses zum Stromnetz sind und die Hauptstromverteilung in Häusern verwalten. Da auch Autoladegeräte immer häufiger in Smart Houses integriert sind, gibt es auch eine Überschneidung zum Technologiefeld Batterieladegeräte für Fahrzeuge.

## **Energieeffiziente Geräte**

### **Energieeffiziente Gebäudetechnik**

Dieser Bereich umfasst Technologien für Wärmedämmung, passives Kühlen, raumluftechnische Anlagen, Wärmepumpen, thermochrome Gläser und andere energieeffiziente Gebäudetechnologien.

## **Energieeffiziente Gebäude-, Beleuchtung- und Büroelektronik**

Dieses Feld umfasst energieeffiziente Gebäudeelektronik und Endgeräte in Heim- und Büroumgebungen. Dazu gehören Energiesparmaßnahmen für Bürogeräte wie auch effiziente Beleuchtungstechnologien in Gebäuden sowie die Steuerung von raumluftechnischen Anlagen.

## **Anpassungstechnologien zur Abmilderung der Folgen globaler Erwärmung**

### **Effiziente Beregnung & Bewässerung**

Die Beregnung & Bewässerung landwirtschaftlicher Flächen ist neben dem Pflanzenschutz und dem Umgang mit Düngemitteln einer der Hauptmechanismen zur Steigerung der Effizienz der Pflanzenproduktion. Mit steigenden Anforderungen durch klimatische Veränderungen wird die Bewässerung immer relevanter. Darüber hinaus ist die Bewässerung ein wichtiger Aspekt in der modernen Präzisionslandwirtschaft und lässt sich gut in Präzisionsmaschinen wie automatisierte Traktoren oder Drohnen integrieren.

### **Emissionsreduzierendes Tierfutter**

Futterzusätze zur Optimierung der Verdauung von Nutztieren. Ziel ist es, den Methanausstoß der Tiere zu reduzieren.

### **IR/Wärmemanagement, Wärmedämmfassaden**

Eine große Herausforderung ist die steigende Nachfrage nach besserer Isolierung und Temperaturmanagement von Gebäuden. Der vielleicht größte energieverbrauchende Aspekt von Gebäuden ist die Erzeugung oder Stabilisierung von Wärme sowie die passive Beeinflussung von Temperaturspitzen. Der Bereich umfasst Materialien und Verfahren für das Wärmemanagement von Gebäuden, hauptsächlich über die Fassade und Fenster. Es überschneidet sich daher mit modernen Dämmstoffen. Es enthält keine aktive Heizung, Lüftung und Klimatechnik (Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC), kann sich aber leicht überschneiden, wenn es um Wärmeerhaltung und passive Kühlung geht.

### **Moderne Dämmstoffe**

In diesem Technologiefeld werden diverse Isolationsmaterialien erfasst, z. B. Aero- oder Xerogele, sowie Bautechnologien, die einerseits bessere Energiebilanz haben, aber auch vor stärkeren Temperatureinflüssen schützen.

### **N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>-Abscheidung**

Verschiedene Technologien zur Reduzierung oder Filtration von NO<sub>x</sub>, N<sub>2</sub>O und anderen höheren Gasen. Während N<sub>2</sub>O ein klimabeeinflussendes Gas ist und Filter zur Reduzierung oder Entfernung von Abgasen zu diesem Bereich gehören, umfasst er auch die Filtration oder Umwandlung von NO oder NO<sub>2</sub> in Kfz-Abgasfiltern. Daher ist eine Überschneidung mit Abgaskatalysator-technologien erkennbar.

## **Reinraumlandwirtschaft**

Landwirtschaft in Reinräumen und künstlicher Atmosphäre, auch in Städten.

## **Torrefaction, Pyrolyse, Biokohlenstoff**

Umwandlung von Biokohlenstoff, insbesondere kohlenstoffhaltiger Abfälle mit verschiedenen Verfahren zu Kohlenstoff oder Methan. Eingeschlossen sind Prozesse zur Umwandlung von CO<sub>2</sub> in feste, vergrabbare Materialien, um die CO<sub>2</sub>-Konzentration der Luft zu reduzieren. Ebenso sind Verfahren eingeschlossen, die kohlenstoffhaltige Stoffe zur Wiederverwendung des CO<sub>2</sub> für Up-/Recyclingzwecke pyrolysieren. Eine gewisse Überschneidung besteht bei Biomasse und Biopolymeren.

## **Forstwirtschaft**

Die Forstwirtschaft umfasst Technologien rund um Baumpflanzen, insbesondere, aber nicht ausschließlich für Wälder, vom Pflanzen, Säen, Pflegen, Wachsen und Ernten von Bäumen, aber auch die Überwachung von Wäldern oder Waldbränden und diverse andere Technologien rund um Baum- und Waldmessungen oder Datenverarbeitung.

## **Wasserentsalzung**

Wasserentsalzungsanlagen und Technologien zur Umwandlung von Salzwasser zu Trinkwasser.

## **Nachhaltige Verbrauchsmaterialien und Recycling**

### **Abfallmanagement**

Technologien für die Planung und Durchführung der Abfallbehandlung, insbesondere Geschäftsmethoden und -prozesse für die Abfallkategorisierung, die Optimierung der Bezahlung und des Exports sowie Methoden zur Abfallkennzeichnung und -sortierung.

### **Fleischalternativen**

Produkte meist auf pflanzlicher Basis (Erbsenproteine etc.), die als Fleischersatz dienen. Im Vordergrund stehen insbesondere Texturanpassungen und Fermentationstechnologien.

### **Kunststoff-, Glas-, Papier-, Elektronik- und Verbraucherabfallrecycling**

Recycling von Konsumartikeln, wie Kunststoffen, Papier, Elektronik usw.

### **Nachhaltige Verpackungen**

Verpackungen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe, z. B. Zellulose, insbesondere für die Kreislaufwirtschaft.

### **Recycling von Batterien und Brennstoffzellen**

Recycling von Batterien diverser Art, insbesondere zur Gewinnung diverser, teils seltener Elemente und Metalle. Zwei Teilbereiche, die Pyrometallurgie und die Hydrometallurgie, sind in diesem

Bereich enthalten, da sie die wichtigsten Produktionswege darstellen. Ebenfalls enthalten sind Technologien für das Recycling von Brennstoffzellen.

### **Trinkwasseraufbereitung**

Wasserreinigungstechnologien, insbesondere für Trinkwasser, sowie biologische Wasserreinigungsmethoden.

### **Zementrecycling und Abfallwiederverwendung**

Beim Zementrecycling werden anstelle von Kies oder Splitt aus natürlichen Vorkommen sogenannte rezyklierte Gesteinskörnungen verwendet. Nach dem Abriss eines Bauwerks werden die Betonteile zerkleinert und anschließend zu hochwertigen Gesteinskörnungen verarbeitet.

## 8 Literaturverzeichnis

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.) (2018). *CCU und CCS – Bausteine für den Klimaschutz in der Industrie. Analyse, Handlungsoptionen und Empfehlungen*. München. <https://www.acatech.de/publikation/ccu-und-ccs-bausteine-fuer-den-klimaschutz-in-der-industrie-analyse-handlungsoptionen-und-empfehlungen/> (Download tt.mm.2023).
- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (Hrsg.) (2017). *Sektorkopplung – Optionen für die nächste Phase der Energiewende*. Berlin. <https://www.acatech.de/publikation/sectorkopplung-optionen-fuer-die-naechste-phase-der-energiewende/> (Download 5.12.2023).
- Bleischwitz, Raimund, Miying Yang, BeijiaHuang und Xiaozhen Xu (2022). „The circular economy in China: Achievements, challenges and potential implications for decarbonisation”. [https://www.researchgate.net/publication/360079126\\_The\\_circular\\_economy\\_in\\_China\\_Achievements\\_challenges\\_and\\_potential\\_implications\\_for\\_decarbonisation](https://www.researchgate.net/publication/360079126_The_circular_economy_in_China_Achievements_challenges_and_potential_implications_for_decarbonisation) (Download tt.mm.2023).
- Clingendael (2022). „Sino-European joint ventures and the risk of technology transfers”. [https://www.clingendael.org/sites/default/files/2022-08/CA\\_Datenna\\_0.pdf](https://www.clingendael.org/sites/default/files/2022-08/CA_Datenna_0.pdf) (Download tt.mm.2023).
- Deloitte (Hrsg.) (2023). *Future of Automotive Mobility*. London. <https://www2.deloitte.com/de/de/pages/consumer-industrial-products/articles/future-of-automotive-mobility.html> (Download tt.mm.2023).
- EconSight (Hrsg.) (2023). *The 1000 best companies in 100 green technologies*. Basel. <https://www.econsight.com/wp-content/uploads/2023/06/EconSight-Greentech-Studie-2023-EN.pdf> (Download tt.mm.2023).
- e-mobil BW (2023). „Strukturstudie BW: Transformation der Automobil- /Nutzfahrzeugindustrie in Baden-Württemberg durch Elektrifizierung, Digitalisierung und Automatisierung”. <https://www.e-mobilbw.de/service/mediathek-detail/strukturstudie-bw-2023-der-automobilstandort-baden-wuerttemberg-am-wendepunkt> (Download tt.mm.2023).
- Envoria (2023). „EU Taxonomie Grundlagen”. <https://eu-taxonomy.info/de/info/eu-taxonomie-grundlagen>
- EPO – Europäisches Patentamt (2019). „Climate change mitigation technologies“. 25.11.2019. <https://www.epo.org/de/node/447280> (Download tt.mm.2023).
- EPO – Europäisches Patentamt (2023). „Innovationskraft ungebremst: Patenmtanmeldungen in Europa nehmen 2022 weiter zu“. 28.3.2023. <https://www.epo.org/de/news-events/news/innovationskraft-ungebremst-patentanmeldungen-europa-nehmen-2022-weiter-zu> (Download tt.mm.2023).
- Erlach, Berit, Sabine Fuss, Oliver Geden, Ulrich Glotzbach, Hans-Martin Henning, Karen Pittel, Jürgen Renn, Simona Rens, Dirk Uwe Sauer, Christoph M. Schmidt, Indra Spiecker genannt Döhmann, Christoph Stemmler, Cyril Stephanos und Jessica Strefler (2022). „Was sind negative Emissionen, und warum brauchen wir sie? (Kurz erklärt!)“, Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“ (ESYS). [https://doi.org/10.48669/ESYS\\_2022-2](https://doi.org/10.48669/ESYS_2022-2).

- European Commission (2023). „European Battery Alliance“. [https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-battery-alliance\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/strategy/industrial-alliances/european-battery-alliance_en) (Download tt.mm.2023).
- European Commission (2022). „Batteries for Energy Storage in the European Union“. [https://setis.ec.europa.eu/batteries-energy-storage-european-union\\_en](https://setis.ec.europa.eu/batteries-energy-storage-european-union_en) (Download tt.mm.2023).
- IEA (2021). „Net zero by 2050“. <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> (Download tt.mm.2023).
- IEA (2022). „World Energy Outlook 2022“. [https://www.bing.com/search?FORM=RA75DF&q=IEA+\(2022\)%3A+World+Energy+Outlook&PC=RA75](https://www.bing.com/search?FORM=RA75DF&q=IEA+(2022)%3A+World+Energy+Outlook&PC=RA75) (Download tt.mm.2023).
- IEA (2023). „Hydrogen Patents for a Clean Energy Future“. <https://www.iea.org/reports/hydrogen-patents-for-a-clean-energy-future> (Download tt.mm.2023).
- ifo Institut (2019). „Was uns die Energiewende wirklich kosten wird“. 12.7.2019. <https://www.ifo.de/medienbeitrag/2019-07-12/was-uns-die-energiewende-wirklich-kosten-wird> (Download tt.mm.2023).
- IRENA (2019). *Future of wind. Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper)*. International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA\\_Future\\_of\\_wind\\_2019.pdf?rev=c324896ba0f74c99a0cde784f3a36dff](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Oct/IRENA_Future_of_wind_2019.pdf?rev=c324896ba0f74c99a0cde784f3a36dff) (Download tt.mm.2023).
- Roland Berger GmbH (2021). *GreenTech made in Germany 2021. Umwelttechnik-Atlas für Deutschland*. Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Berlin.
- WIPO Green (2023). „About WIPO GREEN“. <https://www3.wipo.int/wipogreen/en/aboutus/> (Download 4.12.2023).



## Adresse | Kontakt

Bertelsmann Stiftung  
Carl-Bertelsmann-Straße 256  
33311 Gütersloh  
Telefon +49 5241 81-0  
bertelsmann-stiftung.de

Daniel Posch  
Project Manager  
Nachhaltige Soziale Marktwirtschaft  
Telefon +49 30 275788-173  
daniel.posch@bertelsmann-stiftung.de  
<https://www.bertelsmann-stiftung.de/de/unsere-projekte/nachhaltig-wirtschaften>