



UMWELT
TECHNIK
BW



STUDIE

ANALYSE DER GREENTECH-BRANCHE
IN BADEN-WÜRTTEMBERG

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	4
1 Einleitung	5
2 Die GreenTech-Branche in Baden-Württemberg	6
2.1 Abgrenzung der Branche	6
2.2 Ökonomische Bedeutung der Branche	8
2.3 Herausragende Kompetenzen Baden-Württembergs im nationalen Vergleich	12
2.4 Internationale Märkte der GreenTech-Branche	16
3 Trends, Forschung und Entwicklung	18
3.1 Prägende Trends und Treiber für die GreenTech-Branche	18
3.2 Forschungskompetenzen in Baden-Württemberg	23
3.3 Patentierte Innovationen	26
3.4 Synopse: Landkarte der GreenTech FUE-Kompetenzen	29
4 Blick auf die Leitmärkte im Detail	30
4.1 Leitmarkt Energieeffizienz	31
4.2 Leitmarkt Wasserwirtschaft	38
4.3 Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft	47
4.4 Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz	56
4.5 Leitmarkt Luftreinhaltung	64
4.6 Leitmarkt umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung	73
5 Fazit	82
Quellenverzeichnis	84

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

Umwelttechnik BW GmbH
Landesagentur für Umwelttechnik und
Ressourceneffizienz Baden-Württemberg
Kleiner Schlossplatz 13
70173 Stuttgart

ANSPRECHPARTNERIN

Dr.-Ing. Anette Zimmermann
Leiterin Umwelttechnik
anette.zimmermann@umwelttechnik-bw.de
T 0711 25 28 41 - 37
F 0711 25 28 41 - 10
www.umwelttechnik-bw.de

ERSTELLT DURCH

Prognos AG
Autoren:
Jannis Lambert, Fabian Malik, Jan Lukas Röbbke,
Nico Dietzsch, Til Ulbrich, Philipp Hutzenthaler
dot.blue communication & design, Jutta Schlotthauer

TITELBILD

Adobe Stock/Giovanni Cancemi

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1	Leitmärkte und Marktsegmente der GreenTech Branche BW	7
ABBILDUNG 2	Erwerbstätige und Bruttowertschöpfung der GreenTech Branche BW	8
ABBILDUNG 3	Vergleich wichtiger Schlüsselbranchen in Baden-Württemberg	9
ABBILDUNG 4	Entwicklung der GreenTech-Branche im Vergleich zur Gesamtwirtschaft	9
ABBILDUNG 5	Erwerbstätige der GreenTech-Branche BW nach Leitmärkten, 2021 sowie Unternehmen, 2020	10
ABBILDUNG 6	Beschäftigte der GreenTech-Branche nach Bundesländern	13
ABBILDUNG 7	Herausragende GreenTech-Leitmärkte in BW	14
ABBILDUNG 8	Herausragende GreenTech-Marktsegmente in BW	14
ABBILDUNG 9	Weltmarkt und globale GreenTech-Exporte aus Baden-Württemberg	17
ABBILDUNG 10	Top-10 Absatzmärkte für Umwelttechnologien aus Baden-Württemberg	17
ABBILDUNG 11	Mapping des EU Green Deals und korrespondierender Strategien auf Bundes- und Landesebene Baden-Württembergs	20
ABBILDUNG 12	Leitmarktspezifische Trends für die GreenTech-Branche	22
ABBILDUNG 13	Anzahl & Anteil BW an deutschen GreenTech-Publikationen 2010 & 2021	24
ABBILDUNG 14	GreenTech-Patentanmeldungen und -Patenzitationen nach Bundesländern, 2019	27
ABBILDUNG 15	GreenTech-Patentanmeldungen in Baden-Württemberg nach Leitmärkten, 2010-2019, sowie beispielhafte Innovationsthemen	27
ABBILDUNG 16	Herausragende Akteure der GreenTech-Branche BW	29
	Kennzahlen zum Leitmarkt Energieeffizienz	31
ABBILDUNG 17	Trends im Leitmarkt Energieeffizienz	33
	Forschung und Entwicklung im Leitmarkt Energieeffizienz	34
ABBILDUNG 18	Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Energieeffizienz in Baden-Württemberg	36
ABBILDUNG 19	Top-Innovationsthemen im Leitmarkt Energieeffizienz in Baden-Württemberg	36
	Kennzahlen zum Leitmarkt Wasserwirtschaft	39
ABBILDUNG 20	Trends im Leitmarkt Wasserwirtschaft	40
	Forschung und Entwicklung im Leitmarkt Wasserwirtschaft	43
ABBILDUNG 21	Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Wasserwirtschaft in Baden-Württemberg	44
ABBILDUNG 22	Top-Innovationsthemen im Leitmarkt Wasserwirtschaft in Baden-Württemberg	45
	Kennzahlen zum Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft	48
ABBILDUNG 23	Trends im Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft	49
	Forschung und Entwicklung im Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft	52
ABBILDUNG 24	Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Kreislauf- & Abfallwirtschaft in Baden-Württemberg	53
ABBILDUNG 25	Top-Innovationsthemen im Leitmarkt Kreislauf- & Abfallwirtschaft in Baden-Württemberg	54
	Kennzahlen zum Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz	57
ABBILDUNG 26	Trends im Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz	58
	Forschung und Entwicklung im Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz	61
ABBILDUNG 27	Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Ressourcen- & Materialeffizienz in Baden-Württemberg	62
	Kennzahlen zum Leitmarkt Luftreinhaltung	65
ABBILDUNG 28	Trends im Leitmarkt Luftreinhaltung	66
	Forschung und Entwicklung im Leitmarkt Luftreinhaltung	69
ABBILDUNG 29	Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Luftreinhaltung in Baden-Württemberg	70
ABBILDUNG 30	Top-Innovationsthemen im Leitmarkt Luftreinhaltung in Baden-Württemberg	71
	Kennzahlen zum Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung	74
ABBILDUNG 31	Trends im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung	75
	Forschung und Entwicklung im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung	78
ABBILDUNG 32	Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung in Baden-Württemberg	79
ABBILDUNG 33	Top-Innovationsthemen im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung in Baden-Württemberg	80

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1	Übersicht führende Forschungsinstitutionen zum Thema GreenTech	25
TABELLE 2	Übersicht Publikationstreffer zum Thema GreenTech für alle Leitmärkte	26
TABELLE 3	Top-10 Unternehmen in Baden-Württemberg mit GreenTech-Patentanmeldungen	28
TABELLE 4	Top-10 Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg mit GreenTech-Patentanmeldungen	28

VORWORT

Liebe Leserin, lieber Leser,

die heutige Zeit ist geprägt durch verschiedene, sich überlappende ökologische Krisen: Verlust der Artenvielfalt, die nicht nachhaltige Nutzung von Ressourcen, Wasserknappheit, und natürlich der Klimawandel mit seinen dramatischen Folgen für den ganzen Globus. Hier können, zusätzlich zu ambitionierten Maßnahmen auch moderne Energie- und Umwelttechnologien – Green Tech – Lösungsansätze liefern.

Im Koalitionsvertrag haben sich die beiden Regierungsparteien vorgenommen, Baden-Württemberg zum Musterland für Green Tech aufzubauen. Es ist unser Ziel, Baden-Württemberg zum Leitmarkt und Leitanbieter im Bereich Green Tech zu etablieren.

Die nun vorgelegte Studie analysiert die sechs Leitmärkte „Energieeffizienz“, „Kreislauf- und Abfallwirtschaft“, „Wasserversorgung“, „Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung“, „Rohstoff- und Materialeffizienz“ und „Luftreinhaltung“. Sie zeigt die Relevanz der Green Tech-Branche in unserem Bundesland und deren dynamische wirtschaftliche Entwicklung. Mit über 200.000 Arbeitsplätzen hat diese Branche eine ähnlich hohe wirtschaftliche Bedeutung wie andere Schlüsselindustrien wie zum Beispiel der Fahrzeugbau oder die Elektroindustrie. Auch global ist Green Tech aus Baden-Württemberg gefragt.



© Umweltministerium/Regenscheit

Das Land fördert den Bereich der Umwelttechnologien seit vielen Jahren. Dabei begleitet die Landesagentur Umwelttechnik BW die Unternehmen als kompetente und zuverlässige Anlaufstelle. An diese erfolgreiche Arbeit werden wir in den kommenden Jahren anknüpfen, um die angestrebte Vorreiterrolle auszufüllen. Die jetzt vorliegende Studie liefert hierfür eine wichtige Grundlage.

Ich wünsche Ihnen eine spannende Lektüre und interessante Einblicke.

Thekla Walker MdB

Ministerin für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg



1

EINLEITUNG

© Shutterstock/Kleir

Zukunftsfähige Lösungen für den Umwelt- und Klimaschutz – das bietet die GreenTech-Branche in Baden-Württemberg. Als Querschnittsbranche bringt sie Unternehmen unterschiedlichster Wirtschaftszweige zusammen, von der industriellen Fertigung über das Handwerk und Baugewerbe, Ver- und Entsorgungswirtschaft sowie vielfältige Dienstleistungen bis hin zur Sekundärrohstoffwirtschaft.

Welchen ökonomischen Stellenwert hat diese Zukunftsbranche in Baden-Württemberg und wie entwickelt sie sich? Welche besonderen Schwerpunkte und Kompetenzen haben die Unternehmen im Land? Was sind die entscheidenden Trends und Innovationsthemen? Diesen Fragen geht der vorliegende Bericht

auf Basis verschiedener Untersuchungsschritte nach. Erstmals werden dabei für Baden-Württemberg umfangreiche Kennziffern zur gesamten GreenTech-Branche über verschiedene Indikatorenbereiche hinweg erhoben.

Als Schlüssel für eine zukunftsweisende Ausrichtung des Standorts möchte das Land Baden-Württemberg die GreenTech-Branche weiter fördern und ausbauen. Umwelttechnik BW, die Landesagentur für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz, unterstützt Unternehmen durch Sensibilisierung und Vernetzung, Kompetenzaufbau, Beratung und Unterstützung bei der Umsetzung. Dieser Bericht leistet hierzu einen Beitrag.

— 2 —

DIE GREENTECH-BRANCHE IN BADEN-WÜRTTEMBERG



© Adobe Stock/AA+W

2.1 ABGRENZUNG DER BRANCHE

Die GreenTech-Branche reicht von klassischen Bereichen der Umwelttechnik bis hin zu neuartigen Geschäftsmodellen. Neben dem Umweltschutz prägen Klimaschutztechnologien und Effizienzlösungen das Angebot.

Abbildung 1 zeigt die Facetten der Branche auf. Im Rahmen dieses Berichts werden die unterschiedlichen Leistungen in sechs thematische Leitmärkte strukturiert. Um einen detaillierten Einblick in die Branche zu erhalten, werden diese weiter in Marktsegmente und Technologiebereiche differenziert.

Die im Rahmen dieser Studie betrachtete GreenTech-Branche umfasst demnach alle Unternehmen, die Produkte und Dienstleistungen in den dargestellten Leitmärkten und Marktsegmenten anbieten. Neben Technologieherstellern deckt die Erfassung weitere Wertschöpfungsstufen ab, beispielsweise Beratungs- oder Bau- und Installationsleistungen. Weitere Wirtschaftsbereiche mit ökologischem Bezug, etwa die Mobilitäts-, Forst- oder Landwirtschaft, werden in anderen Institutionen des Landes behandelt und sind nicht Teil dieses Berichts.

Abbildung 1: Leitmärkte und Marktsegmente der GreenTech Branche BW

<p>ENERGIEEFFIZIENZ</p> <ul style="list-style-type: none"> · Energieeffiziente Gebäude · Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe · Effiziente Verteilungsnetze 	<p>KREISLAUF – UND ABFALLWIRTSCHAFT</p> <ul style="list-style-type: none"> · Abfalldeponierung · Abfallsammlung und -transport · Abfalltrennung und -verwertung 	<p>WASSERWIRTSCHAFT</p> <ul style="list-style-type: none"> · Abwasserreinigung · Wassergewinnung und -aufbereitung · Wassernetz 
<p>UMWELTFREUNDLICHE ENERGIEERZEUGUNG & –SPEICHERUNG</p> <ul style="list-style-type: none"> · Elektrifizierung in der Industrie · Erneuerbare Energien · Intelligente Energiesysteme und Netze · Speichertechnologien · Übergeordnete Forschung, Entwicklung und Beratung im Energiesektor 	<p>ROHSTOFF – & MATERIALEFFIZIENZ</p> <ul style="list-style-type: none"> · Querschnittstechnologien · Zirkuläre und materialeffiziente Produktionsprozesse 	<p>LUFTREINHALTUNG</p> <ul style="list-style-type: none"> · Filtertechnik und Abluftreinigungsanlagen · Katalysatoren · Mess-, Kontroll-, und Regelungstechnik für Abluft 

Prognos 2022

INFOBOX 1

ERLÄUTERUNG ZUR METHODIK



Die GreenTech-Unternehmen bilden eine Querschnittsbranche, deren Aktivitäten sich über die bestehenden klassischen Branchenzuschnitte verteilen. Für eine Analyse, die sich auf amtliche statistische Daten stützt, ist daher ein umfassender Abgrenzungsansatz erforderlich. Das Umweltwirtschaftsmodell envigos („model for environmental industry, goods and services“) der Prognos AG erfüllt diese Aufgabe. Dabei handelt es sich um ein bewährtes Analysetool, mit dem sich die ökonomische Bedeutung von Klimaschutz- und Umwelttechnologien sowie relevanten Dienstleistungsbereichen der Umweltwirtschaft auf Basis amtlicher Wirtschaftsstatistiken auf detaillierter Ebene untersuchen lassen. Es ermöglicht eine konsistente Betrachtung über vielfältige Indikatoren, mit denen sich sowohl die sozio-ökonomische Bedeutung als auch das Innovationsgeschehen und der internationale Handel analysieren lassen.

Erfasst wird die direkte Beschäftigungs- und Wertschöpfungswirkung durch Unternehmen, die Lösungen für Klima- und Umweltschutz anbieten (Anbieterperspektive). Dieser Ansatz orientiert sich an methodischen Empfehlungen von

Eurostat (EGSS)¹. Die zur Abgrenzung angelegten Kriterien sind (1) ein direkter Umweltnutzen (definiert nach EGSS), (2) die Wirkung als umweltfreundliches Substitut sowie (3) eine unterstützende Wertschöpfungsfunktion (z.B. Installations- und Beratungsleistungen). Anhand dieser Kriterien wurden über 5.000 Güter des Warenverzeichnisses für Außenhandel (WA 2021) sowie über 1.800 Einträge der Wirtschaftszweigklassifikation (WZ 2008) auf detaillierter Ebene untersucht. Erfüllt ein Produkt, ein Verfahren oder eine Dienstleistung eines dieser Kriterien, zählt es zur Umweltwirtschaft. Um so genannte dual-use Güter (d.h. Güter, die neben Umweltzwecken noch zu weiteren Zwecken eingesetzt werden) zu berücksichtigen, gehen die Einträge anteilig in die Analyse ein.

Die Analyse fokussiert sich auf Güter und Leistungen, die bereits heute im Marktgeschehen stark verankert sind und somit im Rahmen aggregierter statistischer Daten identifiziert werden können. Weitere zukunftssträchtige, aber noch nicht marktreife Technologien (z.B. CCS) werden im Rahmen der Patent- und Publikationsanalyse betrachtet.

¹ Eurostat (2016): Environmental goods and services sector accounts – Handbook 2016 edition, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-GQ-16-008>.





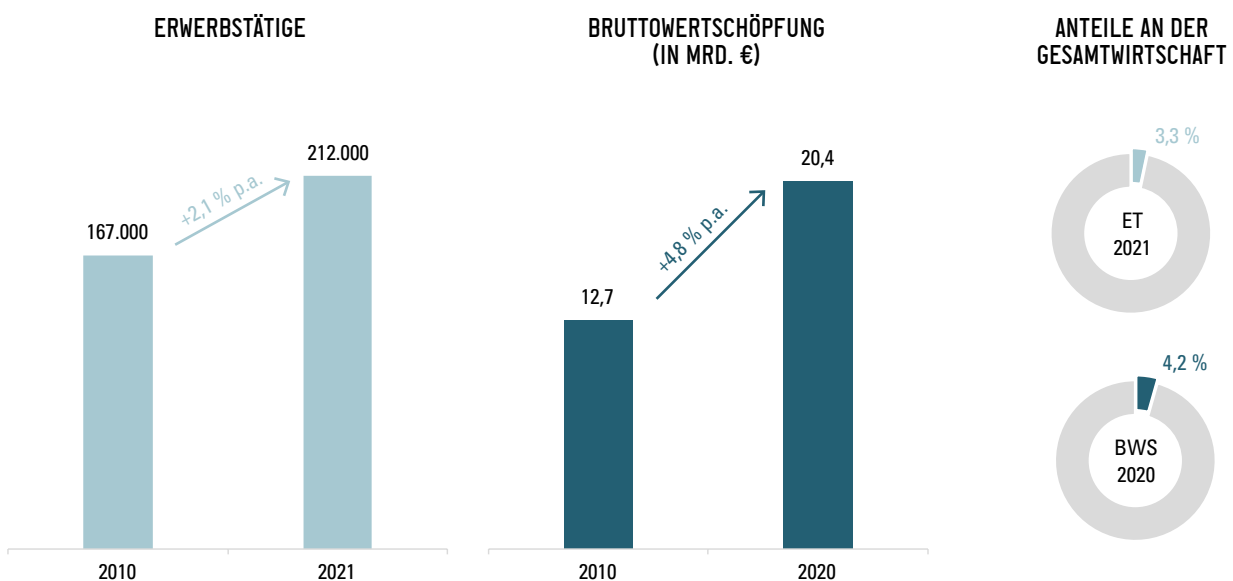
© Adobe Stock/joyfotoiaikid

2.2 ÖKONOMISCHE BEDEUTUNG DER BRANCHE

Die GreenTech-Branche ist ein signifikanter Wirtschaftsfaktor im Land. Sie bietet zukunftsgerichtete Arbeitsplätze für über 212.000 Erwerbstätige (2021). Diese erwirtschafteten eine

Bruttowertschöpfung von rund 20,4 Mrd. Euro (2020). Die Zahl der Erwerbstätigen stieg zwischen 2010 und 2021 um durchschnittlich 2,1 % pro Jahr an. Die Bruttowertschöpfung wuchs mit 4,8 % p.a. (2010–2020) sogar mehr als doppelt so schnell.

Abbildung 2: Erwerbstätige und Bruttowertschöpfung der GreenTech Branche BW



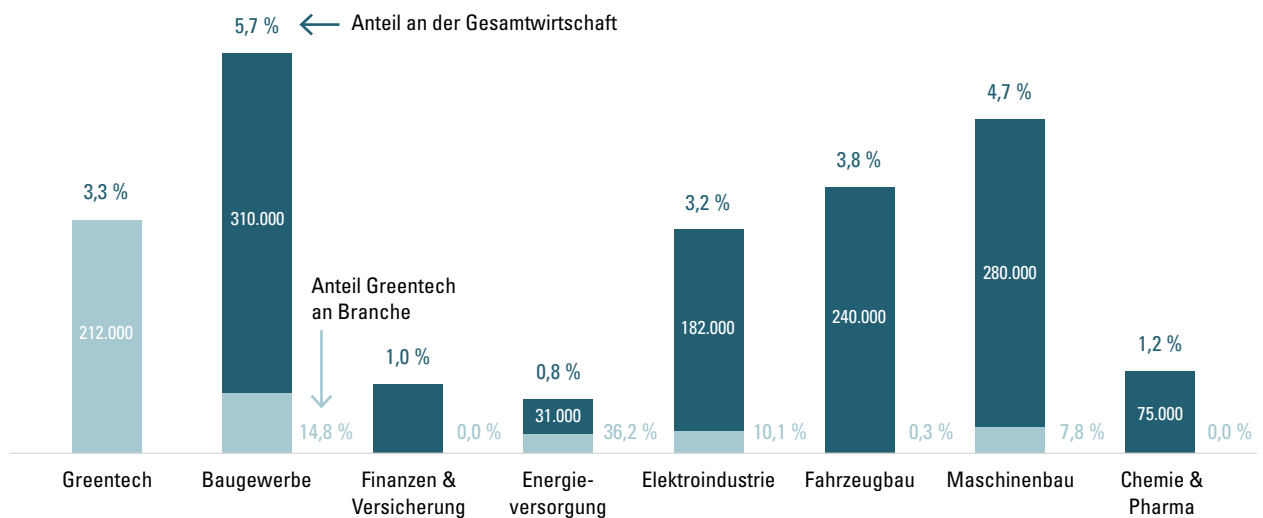
Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit, des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts

Der ökonomische Stellenwert der Branche wird durch ihre jeweiligen Anteile an der Gesamtwirtschaft verdeutlicht. Mit 3,3 % aller Erwerbstätigen und 4,4 % der Bruttowertschöpfung ist die GreenTech-Branche vergleichbar zu anderen Schlüsselbranchen des Landes wie etwa dem Maschinenbau (4,7 %), dem Fahrzeugbau (3,8 %) oder der Elektroindustrie (3,2 %).

Zu beachten ist dabei, dass Teile dieser Branchen auch in der Querschnittsbranche GreenTech berücksichtigt sind (Abbildung 3). Insbesondere in der Energieversorgung und im Baugewerbe, aber auch in der Elektroindustrie sind GreenTech-Aktivitäten ein prägender Teil des Branchenbildes.

Abbildung 3: Vergleich wichtiger Schlüsselbranchen in Baden-Württemberg

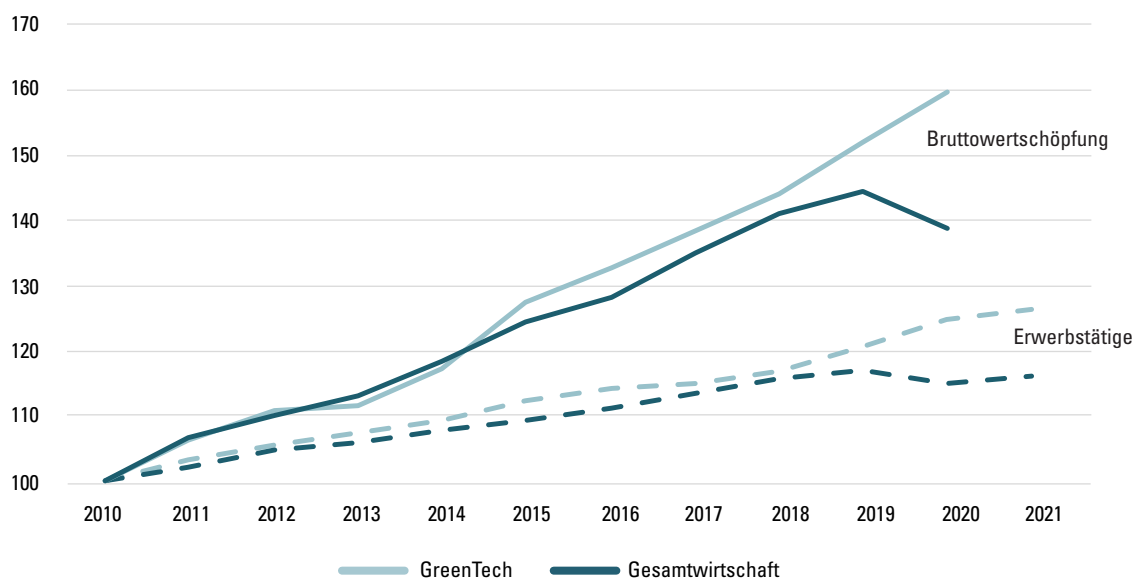
ZAHLE DER ERWERBSTÄTIGEN INKL. ANTEIL DER GREENTECH-ERWERBSTÄTIGEN SOWIE ANTEIL AN DER GESAMTWIRTSCHAFT 2021



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Statistischen Landesamts BW
 Branchen nach Klassifikation der Wirtschaftszweige: Baugewerbe WZ 41-43, Finanzen und Versicherungen WZ 64-66, Energieversorgung WZ 35, Elektroindustrie WZ 26+27, Fahrzeugbau WZ 29+30, Maschinenbau WZ 28, Chemie+Pharma WZ 20+21

Abbildung 4: Entwicklung der GreenTech-Branche im Vergleich zur Gesamtwirtschaft

ENTWICKLUNG DER BRUTTOWERTSCHÖPFUNG UND DER ERWERBSTÄTIGKEIT 2010 –2020/21, INDEXIERT, BASISJAHR 2010 = 100



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit, des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts

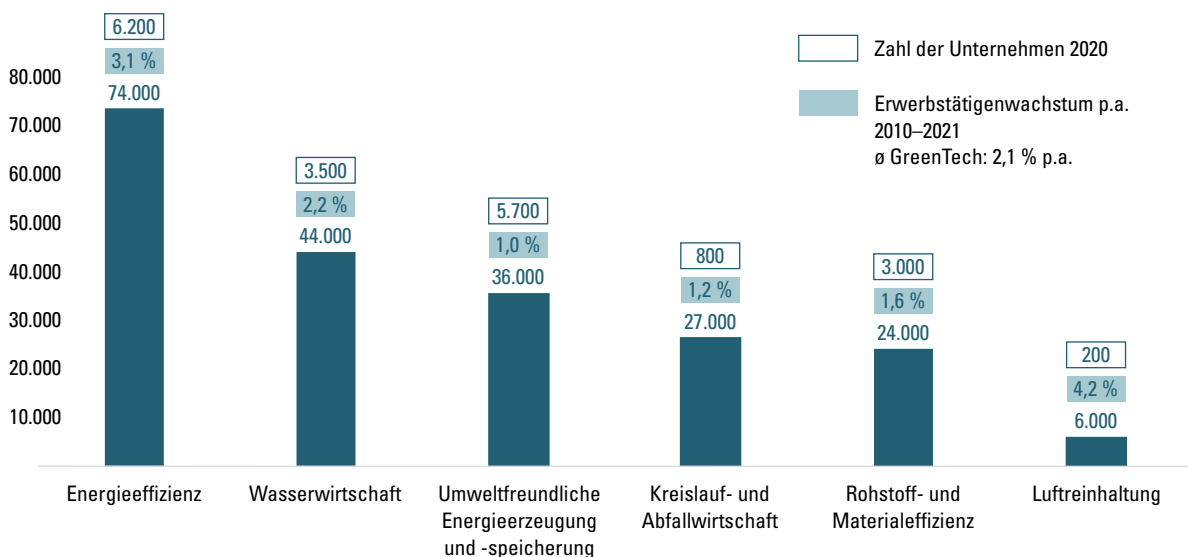
GreenTech ist eine Wachstumsbranche in Baden-Württemberg. Dies zeigt ein Vergleich der Wachstumsraten der GreenTech-Branche und der Gesamtwirtschaft im Betrachtungszeitraum 2010–2021 (Erwerbstätige) bzw. 2010–2020 (Bruttowertschöpfung). Die Zahl der GreenTech-Erwerbstätigen entwickelte sich mit +2,1 % p.a. deutlich stärker als die Gesamterwerbstätigkeit mit 1,4 % p.a. Auch beim Wachstum der Bruttowertschöpfung hebt sich die GreenTech-Branche (4,8 % p.a.) von der Gesamtwirtschaft (3,3 % p.a.) ab.

Abbildung 4 gibt einen tieferen Einblick in die Entwicklungen im Zeitverlauf. Hier zeigt sich, dass sich die GreenTech-Branche in den Jahren 2010–2014 noch weitgehend synchron zur Gesamtwirtschaft entwickelte. In den Jahren 2015–2016 erlebte die GreenTech-Branche einen Wachstumsschub. Insbesondere bei der Bruttowertschöpfung entkoppelte sich die Entwicklung von der Gesamtwirtschaft. Nach einem Dämpfer in den Jahren 2017–2018 setzt sich der Wachstumskurs seit 2018 fort. Mit Beginn der COVID-19 Pandemie im Jahr 2020 gehen die Entwicklungen der GreenTech-Branche und der Gesamtwirtschaft in beiden Indikatoren deutlich auseinander. Während die Gesamtwirtschaft einen Einbruch verzeichnet, erweist sich die GreenTech-Branche als krisenresistent und bleibt auf Wachstumskurs.

Die Situation stellt sich für die verschiedenen Leitmärkte der GreenTech-Brache unterschiedlich dar (Abbildung 5). Der mit rund 74.000 Erwerbstätigen deutlich größte Leitmarkt Energieeffizienz ist mit 3,1 % p.a. ein Wachstumstreiber innerhalb der Branche. Zu dieser Dynamik tragen insbesondere die Technologiebereiche Querschnittstechnologien für die Industrie und Effiziente Netztechnologien für Strom bei. Der zweitgrößte Leitmarkt Wasserwirtschaft liegt im Wachstumsdurchschnitt der GreenTech-Branche. Die Leitmärkte Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung, Kreislauf- und Abfallwirtschaft sowie Rohstoff- und Materialeffizienz zeigen eine schwächere Entwicklung, die sich in etwa auf dem Niveau der Gesamtwirtschaft oder leicht darunter (Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung) bewegt. Der Leitmarkt Luftreinhaltung fällt mit rund 6.000 Erwerbstätigen kleiner aus, weist jedoch ein außerordentlich hohes Wachstum auf. Die Wachstumsrate ist mit 4,2 % p.a. doppelt so hoch wie der Durchschnitt der GreenTech-Branche.

Insgesamt umfasst die Branche im Jahr 2020 19.400 Unternehmen. Analog zu den Erwerbstätigen stellt der Leitmarkt Energieeffizienz die größte Anzahl. Dahinter folgt jedoch abweichend und mit geringem Abstand der Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung (Abbildung 5).

Abbildung 5: Erwerbstätige der GreenTech-Branche BW nach Leitmärkten, 2021 sowie Unternehmen, 2020





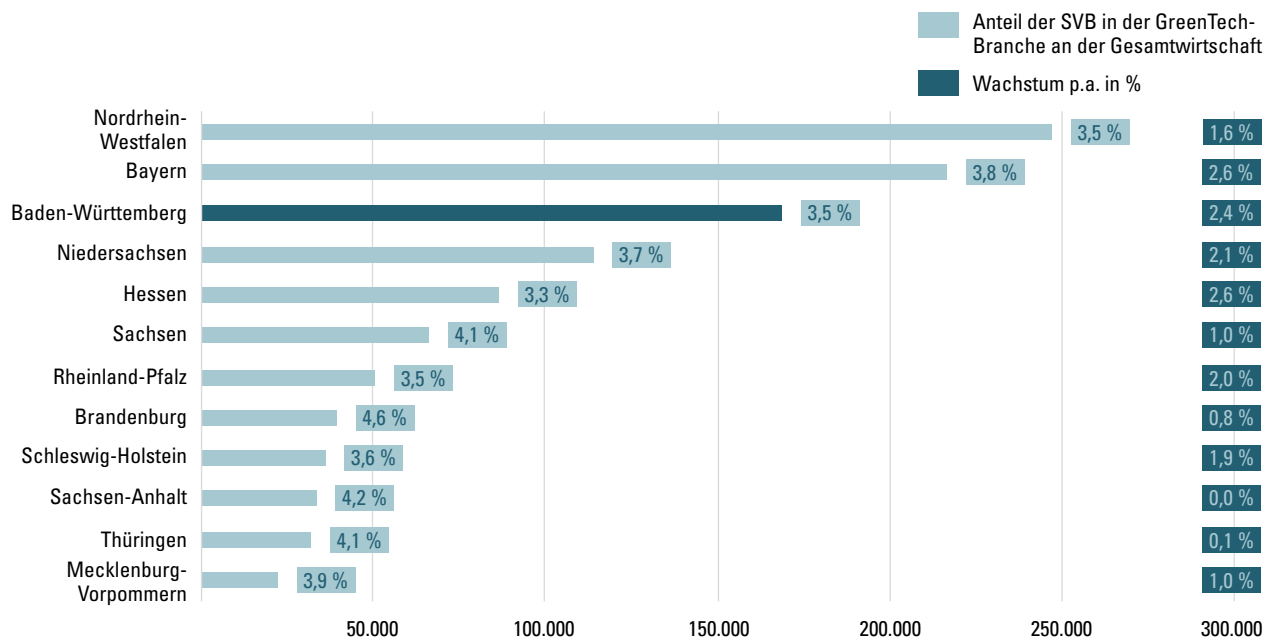


2.3 HERAUSRAGENDE KOMPETENZEN BADEN-WÜRTTEMBERGS IM NATIONALEN VERGLEICH

Nach Nordrhein-Westfalen und Bayern ist Baden-Württemberg bundesweit der drittgrößte GreenTech-Standort. Abbildung 6 vergleicht die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten der Branche in den Bundesländern. Diese machen den Großteil der weiter oben betrachteten Zahl der Erwerbstätigen aus.² In den drei industriell geprägten Bundesländern an der Spitze macht die Green-Tech-Branche einen ähnlich hohen Anteil an der Gesamtbeschäftigung aus (3,5–3,8 %). Diese Werte fallen vor allem in Ostdeutschland höher aus. In Brandenburg, Sachsen,

Sachsen-Anhalt und Thüringen liegen die Anteile über 4 %. Zu erklären ist das zum einen damit, dass einige beschäftigungsintensive Teile der GreenTech-Branche wie die Wasser- und die Abfallwirtschaft zur Daseinsvorsorge zählen, die in strukturschwächeren Regionen einen höheren Anteil an der Gesamtbeschäftigung einnimmt. Zum anderen weisen diese Länder hohe Ausbauraten von Erneuerbaren Energien auf und konnten auch einige Ansiedlungserfolge wichtiger GreenTech-Unternehmen erzielen. Die Wachstumsraten fallen insgesamt im Süden jedoch deutlich höher aus. Neben Bayern und Hessen (jeweils 2,6 % p.a.) weist Baden-Württemberg das höchste Branchenwachstum (2,4 % p.a.) auf.

² Aus Gründen der Datenverfügbarkeit fokussiert der Bundesländervergleich auf die sozialversicherungspflichtig Beschäftigten. Die Zahl der Erwerbstätigen umfasst darüber hinaus noch geringfügig Beschäftigte und Selbstständige.

Abbildung 6: Beschäftigte der GreenTech-Branche nach Bundesländern

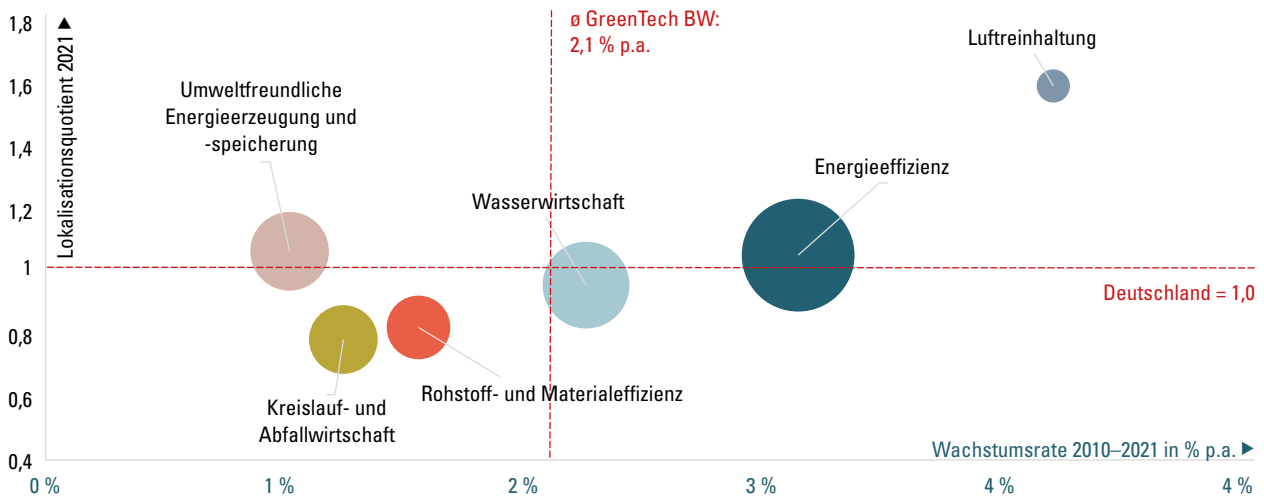
Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit.
Ohne das Saarland sowie die Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen.

Abbildungen 7 und 8 verdeutlichen die spezifischen Kompetenzbereiche der baden-württembergischen GreenTech-Unternehmen. Die Darstellungen verorten die Leitmärkte (Abbildung 7) bzw. die einzelnen Marktsegmente (Abbildung 8) der GreenTech-Branche Baden-Württembergs auf einer Matrix. Diese sind jeweils mit einem Kreis dargestellt. Die Marktsegmente eines Leitmarktes sind dabei mit derselben Farbe hinterlegt. Je größer der Kreis, desto höher ist die jeweilige absolute Zahl der Erwerbstätigen. Die Einordnung entlang der horizontalen x-Achse erfolgt nach der Wachstumsrate. Die y-Achse stellt den Lokalisationsquotient dar. Dabei handelt es sich um ein Maß für die Spezialisierung Baden-Württembergs auf bestimmte Bereiche. Es setzt den Anteil eines Leitmarkts bzw. Marktsegments an allen Erwerbstätigen in Baden-Württemberg ins Verhältnis zum entsprechenden Anteil in Deutschland. Daraus lässt sich ablesen, welche Bereiche in Baden-Württemberg überproportional ausgeprägt sind. Ein Lokalisationsquotient von 1,0 entspricht dem bundesweiten Durchschnitt. Ein Lokalisationsquotient von 1,3 oder höher deutet auf ausgeprägte Kompetenzfelder Baden-Württembergs hin.

Beim übergeordneten Blick auf die Leitmärkte (Abbildung 7) stechen insbesondere drei Bereiche hervor.

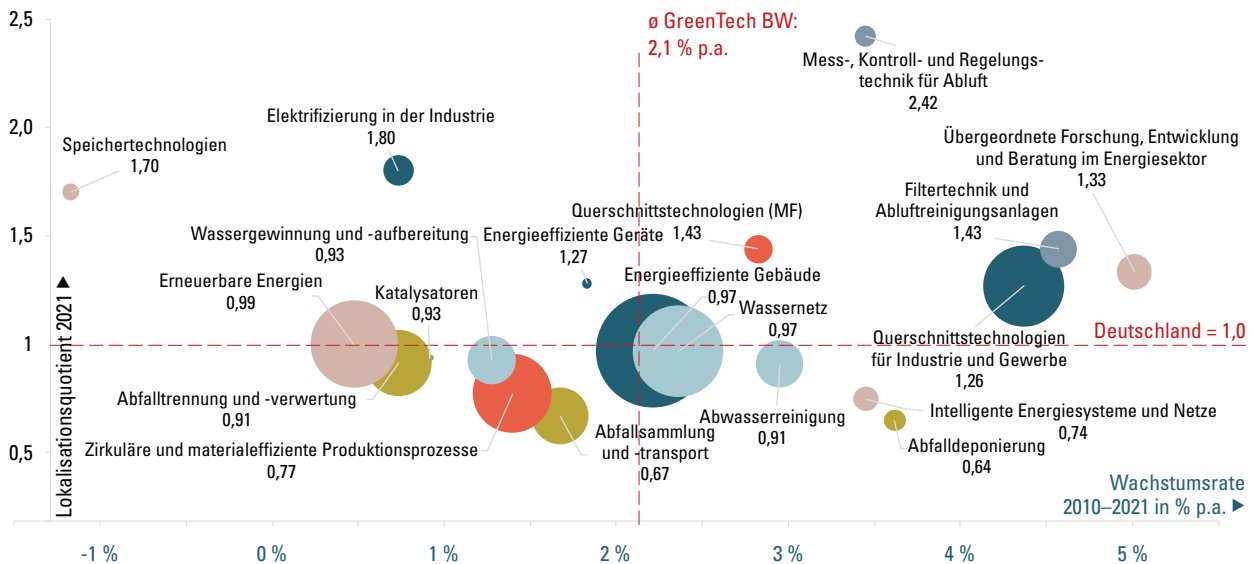
- > Energieeffizienz ist wie dargestellt nicht nur der größte, sondern auch einer der wachstumsstärksten Leitmärkte. Mit einem Lokalisationsquotient 1,05 ist dieser Bereich insgesamt in Baden-Württemberg nur leicht überdurchschnittlich ausgeprägt. Die differenzierte Betrachtung der Marktsegmente (Abbildung 8) offenbart hingegen spezifische Kompetenzfelder. Insbesondere das Marktsegment Elektrifizierung in der Industrie ist in Baden-Württemberg sehr stark ausgeprägt.
- > Der Leitmarkt Luftreinhaltung stellt sich in Baden-Württemberg als ein insgesamt sowohl wachstumsstarkes als auch sehr ausgeprägtes Kompetenzfeld dar. Dies zeigt sich in Abbildung 8 auch für die beiden prägenden Marktsegmente des Leitmarkts.
- > Der Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung ist in Baden-Württemberg mit einem Lokalisationsquotient von 1,1 leicht überdurchschnittlich ausgeprägt. Die Kompetenzen des Landes liegen dabei vor allem im Marktsegment Speichertechnologien sowie Übergeordneter Forschung, Entwicklung und Beratung im Energiesektor.

Abbildung 7: Herausragende GreenTech-Leitmärkte in BW



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Statistischen Landesamts BW

Abbildung 8: Herausragende GreenTech-Marktsegmente in BW



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit und des Statistischen Landesamts BW





© Adobe Stock/Bob

2.4 INTERNATIONALE MÄRKTE DER GREENTECH-BRANCHE

Umwelttechnologien aus Baden-Württemberg sind global gefragt (Abbildung 9). Mit 7,2 Mrd. Euro im Jahr 2021 machen GreenTech Exporte 3,2 % der Gesamtexporte Baden-Württembergs aus. Der Weltmarkt (globale Nachfrage) lässt sich für 2020 auf 364,5 Mrd. Euro beziffern. Baden-Württembergs Anteil daran liegt bei immerhin 1,7 %, Deutschland insgesamt kommt auf einen Weltmarktanteil von 12,4 %.

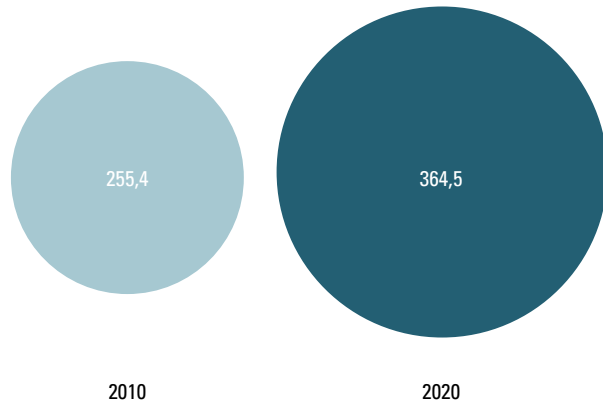
China und die USA stellen mit einigem Abstand die wichtigsten Absatzmärkte für baden-württembergische GreenTech-Unternehmen dar (Abbildung 10). Neben der Größe bleiben diese Märkte auch auf Grund ihrer Entwicklungsdynamik sehr relevant. Insgesamt spielen auch nah gelegene europäische Märkte nach wie vor eine wichtige Rolle. Rang drei bis zehn der baden-württembergischen Absatzmärkte sind ausnahmslos europäisch besetzt. Die Entwicklungstendenzen sind hier jedoch unterschiedlich. Während einzelne Märkte (Österreich, Polen, Ungarn, Niederlande) in ihrer Bedeutung zugenommen haben, geht das Geschäft mit den Nachbarn Frankreich und Schweiz sowie mit Italien zurück.

Das Exportgeschehen war in den letzten Jahren stark von der COVID-19 Pandemie beeinflusst (Abbildung 9). Von 2010 bis 2019 stiegen die baden-württembergischen Exporte um 3,0 % p.a. an – ein deutliches Wachstum, obgleich geringer als die Entwicklung der globalen Nachfrage (Weltmarkt) um 4,0 % p.a. im gleichen Zeitraum. Im Zuge des Pandemiebeginns brachen die Exporte im Jahr 2020 drastisch (-4,8 %) ein. Im Jahr 2021 zeigt sich dann allerdings mit einem Wachstum von 14,9 % ein deutlicher Kompensationseffekt. Das Gesamtvolumen der GreenTech-Exporte übersteigt mit 7,2 Mrd. Euro sogar das Vorkrisenniveau von 2019.

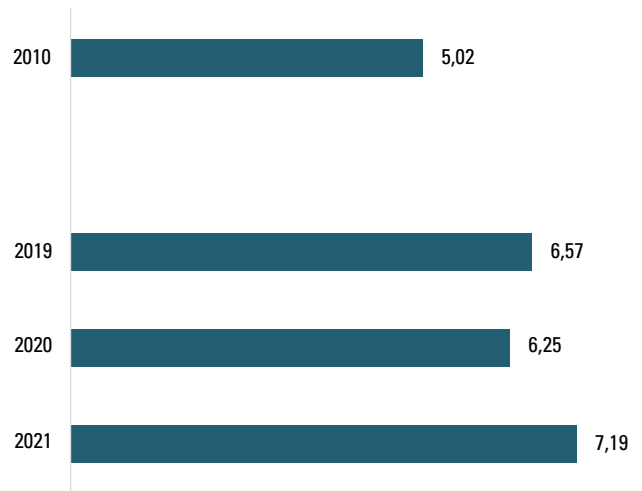
Im Vergleich zu den Gesamtexporten zeigt sich in der Pandemieentwicklung ein ähnliches Bild wie schon für die Bruttowertschöpfung (s.o.). Die Exporte der GreenTech-Branche kommen besser durch die Krisensituation. Sie brechen im Jahr 2020 zwar auch ein (-4,8 %), jedoch weniger stark als die Gesamtexporte (-7,5 %). Die Erholung im Jahr 2021 fällt dadurch allerdings auch bei den Gesamtexporten höher aus (+16,9 %) als bei den GreenTech-Exporten (+14,9 %).

Abbildung 9: Weltmarkt und globale GreenTech-Exporte aus Baden-Württemberg

WELTMARKT, IN MRD. EURO



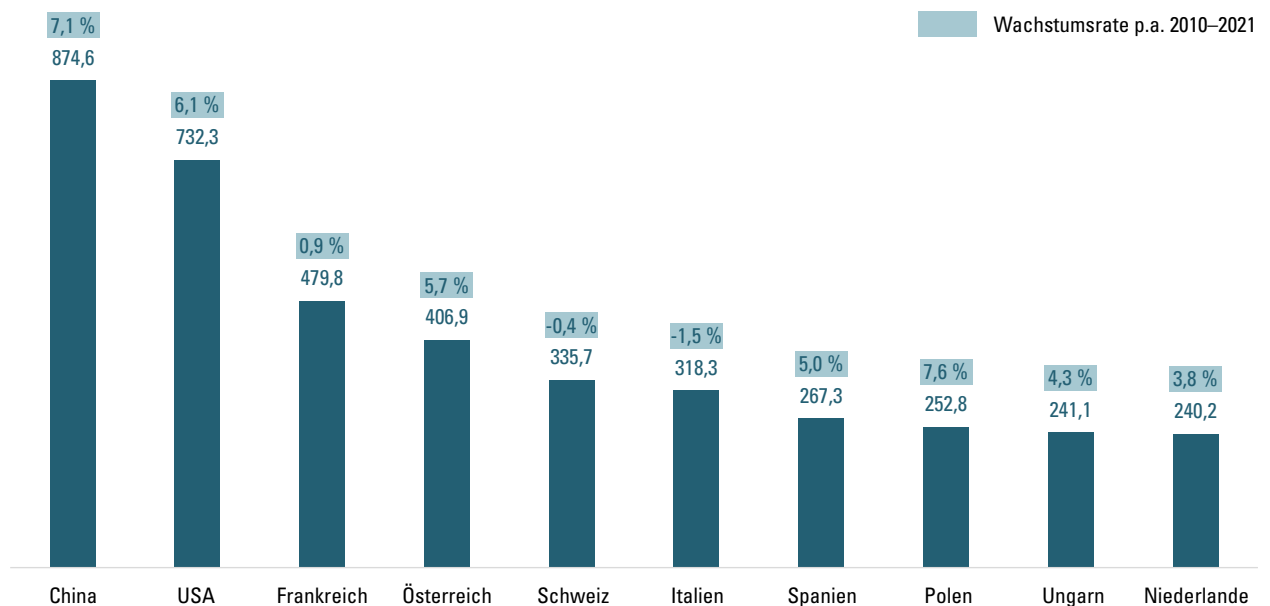
EXPORTE BADEN-WÜRTTEMBERG, IN MRD. EURO



Prognos 2022, auf Basis von Daten des Statistischen Bundesamts und des Prognos Welthandelsmodells

Abbildung 10: Top-10 Absatzmärkte für Umwelttechnologien aus Baden-Württemberg

EXPORTVOLUMEN 2021, IN MIO. EURO



Prognos 2022, auf Basis von Daten des Statistischen Bundesamts und des Prognos Welthandelsmodells



— 3 —

TRENDS, FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

© Adobe Stock/Songkhla Studio

3.1 PRÄGENDE TRENDS UND TREIBER FÜR DIE GREENTECH-BRANCHE

Die Entwicklung der GreenTech-Branche wird im Allgemeinen sowie auch in Baden-Württemberg maßgeblich durch gesellschaftliche und ökologische sowie politische und marktbezogene Treiber beeinflusst. Aktuell wird dies bspw. am russischen Angriffskrieg auf die Ukraine deutlich, der zu zahlreichen Herausforderungen, u.a. für das europäische Energiesystem, führt und ein Umdenken bei der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen bewirkt hat. Die Gaskrise verschärft die Anforderungen an Energieeffizienz und Maßnahmen zur Energieeinsparung. Zudem hat die Corona-Pandemie zu massiven Problemen bei den globalen Wertschöpfungsketten geführt, die eine Rückbesinnung auf den Wert ökonomischer Resilienz und Unabhängigkeit ausgelöst haben. Gleichzeitig wurden als Antwort auf beide Krisen große Konjunkturprogramme aufgelegt und der Staat versucht die Wirtschaft mit massiven Eingriffen zu unterstützen.

Daneben zeichnet sich auch auf globaler Ebene seit einiger Zeit ein stetig wachsendes Bewusstsein für die Bedeutung von Klima-, Natur- und Umweltschutz ab. Im Zusammenspiel der einzelnen Faktoren steigt die Bedeutung erneuerbarer Energien und ihrer Speicherung, z.B. in Form von Wasserstoff. Das Be-

streben zur Dekarbonisierung der Wirtschaft gewinnt weiter an Dynamik. Dieses neue Bewusstsein beeinflusst Konsumentenentscheidungen und führt zu Handlungsdruck bei Unternehmen und Politik. Zusätzliche Investitionen und gesetzliche Vorgaben sind die Folge. Ausdruck finden diese bereits im Green Deal der Europäischen Kommission. Dieser setzt ambitionierte Ziele: Bis 2050 sollen in der Union netto keine Treibhausgase mehr ausgestoßen und das Wirtschaftswachstum von der Ressourcennutzung abgekoppelt werden. Ein Großteil der angestoßenen Maßnahmen hat Auswirkungen auf die GreenTech-Branche.

Die skizzierten Entwicklungen lösen Handlungsdruck bei Politik und Unternehmen aus. Kosten und Emissionen müssen eingespart werden. Energiesparmaßnahmen und Klimaschutzmaßnahmen wirken sich als Treiber folglich positiv auf das Marktumfeld der GreenTech-Branche in Baden-Württemberg aus, da hier maßgebliche Technologien zur Bewältigung der Herausforderungen entwickelt und produziert werden. Die Aussicht wird allerdings durch die volkswirtschaftliche Gesamtsituation getrübt: Steigende Inflation und verringertes Investitionsvermögen werden auch die GreenTech-Branche treffen.

Eine besonders gewichtige Rolle kommt auch den politischen Treibern zu. Neue gesetzliche Vorgaben, insbesondere im Bereich der Umweltgesetzgebung, sind ein Katalysator für die

Entwicklung der Branche. Sie steigern die Nachfrage nach spezifischen Produkten und fordern und fördern mit strengeren Vorgaben die Innovationstätigkeit von Unternehmen. Dabei können Treiber auf allen administrativen Ebenen identifiziert werden: EU-Richtlinien beeinflussen die nationale Gesetzgebung, aber auch Landesinitiativen und spezielle kommunale Vorgaben treiben die Nachfrage nach GreenTech-Produkten.

Abhängig vom jeweiligen Leitmarkt lassen sich unterschiedliche gesetzliche Vorgaben identifizieren. Mit der Neufassung der TA Luft, die im Dezember 2021 in Kraft getreten ist, wurden bspw. neue Grenzwerte und Bestimmungen festgelegt, die sich am aktuellen Stand der Technik orientieren und die Nachfrage nach Luftreinigungstechnologien steigern. Die P-Rück-Initiative ist eine Landesinitiative, mit der die Phosphorrückgewinnung aus Klärschlamm gesteigert werden soll. Dies soll insbesondere vor dem Hintergrund der durch die Klärschlammverordnung und Düngemittelverordnung angestoßenen Veränderungen in der Klärschlamm Entsorgung und -verwertung geschehen. Diese stellen die Betreiberfirmen vor große fachliche Herausforderungen hinsichtlich der Klärschlamm Entsorgungssicherheit und der zukünftigen Phosphorrückgewinnung. Weitere wichtige politische Treiber, die auf EU-Ebene beschlossen wurden, sind u.a. die Aktualisierungen der Energiebesteuerungsrichtlinie, der Erneuerbare-Energien-Richtlinie oder die Energieeffizienzrichtlinie. Die Liste ließe sich noch um einige Punkte fortführen. Entscheidend ist jedoch, dass die Entwicklung der einzelnen Leitmärkte durch jeweils spezifische gesetzliche Vorgaben geprägt und getrieben wird.

Neben der politisch-juristischen Rahmensetzung befeuern auch verschiedene Förderinstrumente die Entwicklung der GreenTech-Branche. Mit dem Klima-Sozialfond stellt die EU neue Mittel zur Steigerung der Energieeffizienz und Modernisierung von Gebäuden, einer sauberen Wärme- und Kälteversorgung und der Integration erneuerbarer Energien zur Reduktion der CO₂-Emissionen von vulnerablen Haushalten und Kleinstunternehmen, bereit. Über den Innovationsfond stehen Mittel für innovative Projekte und Infrastrukturen zur Dekarbonisierung der Industrie für Großunternehmen und KMU bereit.

Die beschriebenen Maßnahmen, Richtlinien und Instrumente der EU vereinen sich alle unter dem Dach des Green Deal. Dabei stellt der Green Deal selbst kein Gesetz oder direktes Förderinstrument dar. Er ist ein politisches Konzept und liefert Zielstellungen für politische Maßnahmen. Seine einzelnen Bestandteile haben aber zum Teil sehr unterschiedliche inhaltliche Ausrichtungen und Konkretisierungsgrade. Zu nennen ist bspw. das New European Bauhaus, welches sich als kreative und transdisziplinäre Bewegung für alle Europäer versteht, um Ideen für nachhaltiges Leben neu zu denken. Gleichzeitig sollen durch unterschiedliche Allianzen konkrete Lösungen zu spezifischen Herausforderungen gefunden werden. Ein Beispiel ist die Europäische Batterie-Allianz. Sie hat zum Ziel, in der EU eine wettbewerbsfähige, zirkuläre, nachhaltige und sichere

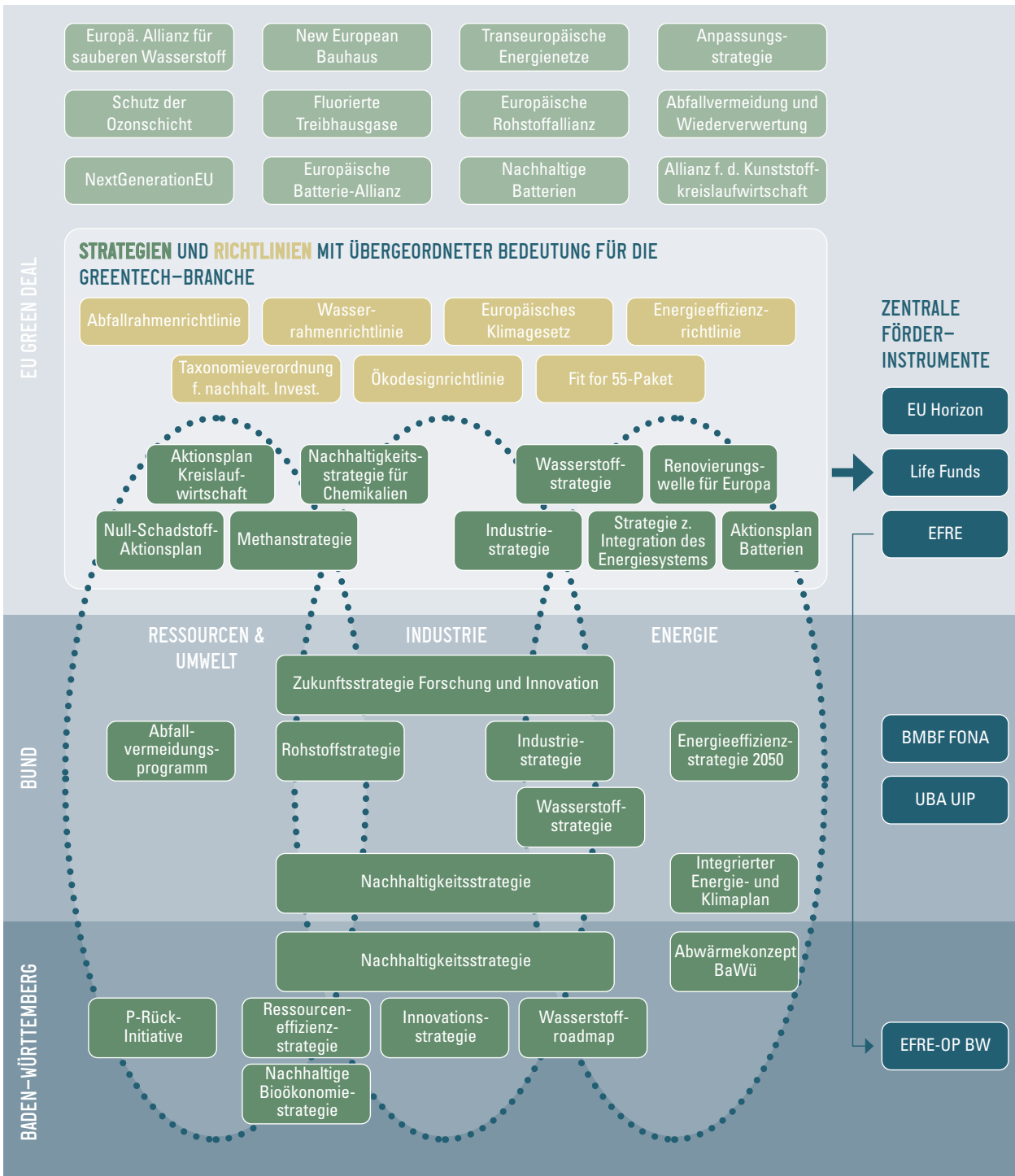
Wertschöpfungskette zur Produktion von Batterien für den Mobilitäts- und Energiesektor aufzubauen.

Zum Green Deal gehören aber auch Richtlinien und Verordnungen, welche den übergeordneten gesetzlichen Rahmen bilden. Sie definieren Standards und Mindestanforderungen für Produkte, Unternehmen oder auch Mitgliedsstaaten. Hierzu zählt bspw. die Ökodesignrichtlinie, welche die Umweltverträglichkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte verbessern will. Die EU Taxonomie zur Erleichterung nachhaltiger Investitionen hingegen zielt auf ein nachhaltigeres Finanzwesen ab. Es ist eine Art Klassifizierungssystem, welches es Anlegern erleichtern soll, zu überprüfen, ob eine geplante Investition ökologisch nachhaltig ist oder nicht.

In Summe plant die EU mindestens 1 Billion € für den Green Deal zu mobilisieren. Die Gelder sollen dabei u.a. aus dem EU-Haushalt, durch nationale Co-Finanzierung sowie durch Public-Private-Partnerships eingeworben werden. Die Umsetzung von Maßnahmen und Projekten erfolgt dann durch bestehende Förderinstrumente wie dem Horizon-Programm, den Life Funds oder dem Europäischen Fond für Regionale Entwicklung (EFRE). Welche Bereiche in Baden-Württemberg konkret gefördert werden sollen, lässt sich dem landeseigenen EFRE-Programm entnehmen.

Wie Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft in der EU zukünftig aussehen sollen, lässt sich aus den bisher erschienenen Strategien ablesen. Sie definieren u.a. Verbrauchs- und Einsparziele und verdeutlichen, welche technologischen Entwicklungen weiter vorangetrieben werden sollen, um diese Ziele zu erreichen. Abbildung 11 liefert einen Überblick zu Strategien, die für die GreenTech-Branche von übergeordneter Bedeutung sind. Zudem werden die korrespondierenden Strategien sowie weitere relevante Initiativen und Konzepte auf Bundes- und Landesebene aufgezeigt. Die Auflistung berücksichtigt dabei einen umfassenden Ausschnitt des Green Deals, bildet dennoch aber nur einen Teil aller politischen Rahmenbedingungen und Förderinstrumente ab. Der Ausschnitt verdeutlicht aber bereits, dass die GreenTech-Branche von einer Vielzahl von Strategien adressiert und dadurch auch profitieren wird.

Abbildung 11: Mapping des EU Green Deals und korrespondierender Strategien auf Bundes- und Landesebene Baden-Württembergs



Prognos 2022

Anmerkung: Die dargestellten Strategien, Richtlinien, Verordnungen und Förderinstrumente stellen eine Auswahl der für die GreenTech-Branche relevantesten Bereiche dar. Die Abbildung liefert kein vollständiges Bild der europäischen, deutschen oder landesweiten politischen Rahmenbedingungen oder Förderinstrumente.

Wie alle Branchen, ist auch die GreenTech-Branche massiven Transformationen durch die Digitalisierung unterworfen. Beispielhaft lassen sich hier die steigende Verbreitung und zunehmende Anwendung von Sensoren aller Art nennen. Sie ermöglichen die Fernsteuerung und -wartung von Anlagen, präzisere und effizientere Prozesse oder die Einführung von Predictive Maintenance. Durch die Vernetzung von Anlagen untereinander und mit Nutzerinnen und Nutzern sowie dem daraus generierten Datenaufkommen entstehen digitale Ökosysteme, die neue Technologien, Produkte und Dienstleistungen ermöglichen. Ein Beispiel dafür sind Building Information Networks, mit deren Hilfe das Zusammenspiel von Bauteilen und Materialien in Gebäuden über den gesamten Lebenszyklus hinweg beobachtet und analysiert werden kann. Darüber hinaus entwickelt sich das Thema Blockchain stetig weiter und ist inzwischen mehr als nur ein Buzzword. Vielversprechende Lösungen im Datenmanagement oder der Buchhaltung zeichnen sich ab. Auch für die Organisation und Überwachung von Lieferketten bieten Blockchain-Technologien Potenziale.

Zuletzt ist auch die zunehmende Bedeutung sektorübergreifender und systemischer Lösungen ein wichtiger Treiber der GreenTech-Branche. Ein ganzheitlicher Blick löst weltweit zunehmend ein monokausales Verständnis von gesellschaftlichen und ökologischen Herausforderungen ab und führt zu integrativen Problemlösungsansätzen, die Technologien und Nutzungsverhalten zeitgleich in den Blick nehmen. Sektorübergreifende Kooperation gewinnt so an Bedeutung und birgt neue Innovationspotenziale.

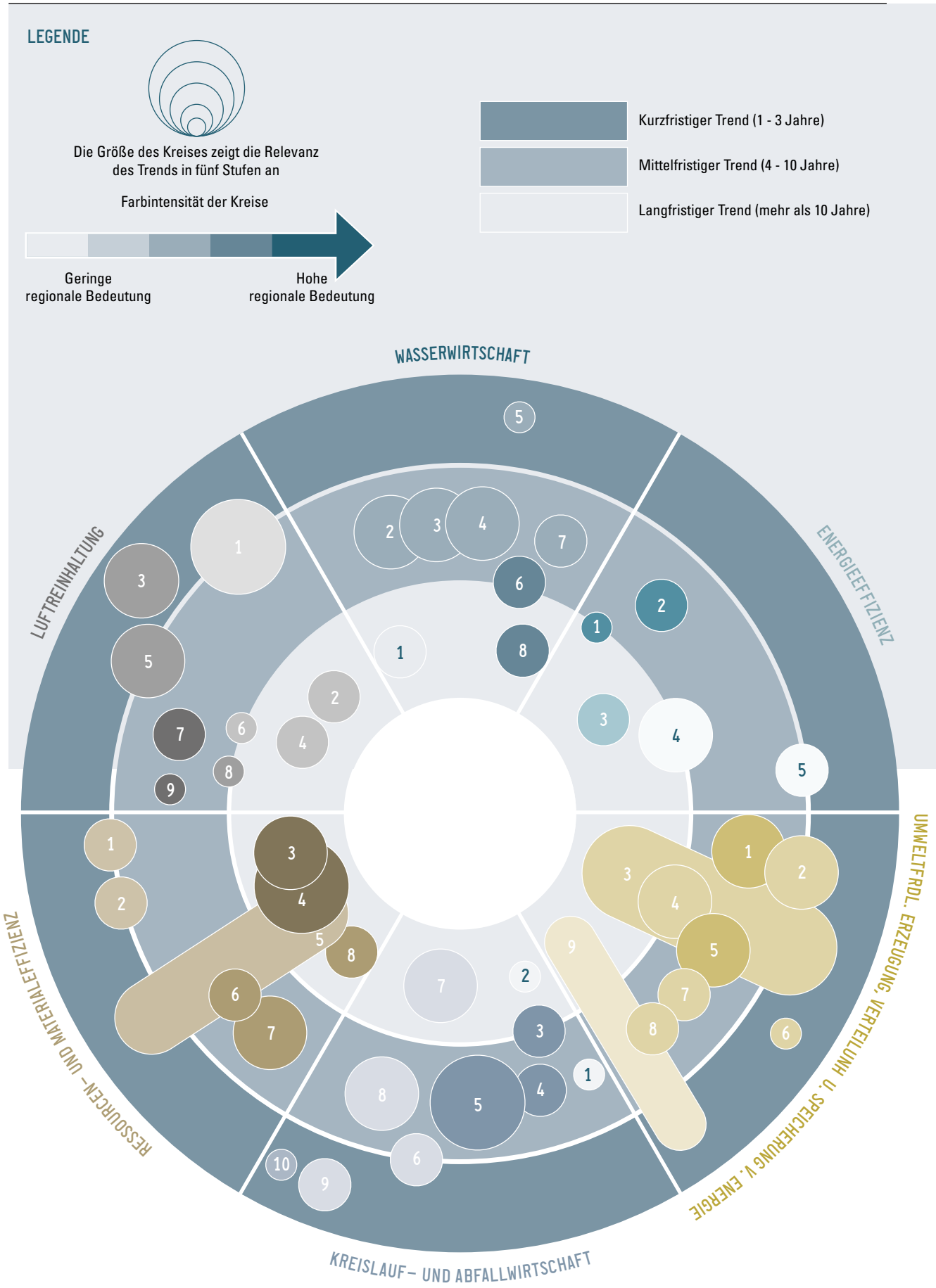
Die beschriebenen Treiber katalysieren die Entwicklung neuer GreenTech-Technologien durch Forschungseinrichtungen und Unternehmen. In den einzelnen Leitmärkten zeichnet sich dadurch eine Vielfalt von Trends ab, die die Technologieentwicklung in den nächsten Jahren und Jahrzehnten beeinflussen wird. Die Trends verstehen sich als global relevante Entwicklungen, insbesondere von Technologien, die kurz- bis langfristig von der Mehrheit der Marktakteure benötigt bzw. nachgefragt werden und die den Stand der Technik in der GreenTech-Branche verändern werden. Bei vielen dieser Trends verfügt Baden-Württemberg über Spitzenkompetenzen, sowohl bei Unternehmen als auch bei Forschungseinrichtungen. Einige Trends werden bereits jetzt durch Technologieführer vor Ort mitgeprägt.

Abbildung 12 zeigt eine umfangreiche Anzahl an identifizierten Trends für die Leitmärkte Wasserwirtschaft, Energieeffizienz, Ressourcen- und Materialeffizienz, Luftreinhaltung, Kreislauf- und Abfallwirtschaft sowie umweltfreundliche Erzeugung, Verteilung und Speicherung von Energie. Diese Trends wurden in den drei Dimensionen Relevanz, regionale Bedeutung und zeitlicher Horizont bewertet.

Das methodische Vorgehen zur Identifikation und Bewertung der leitmarktspezifischen Trends stützt sich auf einen mehrstufigen Prozess. Zunächst wurden im Rahmen einer ausführlichen Literaturrecherche wichtige Trends und Treiber der GreenTech-Branche identifiziert und inhaltlich befüllt. Daran anschließend wurden die Trends in mehreren Iterationen bewertet und ergänzt. Hierzu zählte ein Trendworkshop mit Unternehmensvertreterinnen und Unternehmensvertretern aus Baden-Württemberg, eine ausführliche weltweite Publikationsanalyse auf Basis der Scopus-Datenbank (vgl. Infobox 2 unten) sowie eine Bewertung durch einen Prognos-ExpertInnenpanel.

Die genaue Aufschlüsselung und Erläuterung der leitmarktspezifischen Trends erfolgt in Kapitel 4.

Abbildung 12: Leitmarktspezifische Trends für die GreenTech-Branche



LUFTREINHALTUNG

- 1 Direktreduktionsanlagen mit Wasserstoff
- 2 Verfahren zur Entstaubung
- 3 DACCS
- 4 Luftqualität in Innenräumen
- 5 CCU und CCS
- 6 Citizen Science
- 7 Monitoring der Luftqualität
- 8 Methanabscheidung
- 9 Stickoxidabscheidung

WASSERWIRTSCHAFT

- 1 Intelligente Überwachung von Wassernetzen
- 2 Rückgewinnung von Phosphor
- 3 Rückgewinnung von Edel-, Bunt- und Schwermetallen
- 4 Energieeffizienz von Kläranlagen
- 5 Mikroalgen zur biologischen Abwasserbehandlung
- 6 Membranverfahren zur Wasseraufbereitung
- 7 Mikrobielle Brennstoffzellen
- 8 Vierte Reinigungsstufe

ENERGIEEFFIZIENZ

- 1 Innovative Dämmmaterialien
- 2 Niedrigenergie- und Passivhäuser
- 3 Neue Geschäftsmodelle im Energiebereich
- 4 Energierückgewinnung aus Abwärme
- 5 Energie-Contracting

UMWELTFREUNDLICHE ERZEUGUNG, VERTEILUNG UND SPEICHERUNG VON ENERGIE

- 1 Neue Anwendungsfelder für Photovoltaik
- 2 Power2X
- 3 Elektrochemische Speichertechnologien
- 4 Digitale Ökosysteme
- 5 Erneuerbare Fernwärme
- 6 Concentrated Solar Power
- 7 Hochtemperaturspeicher
- 8 Alternative Kältemittel
- 9 Ultrahochspannungs-Gleichstrom und Makro-Netze

KREISLAUF- UND ABFALLWIRTSCHAFT

- 1 Verfahren zum Recycling von Lösungsmitteln
- 2 Anreicherung von Schadstoffen
- 3 Whole-life cycle approach
- 4 Recycling von Verbundbau und -werkstoffen
- 5 Re- und Upcycling von Baustoffen
- 6 Chemisches Recycling
- 7 Kreislauffähige Verpackungs- und Transportlösungen
- 8 Elektroschrott-Recycling
- 9 Plastik abbauende Enzyme und Bakterien
- 10 Urban Mining

RESSOURCEN- UND MATERIALEFFIZIENZ

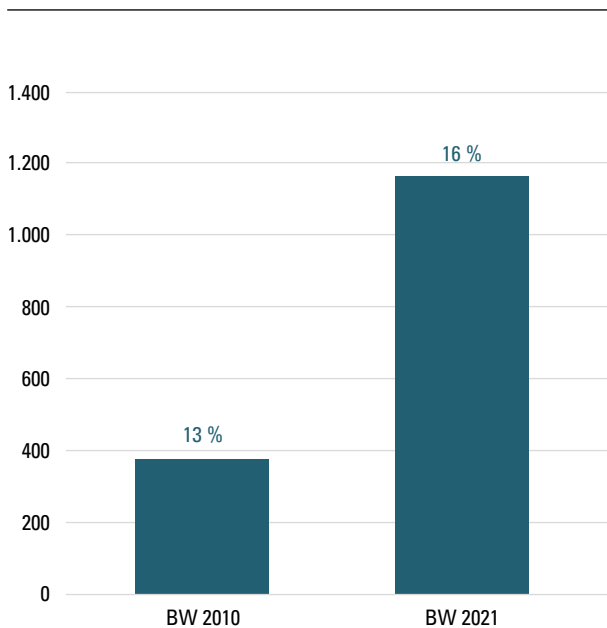
- 1 Biotechnologische Herstellung von Chemikalien
- 2 Biobasierte Materialien
- 3 Remanufacturing
- 4 Industrie 4.0 und Digitalisierung
- 5 Produkt-Service-Systeme
- 6 CO₂-basierte Materialien
- 7 Organische Elektronik
- 8 Verbundwerkstoffe

3.2 FORSCHUNGSKOMPETENZEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

In Anbetracht der dargestellten Trends sind ausgeprägte Forschungskompetenzen ein wichtiges Merkmal eines erfolgreichen GreenTech-Standortes. Um die diesbezügliche Stellung Baden-Württembergs zu analysieren, wurde eine Publikationsanalyse durchgeführt. Das methodische Vorgehen ist in Infobox 1 genauer beschrieben. Die Anzahl der Publikationen wird dabei als Indikator für den Umfang der Forschungsaktivitäten interpretiert.

Die baden-württembergische Forschung hat im GreenTech-Sektor im zurückliegenden Jahrzehnt enorm an Bedeutung gewonnen. Abbildung 3 zeigt, dass sich die Anzahl der Publikationen zum Thema GreenTech in Baden-Württemberg im Jahr 2021 gegenüber dem Wert von 2010 verdreifacht hat. Dieses im bundesweiten Vergleich überdurchschnittliche Wachstum hat dafür gesorgt, dass sich der Anteil von Baden-Württemberg an den bundesweiten Publikationen zu GreenTech-Themen von 13% auf 16% erhöht hat. Damit wird aktuell circa jede sechste Publikation in Deutschland zum Thema GreenTech in Baden-Württemberg publiziert.

Abbildung 13: Anzahl & Anteil BW an deutschen GreenTech-Publikationen 2010 & 2021



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

Zusätzlich zum nationalen Vergleich stellt sich die Frage, wie baden-württembergische Institutionen im Vergleich mit weltweit führenden Institutionen im GreenTech-Sektor abschneiden. Die herausragendsten Institutionen weltweit, in Deutschland sowie in Baden-Württemberg sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Im internationalen Forschungsgeschehen sind chinesische Institutionen führend und belegen die Plätze 1 bis 4. Das Bildungsministerium der Volksrepublik China weist als globaler Spitzenreiter 24.500 Publikationen im Bereich GreenTech auf. Es beaufsichtigt als Behörde des Staatsrats das Bildungswesen im gesamten Land und ist auch in der Forschung aktiv.³ Die Chinesische Akademie der Wissenschaften (CAS) publiziert fast genauso viel mit knapp 23.600 Publikationen. Die CAS spielt eine wichtige Rolle als Thinktank für die nationale Entwicklung von Wissenschaft und Technologie. Die Institution umfasst über 1.000 Einrichtungen in China. Dazu gehören 104 Forschungsinstitute, 12 Zweigakademien, drei Universitäten, sowie fast 200 Schlüssellabore und technische Zentren. Dort forschen über 56.000 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, von denen ungefähr 22.800 Professoren und Professorinnen sind.⁴ Auf Grund der zentralistischen Organisation werden trotz der verzweigten Struktur alle Publikationen in der

INFOBOX 2: METHODIK ZUR PUBLIKATIONSANALYSE

Die Forschungskompetenzen in Baden-Württemberg wurden auf Basis der Publikationsdatenbank Scopus ausgewertet. Dabei handelt es sich um eine der größten internationalen Datenbanken für wissenschaftliche Literaturnachweise. Scopus enthält über 84 Millionen Literaturnachweise und Abstracts, mehr als 25.800 peer-reviewed Journals und rund 249.000 Bücher. Für die Analyse jedes Leitmarktes wurden Suchbegriffe/Schlagworte identifiziert, welche das Themenspektrum im jeweiligen Leitmarkt abbilden. Dabei wurden wichtige Innovationsthemen und Trends für jeden Leitmarkt berücksichtigt. Anschließend wurde Scopus für jeden Leitmarkt nach Publikationen gescreent, welche diese Schlagworte im Publikationstitel oder Abstract enthalten, oder bei denen das Schlagwort einem von mehreren von Scopus für jede Publikation definierten Schlüsselwörtern entspricht. Die Suche konzentrierte sich dabei auf den Zeitraum von 2010 bis 2021. Für jeden Leitmarkt konnten so die wichtigsten Institutionen weltweit, in Deutschland und in Baden-Württemberg ermittelt werden. Die Ergebnisse werden für jeden Leitmarkt differenziert sowie für den GreenTech-Sektor insgesamt ausgewertet.

Datenbank dem CAS insgesamt zugeordnet – nicht zuletzt ein Grund für den außerordentlichen Publikationsumfang. Herausgelöst ist lediglich die Universität der Chinesischen Akademie der Wissenschaften (UCAS), die der CAS unterstellt ist und auf Platz 4 im weltweiten Ranking liegt. Die UCAS, eine der öffentlichen Universitäten Chinas, umfasste 2021 knapp 3.200 Professoren und Professorinnen und betreute als größte Graduiertenschule Chinas circa 57.400 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen, von denen über die Hälfte (51,3%) an ihrem PhD arbeiten.⁵ Die Tsinghua Universität nimmt im Vergleich dazu mit rund 2.500 Professoren und Professorinnen sowie knapp 20.000 weiteren forschenden Personen etwas geringere Ausmaße an, liegt im Publikationsranking aber trotzdem vor der UCAS.⁶

Das Nationale Zentrum für wissenschaftliche Forschung Frankreichs, die CNRS aus Nancy komplettiert die Top-5 und ist in allen Wissensgebieten präsent. Die CNRS besitzt dabei ein jährliches Budget von circa 3,8 Mrd. Euro, beschäftigt über 33.000 Angestellte, die Forschung betreiben und besitzt 1.144 Forschungslabore in Frankreich und im Ausland.⁷ Die stärker dezentral organisierte Forschungslandschaft in Deutschland umfasst in der Regel deutlich kleinere Institutionen. Insgesamt sechs Institutionen aus Deutschland befinden sich unter den Top-150 weltweit. Führend in Deutschland ist dabei die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH), die den 42sten Platz im internationalen Vergleich belegt. Die RWTH Aachen hat dabei als nationaler Spitzenreiter im Zeit-

³ Quelle: <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/china-education-and-training>

⁴ Quelle: https://english.cas.cn/about_us/introduction/201501/t20150114_135284.shtml

⁵ Quelle: <https://english.ucas.ac.cn/index.php/about-ucas/introduction>

⁶ Quelle: https://www.tsinghua.edu.cn/en/About/Facts_and_Figures.html

⁷ Quelle: <https://www.cnrs.fr/en/cnrs>

raum 2010 bis 2021 fast halb so viel publiziert wie die CNRS aus Nancy (vgl. Tabelle 1).

Nach der Technischen Universität München kommt auf dem dritten Platz in Deutschland mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) bereits die erste baden-württembergische Institution. Das KIT hat dabei im untersuchten Zeitraum knapp 2.800 Publikationen veröffentlicht. Als Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft ist das KIT mit mehr als 5.500 Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen eine der größten Wissenschaftseinrichtungen im europäischen Vergleich und die einzige deutsche Exzellenzuniversität mit nationaler Großforschung.⁸ Die fachliche Ausrichtung ist stark naturwissenschaftlich geprägt, mit Schwerpunkten in den Themengebieten Ingenieurwissenschaften, Physik, Materialwissenschaften, Computerwissenschaften und Chemie. Neben dem KIT zählt auch die Universität Stuttgart als zweite baden-württembergische Institution zu den Top-150 im weltweiten Vergleich. Als technisch orientierte Universität verfügt sie über ähnliche Themenschwerpunkte wie das KIT. Die Universität Stuttgart ist ebenfalls eine Exzellenzuniversität. Die beiden von 2018 bis 2025 geförderten Exzellenzcluster sind „Datenintegrierte Simulationwissenschaften“ und „Integratives computerbasiertes Planen und Bauen für die Architektur.“⁹ Diese beiden Top-Institutionen bündeln ihre Forschungskompetenzen in den Bereichen

Produktion und Mobilität. Dafür wurde zusammen mit dem Land Baden-Württemberg im Juli 2019 der InnovationsCampus Mobilität der Zukunft (ICM) gegründet. Der ICM hat dabei das Ziel, durch interdisziplinäre Grundlagenforschung disruptive Technologien sowie neue Innovationsprozesse und Sprunginnovationen bei sogenannten enabling technologies hervorzubringen und diese in die reale Wirtschaft zu übertragen.¹⁰ Dabei sind Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus den Gebieten Produktentwicklung, Produktionstechnik, Fahrzeugtechnik, Chemie, Werkstoffe, Elektrotechnik, Flugzeugbau und Werkzeugmaschinen von beiden Universitäten gemeinsam für den ICM tätig.

Im weltweiten Ranking belegt das KIT den 74sten Rang und die Universität Stuttgart den 137sten Rang. Beide Institutionen spielen eine herausragende Rolle für den gesamten GreenTech-Sektor in Baden-Württemberg. In fünf der sechs Leitmärkte finden sich die beiden Einrichtungen an der Spitze der baden-württembergischen Forschung, darüber hinaus im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung & -speicherung unter den Top-5 in Baden-Württemberg.

Neben diesen beiden Top-Institutionen ist auch die Stadt Freiburg ein wissenschaftliches Zentrum für den GreenTech-Sektor. Sowohl das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme als auch die Universität Freiburg auf dem 3ten und 4ten Rang in Baden-Württemberg sind dort ansässig. Die Top-5 werden komplettiert von der Universität Hohenheim. (vgl. Tabelle 1).

⁸ Quelle: <https://www.kit.edu/kit/forschungsuniversitaet-in-der-hgf.php>

⁹ Quelle: <https://www.uni-stuttgart.de/universitaet/>

¹⁰ Quellen: <https://www.icm.kit.edu/24.php>; <https://www.icm.kit.edu/24.php>

Tabelle 1: Übersicht führende Forschungsinstitutionen zum Thema GreenTech

Institution	Rang global	Rang Deutschland	Standort	Anzahl Publikationen (2010-2021)
Bildungsministerium Volksrepublik China	1		CHN (Peking)	24.510
Chinesische Akademie der Wissenschaften	2		CHN (Peking)	23.576
Tsinghua Universität	3		CHN (Peking)	12.699
Universität der Chinesischen Akademie der Wissenschaften	4		CHN (Peking)	8.724
CNRS Centre National de la Recherche Scientifique	5		FR (Nancy)	8.463
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen	42	1	DE (Aachen)	3.444
Technische Universität München	52	2	DE (München)	3.183
Karlsruher Institut für Technologie	74	3	DE, BW (Karlsruhe)	2.772
Technische Universität Dresden	103	4	DE (Dresden)	2.366
Technische Universität Berlin	107	5	DE (Berlin)	2.352
Universität Stuttgart	137	6	DE, BW (Stuttgart)	1.979
Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)		10	DE, BW (Freiburg)	1.149
Universität Freiburg		20	DE, BW (Freiburg)	765
Universität Hohenheim		34	DE, BW (Stuttgart)	527

Tabelle 2 stellt die Anzahl der Publikationstreffer nach Leitmarkt in der Welt, für Deutschland und Baden-Württemberg dar sowie den relativen Anteil der baden-württembergischen Institutionen an den nationalen Publikationen für jeden Leitmarkt. Dabei zeigt sich, dass starke Unterschiede zwischen der absoluten Anzahl der Publikationen zwischen den Leitmärkten bestehen. Die beiden Leitmärkte Energieeffizienz und Umweltfreundliche Energieerzeugung & -speicherung weisen dabei mehr als 10-mal so viele Publikationstreffer im Vergleich zu den Leitmärkten Luftreinhaltung und Rohstoff- & Materialeffizienz für alle drei geographischen Kategorien auf. Das deutet auf unterschiedlich starke Forschungsaktivitäten in den verschiedenen Leitmärkten hin, auch wenn berücksichtigt werden muss,

dass nicht jeder Leitmarkt notwendigerweise gleich gut mittels der für den Leitmarkt identifizierten Suchbegriffe abgebildet werden kann.

Baden-Württemberg ist über alle Leitmärkte hinweg ähnlich stark positioniert, wie sich am relativen Anteil an den deutschlandweiten Publikationen je Leitmarkt zeigt. Dieser liegt bei allen Leitmärkten zwischen 13 % und 18 %. Das obere Ende markiert dabei der mit Abstand publikationsstärkste Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung & -speicherung, gefolgt von den Leitmärkten Rohstoff- & Materialeffizienz und Wasserwirtschaft. Ein genauerer Blick in die Schwerpunkte der Leitmärkte erfolgt im Kapitel 4.

Tabelle 2: Übersicht Publikationstreffer zum Thema GreenTech für alle Leitmärkte

Leitmarkt	Treffer			Anteil BW an Deutschland
	Welt	Deutschland	Baden-Württemberg	
Energieeffizienz	473.055	26.258	3.857	15 %
Kreislauf- & Abfallwirtschaft	53.366	3.845	515	13 %
Luftreinhaltung	26.244	2.124	294	14 %
Rohstoff- & Materialeffizienz	14.538	1.990	309	16 %
Umweltfreundliche Energieerzeugung & -speicherung	556.947	31.463	5.731	18 %
Wasserwirtschaft	184.119	6.217	1.013	16 %
GreenTech Sektor Gesamt	1.193.988	65.039	10.280	16 %

Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

3.3 PATENTIERTE INNOVATIONEN

Eine Untersuchung der Patentanmeldungen erlaubt eine weitere Einordnung des Innovationsgeschehens. Im Vergleich zu den im vorangegangenen Abschnitt betrachteten Publikationen spiegeln Patente auch wirtschaftliche Erwartungen an die Entwicklungen wider.

Zur Analyse der Patentaktivitäten werden zwei Indikatoren betrachtet:

- > Die Zahl der Patentanmeldungen: Sie stellen ein Maß für den Umfang der Innovationsaktivitäten in einer Region dar.
- > Die Zitationen der Patente: Auch Patente werden – ähnlich wissenschaftlichen Publikationen – zitiert. Dabei handelt es sich um Nennungen eines Patents in Folgepatenten. Je häufiger ein Patent in anderen Patentanmeldungen zitiert wird, desto größer kann seine Bedeutung eingeschätzt werden. Zitationen sind daher ein Indikator für die Qualität der Innovationsleistung.

2019 kam jedes fünfte GreenTech-Patent aus Baden-Württemberg. Das Bundesland nimmt somit bundesweit Rang 2 bei den Patentanmeldungen ein (Abbildung 14). Der Anteil des Spitzen-

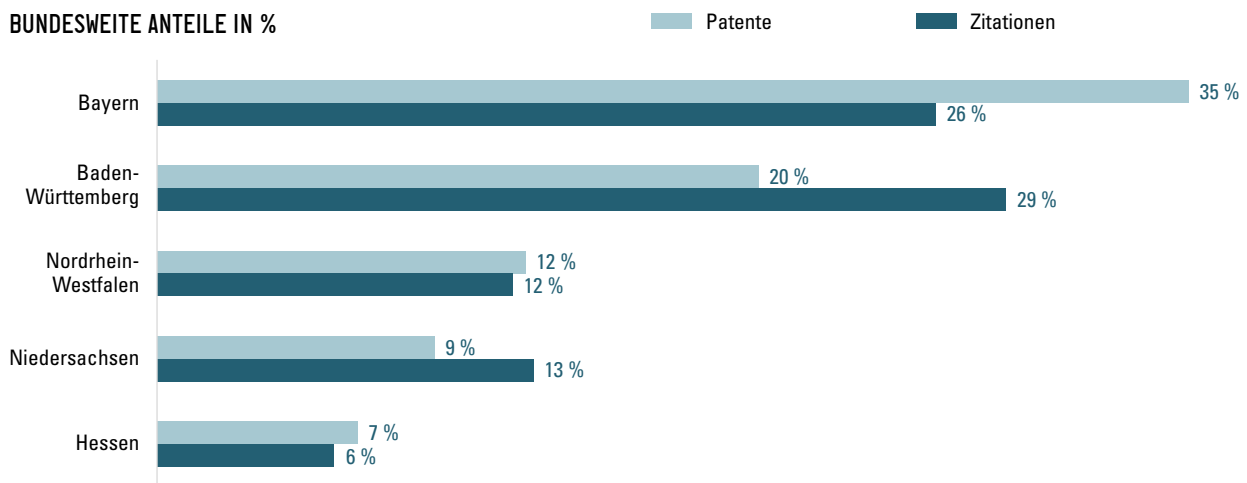
INFOBOX 3: METHODIK ZUR PATENTANALYSE

Die Patentanalyse basiert auf den globalen Patentdaten des Europäischen Patentamts (EPO Worldwide Patent Statistical Database, PATSAT). In dieser Datenbank sind über 100 Millionen Patente von über 80 nationalen und internationalen Patentämtern und damit aller ökonomisch bedeutenden Staaten der Erde hinterlegt.

Die Identifikation der umweltwirtschaftsbezogenen Patente erfolgt im Rahmen der gemeinsamen Patentklassifikationssysteme (Cooperative Patente Classification – CPC) und der internationalen Patentklassifikation (International Patent Classification IPC). Die Zuordnung basiert auf Vorarbeiten von OECD und WIPO, die auf die Abgrenzung der GreenTech-Branche (siehe Kapitel 1) übertragen und entsprechend ergänzt wurden.

Die Patentdaten liegen regionalisiert auf Postleitzahlenebene vor und werden mit Bezug auf die jeweiligen Erfinder und Erfinderinnen anteilig geografisch zugeordnet, um Aussagen auf Bundesländerebene treffen zu können.

Abbildung 14: GreenTech-Patentanmeldungen und -Patentzitationen nach Bundesländern, 2019



Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

reiters Bayern liegt bei rund einem Drittel. Zusammen gehen somit auf die beiden süddeutschen Nachbarn fast die Hälfte (45 %) der bundesweiten Patentanmeldungen im GreenTech-Bereich zurück.

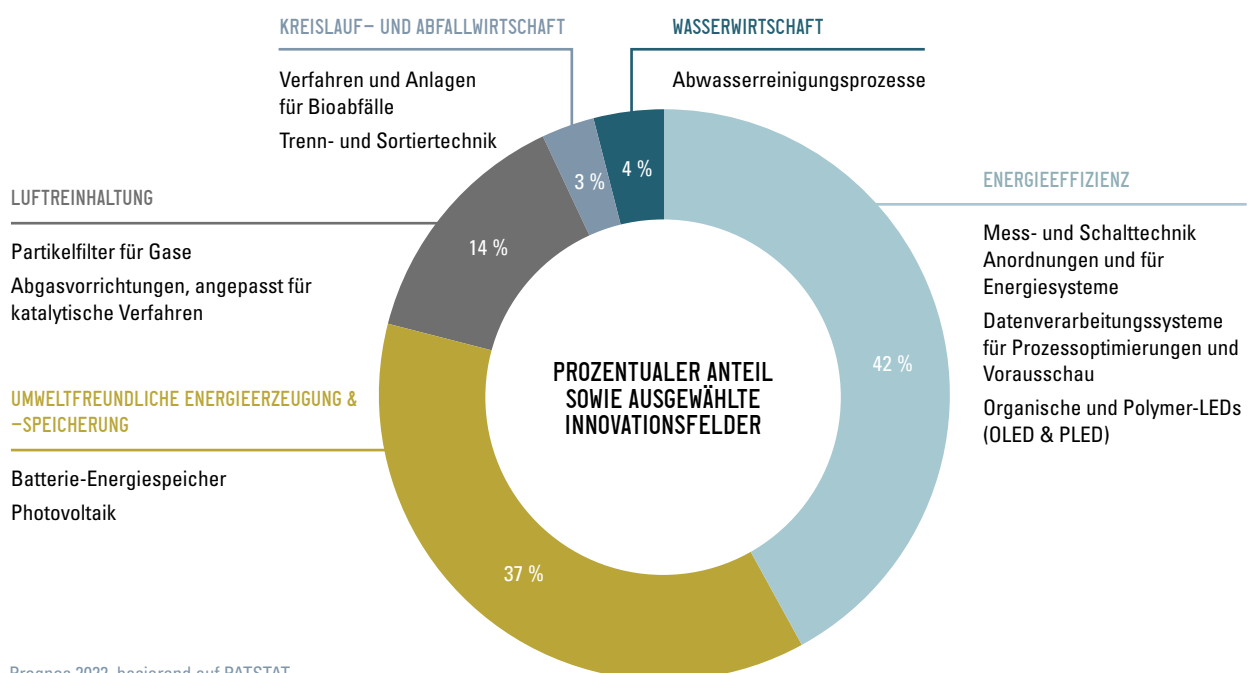
Obwohl Bayern über deutlich mehr Patentanmeldungen verfügt, kommen die bedeutendsten Innovationen aus Baden-Württemberg. Dies lässt sich aus den Patentzitationen ableiten, bei denen Baden-Württemberg bundesweit die Spitzenposition belegt.

Abbildung 15 zeigt die Verteilung der baden-württembergischen Patentaktivitäten auf die verschiedenen Leitmärkte der Green-Tech-Branche für den Gesamtbetrachtungszeitraum 2010-2019. Ähnlich wie bei den Publikationen prägen die beiden energie-

bezogenen Märkte das Geschehen. Bei den Patenten liegt der Leitmarkt Energieeffizienz vorne. Auf ihn beziehen sich über zwei Fünftel der Patentanmeldungen. Mehr als ein Drittel geht auf den Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung zurück. Die Top-3 Innovationsthemen der Green-Tech-Branche in Baden-Württemberg sind Energiespeicher, Messtechnik für Energiesysteme und Partikelfilter. Ein tieferer Einblick in das Patentgeschehen in den Leitmärkten erfolgt in Kapitel 4.

Der deutlich größere Anteil der Patente wird durch Unternehmen angemeldet. Tabelle 3 gibt einen Überblick der innovationsstärksten Akteure im Land. Die Robert Bosch GmbH

Abbildung 15: GreenTech-Patentanmeldungen in Baden-Württemberg nach Leitmärkten, 2010-2019, sowie beispielhafte Innovationsthemen



Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

erweist sich dabei als mit Abstand prägendster Innovationsakteur in Baden-Württemberg – knapp ein Viertel der Unternehmenspatente werden von Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der Unternehmensgruppe an einem der Standorte in Baden-Württemberg angemeldet. Die Patentaktivitäten spiegeln das vielfältige Tätigkeitsspektrum des Unternehmens wider. Schwerpunkte liegen unter anderem in den Bereichen Energie-

speicher, Energiesystem- und Elektrolysetechnologien, Messtechnik und Systeme für Energieeffizienz, Smart Home sowie energieeffiziente Geräte. Bei Cynora handelt es sich um ein inzwischen nicht mehr aktives Start-Up, das innovative OLED-Displays entwickelte. Die Patente wurden 2022 veräußert. Darüber hinaus tragen Forschungseinrichtungen ebenfalls zum Patentgeschehen bei. Bei der Betrachtung der Top-10 Einrich-

Tabelle 3: Top-10 Unternehmen in Baden-Württemberg mit GreenTech-Patentanmeldungen

	Unternehmen	Anteil an Unternehmenspatenten 2010-2019	Primärer Leitmarkt
1	Robert Bosch	24,4%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung; Energieeffizienz
2	SAP	3,7%	Energieeffizienz
3	Mann + Hummel	3,1%	Luftreinhaltung
4	Cynora	2,7%	Energieeffizienz
5	Mahle International	2,4%	Energieeffizienz
6	Voith Patent	2,3%	Luftreinhaltung
7	Varta Microbattery	2,0%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
8	SEW-Eurodrive & Company	1,5%	Energieeffizienz
9	Daimler	1,4%	Energieeffizienz
10	Azur Space Solar Power	1,3%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung

Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

tungen in Baden-Württemberg mit den meisten Patentanmeldungen (Tabelle 4) finden sich zum Teil ähnliche Namen wie bereits in der Publikationsanalyse. Baden-Württembergische Forscher und Forscherinnen, die einem der zahlreichen Fraun-

hofer Institute im Land angehören, haben knapp ein Drittel der Patente angemeldet. Das KIT, das bei den wissenschaftlichen Publikationen den Spitzenplatz belegt, liegt bei den Patentanmeldungen auf Rang 2.

Tabelle 4: Top-10 Forschungseinrichtungen in Baden-Württemberg mit GreenTech-Patentanmeldungen

	Unternehmen	Anteil an Unternehmenspatenten 2010-2019	Primärer Leitmarkt
1	Fraunhofer-Gesellschaft	31,1%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
2	KIT	24,0%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
3	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	7,3%	Energieeffizienz
4	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	6,2%	Energieeffizienz
5	Max-Planck-Gesellschaft	5,2%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
6	Universität Stuttgart	4,0%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
7	Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoffforschung Baden-Württemberg	3,4%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
8	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg	2,5%	Energieeffizienz
9	International Solar Energy Research Center Konstanz	1,8%	Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung
10	Universität Ulm	1,2%	Energieeffizienz

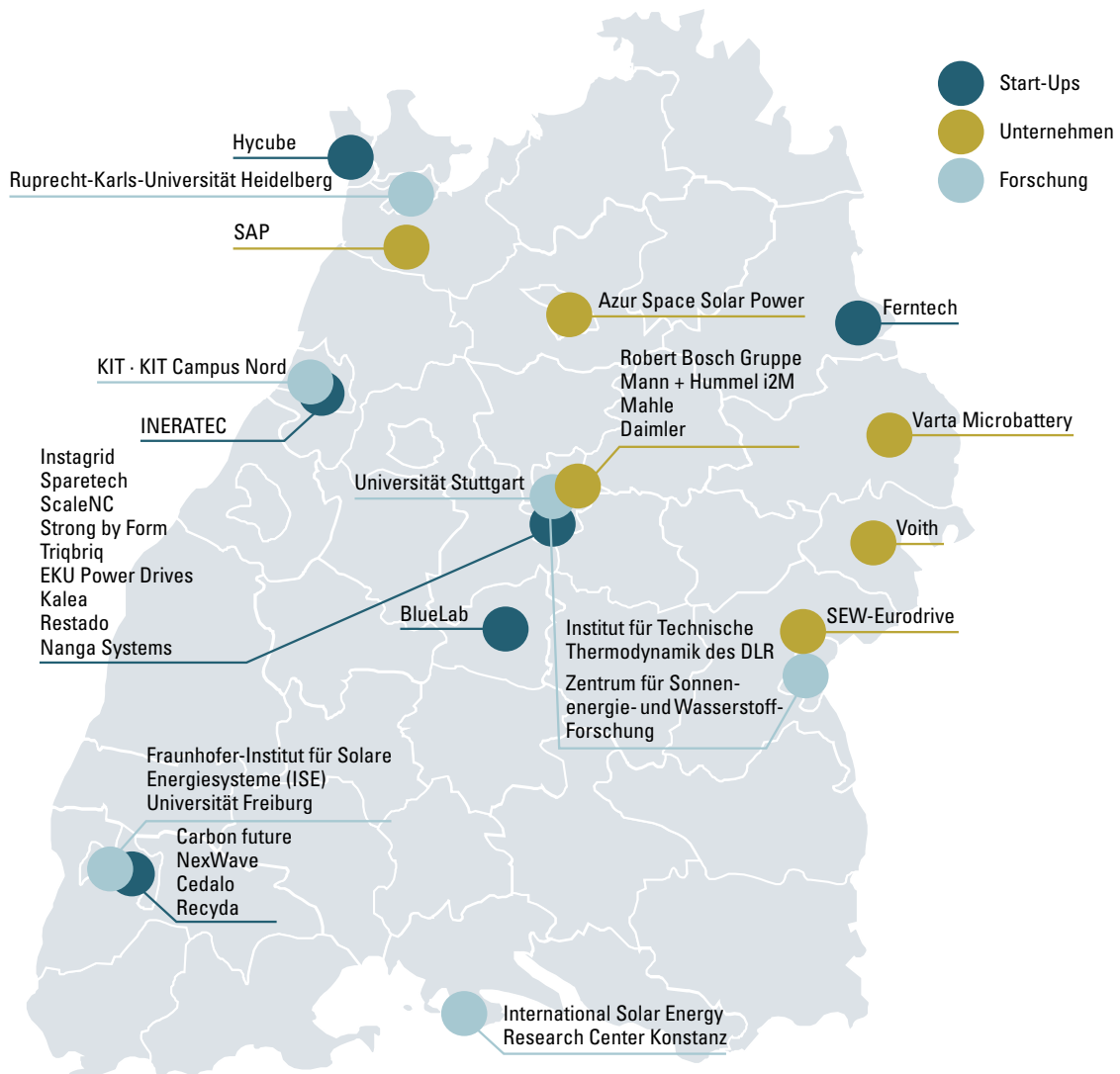
Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

3.4 SYNOPSE: LANDKARTE DER GREENTECH F&E-KOMPETENZEN

Auf Basis der Publikations- und Patentanalyse lassen sich Schlüsselakteure für Forschung und Entwicklung in der baden-württembergischen GreenTech-Branche identifizieren. Diese werden auf folgender Kartendarstellung geografisch verortet. Ergänzend werden ausgewählte Start-Ups mit GreenTech-Bezug in den Blick genommen. Die dargestellten Start-Ups wer-

den als besonders bedeutend eingestuft (siehe Infobox 4), da sie unter anderem über eine hohe Finanzierung verfügen und die Produktentwicklungen eine hohe Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Die von diesen Start-Ups vorangetriebenen Produktentwicklungen können somit ebenfalls als prägend für die baden-württembergische FuE-Landschaft erachtet werden.

Abbildung 16: Herausragende Akteure der GreenTech-Branche BW



Prognos 2022, basierend auf Scopus (Publikationen), PATSTAT (Patente) und Crunchbase (Start-Ups)

INFOBOX 4: HINWEISE ZUR LANDKARTE

Die Karte verortet herausragende Akteure aus Baden-Württemberg, die im Rahmen der Publikations- und Patentanalyse identifiziert wurden. Ergänzend werden bedeutende GreenTech Start-Ups aus Baden-Württemberg dargestellt. Diese wurden mit der Start-Up-Datenbank Crunchbase ermittelt. Dabei wurden die insgesamt 1.265 erfassten Start-Ups, welche in Baden-Württemberg innerhalb der letzten 10 Jahre gegründet wurden und noch aktiv sind, einzeln auf

ihren Bezug zum GreenTech-Sektor untersucht. Hierzu wurden die Suchbegriffe und Schlagworte aus der Publikationsanalyse herangezogen. Die Auswahl der bedeutendsten Start-Ups erfolgte auf Basis des von der Datenbank Crunchbase vorgenommenen Rankings. In das Ranking gehen verschiedene Informationen zu den Unternehmen ein, wie z.B. Finanzierung und Investoren, Produktverfügbarkeit, Kollaborationen, Bekanntheit und Berichterstattung.



4

BLICK AUF DIE LEITMÄRKTE IM DETAIL

© istockphoto/hroe

Dieses Kapitel nimmt die verschiedenen Leitmärkte der baden-württembergischen GreenTech-Branche ausführlich in den Blick. Jeder Leitmarkt wird hierzu in vier Abschnitten analysiert:

- > Eingangs erfolgen eine inhaltliche Charakterisierung und ökonomische Einordnung des Leitmarkts anhand wesentlicher Kennzahlen.
- > Im folgenden Abschnitt werden die politischen Rahmenbedingungen sowie Technologie- und Markttrends beleuchtet. Die Trends werden anhand von drei Dimensionen eingeordnet und bewertet: Relevanz, Zeithorizont und regionale Bedeutung.
- **Relevanz** bezieht sich in diesem Kontext auf die ökonomischen Chancen bzw. Potenziale, die sich durch Strukturveränderungen, technischen Fortschritt bzw. ein sich veränderndes Marktumfeld (z.B. durch angepasste Regulatorik oder steigende Energiekosten) realisieren lassen.
- **Der Zeithorizont** beschreibt, wann ein Trend bzw. die dahinterstehende Technologie/ Innovation vermutlich innerhalb der Branche von der Mehrheit der Marktteilnehmenden angewendet bzw. benötigt wird. Er wird in drei Klassen angegeben: Kurzfristig (1-3 Jahre), mittelfristig (4-10 Jahre) und langfristig (>10 Jahre). Ein Trend kann auch in mehrere Klassen fallen, sollten noch größere Unsicherheiten bestehen, so dass die Marktdurchdringung nicht hinreichend abgeschätzt werden kann.

- **Die regionale Bedeutung** beschreibt, wie stark sich baden-württembergische Unternehmen und Forschungseinrichtungen bereits mit dem Trend befassen. In die Bewertung fließen Forschungsschwerpunkte und -kompetenzen sowie auf dem Feld aktive Unternehmen in Baden-Württemberg ein.
- > Des Weiteren werden die Forschungs- und Entwicklungskompetenzen Baden-Württembergs im Leitmarkt herausgearbeitet. Die Analyse der Forschungsaktivitäten basiert, wie im vorangegangenen Kapitel beschrieben, auf einer Auswertung der Publikationsdatenbank Scopus anhand einschlägiger Suchbegriffe zu den verschiedenen GreenTech-Leitmärkten. Die Innovationskompetenzen werden auf Basis der ebenfalls bereits skizzierten Patentanalyse beleuchtet, die auf einer Zuordnung der Patent-Klassifikationssysteme IPC und CPC zu GreenTech-Themen beruht. In der Zusammenführung beider Ansätze werden die Positionierung Baden-Württembergs, bestimmende Akteure sowie prägende Forschungs- und Innovationsthemen herausgearbeitet.
- > Abschließend erfolgt eine Zusammenführung der leitmarktspezifischen Analyseergebnisse. Dabei werden die jeweiligen Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken Baden-Württembergs herausgearbeitet (SWOT-Analyse).

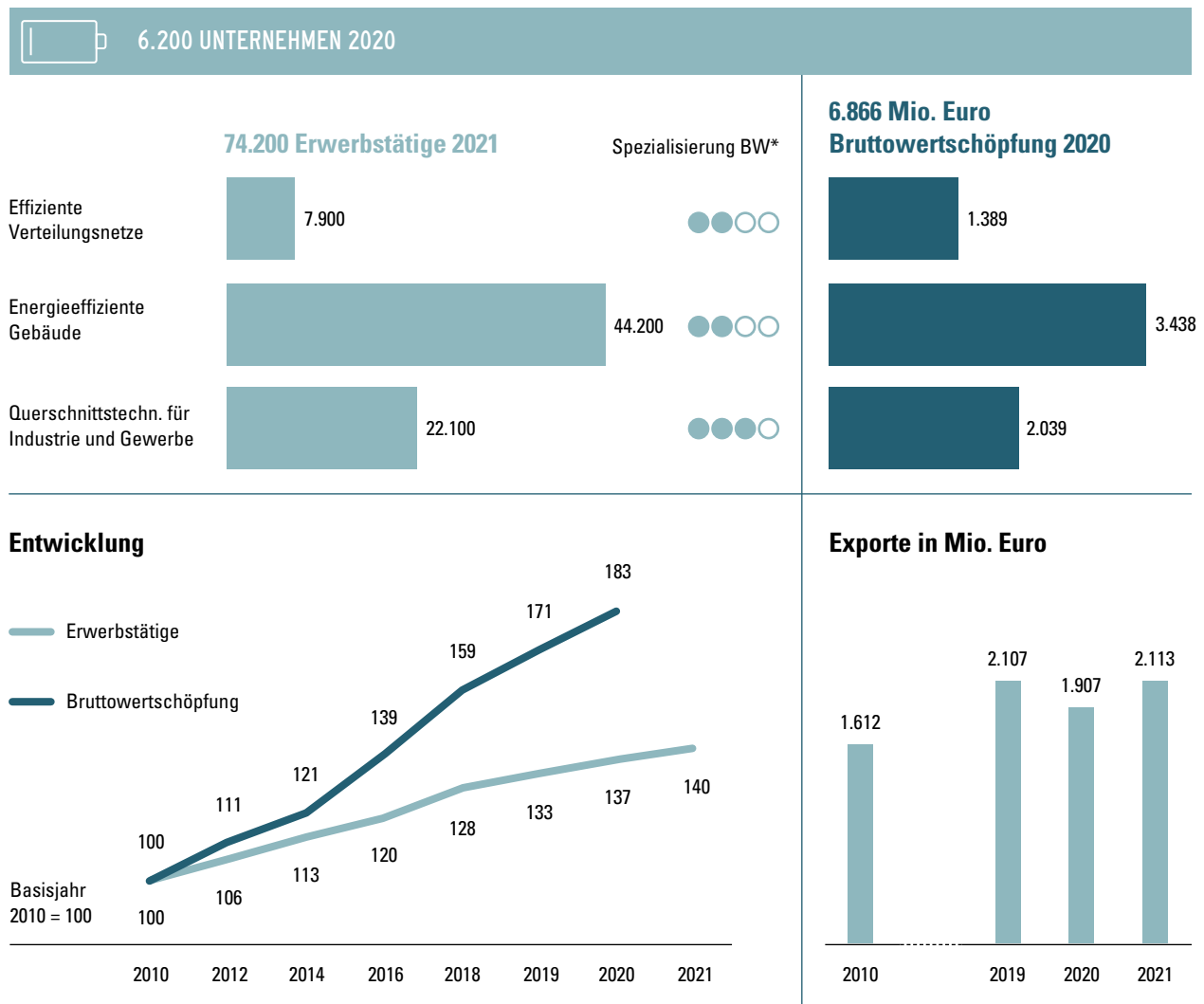
4.1 LEITMARKT ENERGIEEFFIZIENZ

Der Leitmarkt Energieeffizienz nimmt mit Blick auf die zunehmenden Anstrengungen für mehr Klimaschutz und Ressourcenschonung eine Schlüsselrolle ein. Denn auch erneuerbare Energien verbrauchen Ressourcen und Naturräume und werden in naher Zukunft nicht im Überangebot zur Verfügung stehen. Generell können die Zielsetzungen bezüglich des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch umso schneller und realistischer umgesetzt werden, je weniger Energie benötigt wird. Technologien und Lösungen für Energieeffizienz sind somit ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Energie- und Wärmewende sowie für die grüne Transformation industrieller Prozesse. Darüber hinaus gewinnen Effizienztechnologien im Kontext der aktuellen Energiekrise weiter an Bedeutung. Neben dem Energieverbrauch lassen sich mit ihnen auch Rohstoffabhängigkeiten von anderen Staaten reduzieren.

Der Leitmarkt der Energieeffizienz setzt sich aus mehreren Marktsegmenten zusammen:

- > Ein zentrales Element sind Querschnittstechnologien für die Industrie und Gewerbe. Hier wird über Technologien zur Abwärmenutzung, effizientere Hydraulik- und Pumpensysteme sowie effiziente Antriebe und Prozessleittechnik ein beachtliches Potential zur Einsparung von Energie abgebildet.
- > Des Weiteren werden Effizienztechnologien im Energie- bzw. vor allem Stromnetz betrachtet. Insbesondere Netz-, Regelungs- und Messtechnik sowie IKT für Energiesysteme können für Einsparungen in den Stromnetzen sorgen.
- > Im Marktsegment Energieeffiziente Gebäude liegt der Fokus vor allem auf dem effizienten Wärme- und Kältemanagement. Dazu zählen neben Dämmmaterialien und Gebäudetechnik für Automation und Energiemessung auch energieeffiziente Leuchtmittel (LEDs).

KENNZAHLEN ZUM LEITMARKT IN BADEN-WÜRTTEMBERG



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit, des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts
 * Spezialisierung Baden-Württembergs auf Basis des Lokalisationsquotienten. Dieser zeigt, welche Marktsegmente in Baden-Württemberg im Vergleich zum Bundesdurchschnitt überproportional ausgeprägt sind. 1 Punkt = unterdurchschnittlich; 2 Punkte= durchschnittlich; 3 Punkte = hoch; 4 = sehr hoch

Der Leitmarkt Energieeffizienz nimmt in der GreenTech-Branche eine tragende Rolle ein. Es handelt sich um den mit Abstand größten Leitmarkt, sowohl im Hinblick auf die Erwerbstätigenzahl als auch bei der Bruttowertschöpfung. Das mit 6,2 % p.a. stärkste Wachstum der Bruttowertschöpfung innerhalb der GreenTech-Branche unterstreicht die Bedeutung des Leitmarkts. Darüber hinaus führt der Leitmarkt mit 2,1 Mrd. Euro auch das Exportgeschehen an.

Einen ökonomischen Schwerpunkt innerhalb des Leitmarkts bildet das Marktsegment Energieeffiziente Gebäude. Es nimmt mehr als die Hälfte des Leitmarkts ein. Das Marktsegment Querschnittstechnologien für Industrie und Gewerbe ist mit über 2 Mrd. Euro Bruttowertschöpfung ebenfalls ökonomisch sehr bedeutend und in Baden-Württemberg überproportional ausgeprägt. Mit einer Wachstumsrate von 6,8 % p.a. (Bruttowertschöpfung 2010-2020) gehört es zudem zu den entwicklungsstärksten Marktsegmenten.

Politische Rahmenbedingungen sowie Technologie- und Markttrends

Im Europäischen Green Deal formuliert die EU-Kommission das Ziel, Europa bis 2050 zum ersten klimaneutralen Kontinent zu machen. Dazu sollen in einem ersten Schritt bis 2030 die Treibhausgasemissionen in der EU um 55 % im Vergleich zu 1990 gesenkt werden. Ein wichtiges Instrument für die Umsetzung dieser Ziele wird u.a. die EU-Energieeffizienzrichtlinie sein, zu der die Kommission im Juli 2021 einen Überarbeitungsvorschlag vorgelegt hat. Sie strebt an, den Primärenergieverbrauch bis 2030 um 39 % zu senken. Außerdem wird die im Green Deal angekündigte Renovierungswelle für öffentliche und private Gebäude präzisiert: Die Kommission schlägt den Mitgliedsstaaten vor, jährlich 3 % der Flächen öffentlicher Gebäude zu renovieren. Das Ziel wird auch in der Gebäuderenovierungsstrategie der EU („Eine Renovierungswelle für Europa“) aufgenommen und präzisiert: Bis 2030 soll die jährliche Quote der energetischen Sanierungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden verdoppelt werden. Die Strategie zur Integration des europäischen Energiesystems sieht in der Anwendung des Grundsatzes „Energieeffizienz an erster Stelle“ als zentrales Element. Von Relevanz für den Leitmarkt Energieeffizienz ist hier insbesondere das in der Wiederverwendung von Abwärme gesehene Potenzial zur Steigerung der Energieeffizienz.

Auf Bundesebene wird die Thematik in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie aufgegriffen. Der Primärenergieverbrauch soll durch unterschiedliche Maßnahmen reduziert werden. Dazu gehört u.a. die Förderung energieeffizienter Gebäude. Eine präzisere Zielstellung bietet die Energieeffizienzstrategie 2050. Gegenüber 2008 soll der Primärenergieverbrauch in Deutschland bis 2030 um 30 % reduziert werden, ohne das Wirtschaftswachstum negativ zu beeinträchtigen. Dabei kommt dem Gebäudebereich mit 35 % des Endenergieverbrauchs eine

Schlüsselfunktion zu. Investitionen in die Verringerung indirekter Emissionen bei der Produktion von Baustoffen sowie im Industriesektor sind neben der steuerlich geförderten energetischen Gebäudesanierung als Maßnahmen vorgesehen. Darüber hinaus werden die aus erneuerbaren Energien erzeugte Fernwärme und ein Ausbau des Energiedienstleistungsmarktes als strategische Bausteine genannt. Ein zusätzliches Leitprinzip wird mit der zu steigenden Nutzung von Abwärme definiert. Hier sollen bis 2030 jährliche Einsparungen von 50 TWh realisiert werden. Die Ziele der Energieeffizienzstrategie werden auch durch den Integrierten Energie- und Klimaplan getragen.

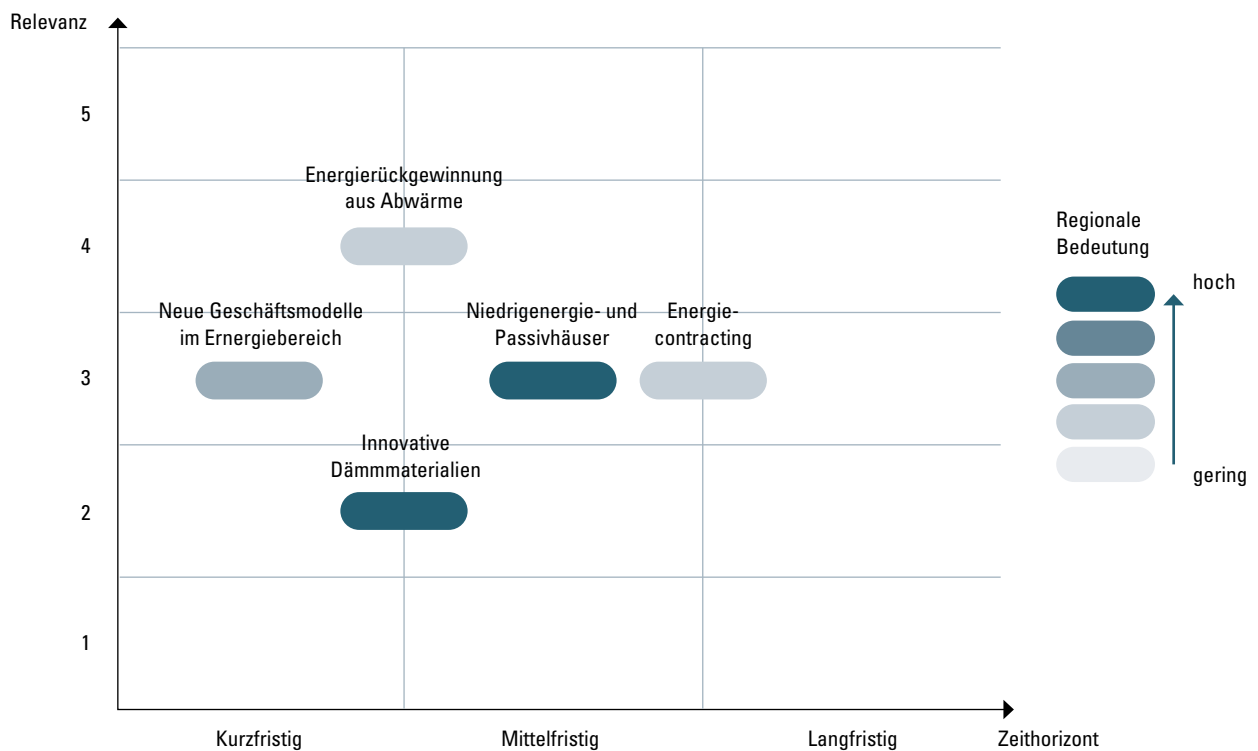
Mit der Zukunftsstrategie Forschung und Innovation setzt die Bundesregierung das Fundament für ihre zentralen FuE-Vorhaben. Die Entwicklung neuer Technologien und Ansätze zur Steigerung der Energieeffizienz wird hier im Rahmen der Zukunftsfelder als zentraler Baustein definiert.

In der baden-württembergischen Innovationsstrategie wird noch einmal präzisiert: Die Bauwirtschaft ist ein zentrales FuE-Feld. Vor dem Hintergrund dieser strategischen Ausrichtung gewinnen insbesondere die im Leitmarkt Energieeffizienz verorteten Trends „Niedrigenergie- und Passivhäuser“ sowie „Innovative Dämmmaterialien“ stark an Bedeutung. Ebenfalls von Bedeutung für den Leitmarkt Energieeffizienz ist das Abwärmekonzept der Landesregierung. Als Maßnahme wurde hier bereits im Juni 2021 das Kompetenzzentrum Abwärme bei UTBW eingerichtet. Für die Finanzierung der Durchführung von Modellprojekten und deren Begleitforschung sieht auch das baden-württembergische EFRE-Programm die Förderung von Anwendungen zur Steigerung der Energieeffizienz vor.

Auf Grundlage der politischen Treiber und der weiteren Recherche wurden für den Leitmarkt Energieeffizienz die Energierückgewinnung aus Abwärme sowie Niedrigenergie- und Passivhäuser als besonders relevant bzw. von besonderer regionaler Bedeutung bewertet. (vgl. Abbildung 1).

Der Leitmarkt Energieeffizienz ist von einer hohen Forschungs- und Innovationsintensität geprägt. Für den Zeitraum 2010-2021

Abbildung 17: Trends im Leitmarkt Energieeffizienz



Prognos 2022

Ausgewählte Trends im Detail

ENERGIERÜCKGEWINNUNG AUS ABWÄRME

Der Trend spielt insbesondere bei industriellen Prozessen eine Rolle, in denen Abluft mit hoher Temperatur entsteht. Prinzipiell gibt es zwei Formen der Energierückgewinnung. Zum einen kann die Energie direkt in elektrischen Strom umgewandelt werden, z.B. mit Hilfe von ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle). Darüber hinaus kann die Prozesswärme auch direkt genutzt werden. Dazu können Wärmetauscher einge-

setzt werden. Derzeit besteht die Herausforderung, die bekannten Prozesse effizienter zu machen und auch für Abluft mit geringeren Temperaturen anzupassen. Dadurch könnten die Technologien auch außerhalb industrieller Prozesse eingesetzt werden. Dazu bedarf es jedoch kleinmaßstäbiger und kostengünstiger Anlagen.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●○○○ RELEVANZ ●●●●○ ZEITHORIZONT Kurz- bis Mittelfristig

NIEDRIGENERGIE- UND PASSIVHÄUSER

Während Niedrigenergiehäuser die im Gebäudeenergiegesetz enthaltenen Standards unterschreiten, werden unter Passivhäusern solche Gebäude verstanden, die aufgrund ihrer Dämmung und technischen Ausstattung keine weitere externe Energiezufuhr für die Gebäudeheizung benötigen. Bei Neubauten gelten in Deutschland bereits hohe

Standards zur Energieeffizienz. Dies gilt jedoch nicht für Bestandsgebäude. Deren Energieeffizienz zu steigern, ist hingegen elementar für das Erreichen der Klimaziele und der Energiewende. Daher gilt es, Technologien und Materialien auch für Bestandsbauten zu adaptieren und am Markt zu etablieren.

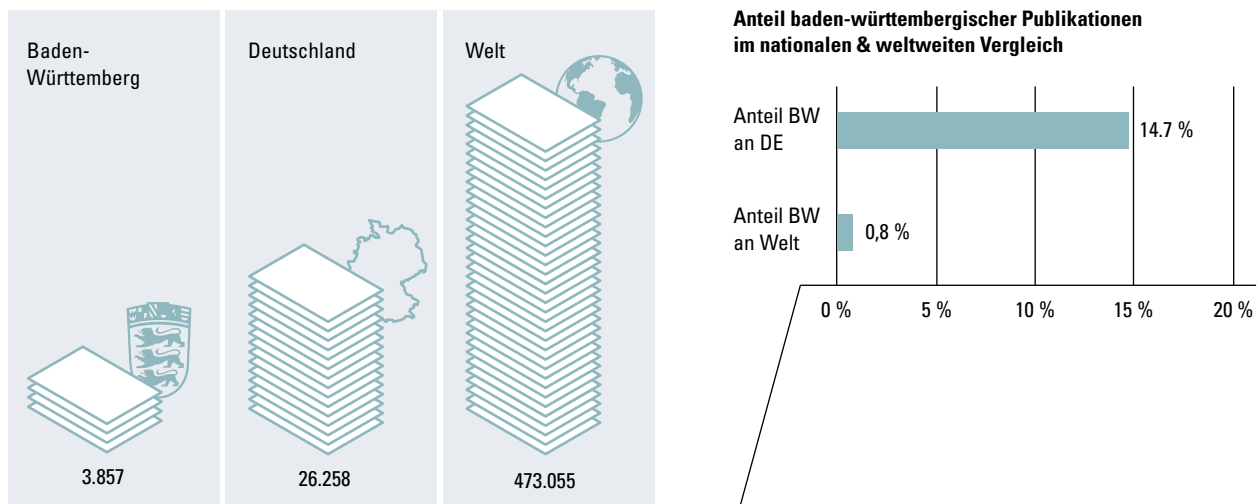
REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●● RELEVANZ ●●●●○ ZEITHORIZONT Mittelfristig

Weitere Trends im Leitmarkt Energieeffizienz

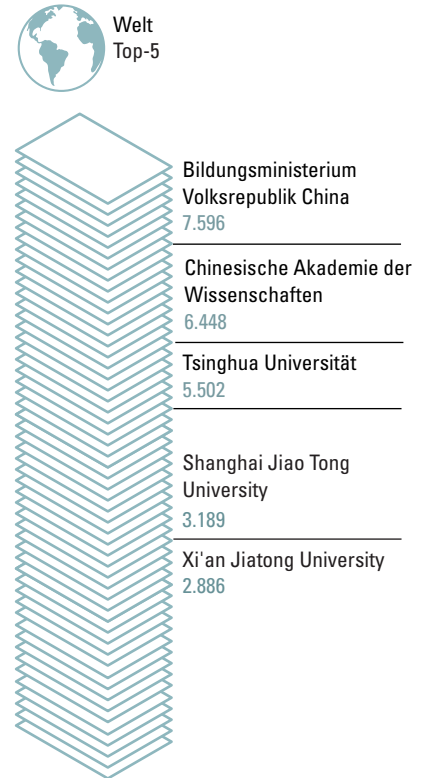
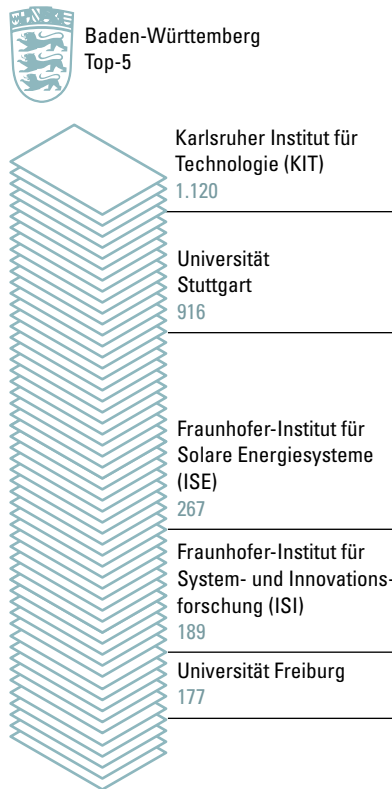
Trend	Beschreibung	Bewertung
NEUE GESCHÄFTSMODELLE IM ENERGIEBEREICH	Neue Anforderungen von Verbrauchern, neue Richtlinien und sich verändernde Märkte führen dazu, dass sich neue Geschäftsmodelle im Energiebereich etablieren. Dies beginnt bei der Energiebeschaffung aus dezentraler Erzeugung, die digitale und sektorübergreifende Lösungen notwendig macht. Auf der Nachfrageseite wird es ebenfalls zu Veränderungen kommen, da Verbraucher vermehrt umweltfreundliche, energiesparende und emissionsfreie Produkte verlangen.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Kurzfristig
ZUNEHMENDE BEDEUTUNG VON ENERGIECONTRACTING	Energiecontracting ermöglicht Gebäudeeigentümern den Einbau moderner Energieinfrastruktur bei geringen Investitionskosten. Dabei bleibt ein Energiedienstleister Eigentümer der Anlage, der für die Nutzung der Anlage entlohnt wird. Dieses Vorgehen ist insbesondere für Haus- und Wohnungseigentümer interessant, kann aber auch Potenzial im industriellen Kontext entwickeln.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●○○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Mittel- bis Langfristig
INNOVATIVE DÄMM-MATERIALIEN, INSB. AUS NACHWACHSENDEN ROHSTOFFEN	Dämmmaterialien sind ein wichtiger Baustein zur Energieeffizienz bei Gebäuden. Materialien aus nachwachsenden Rohstoffen werden kontinuierlich verbessert und erreichen ähnliche Leistungswerte wie herkömmliche Dämmmaterialien.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●● RELEVANZ ●●○○○ ZEITHORIZONT Kurz- bis Mittelfristig

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Anzahl Publikationen im Leitmarkt Energieeffizienz 2010-2020

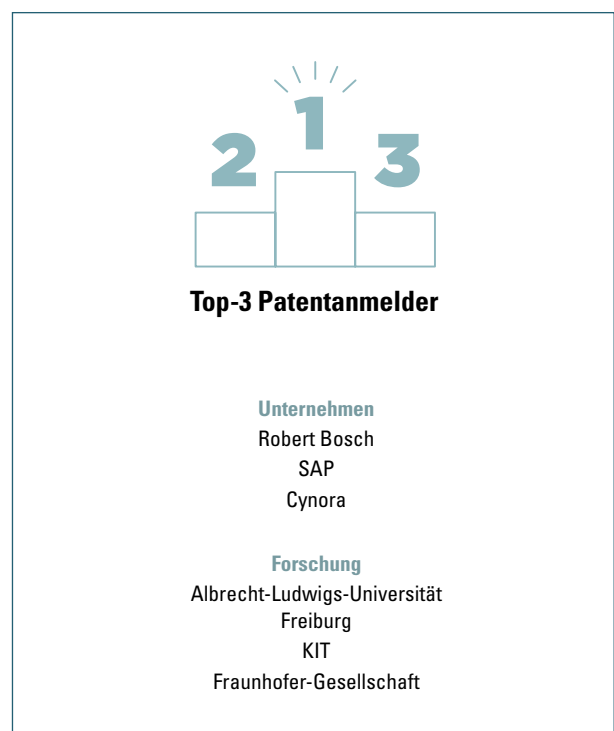
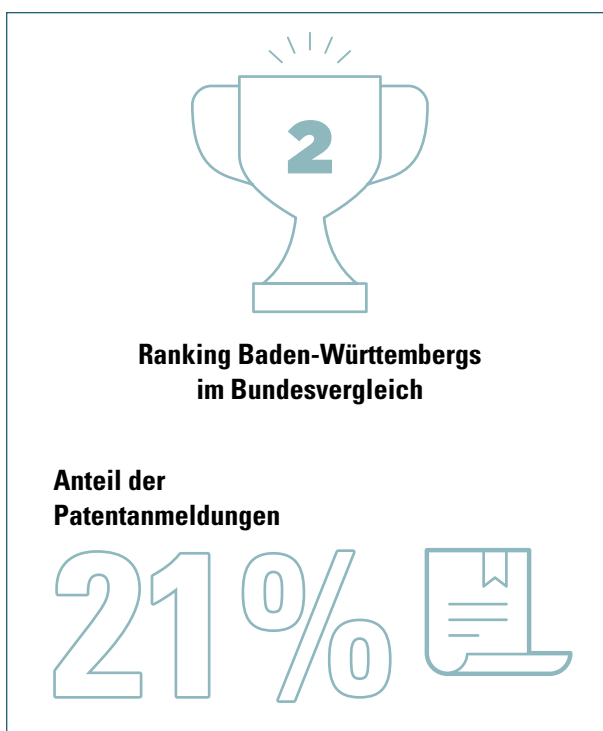


Führende Forschungsinstitutionen



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

PATENTE IM LEITMARKT ENERGIEEFFIZIENZ 2010–2019



FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSTHEMEN

Abbildung 18: Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Energieeffizienz in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PUBLIKATIONSANALYSE 2010–2021



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

Abbildung 19: Top-Innovationshemen im Leitmarkt Energieeffizienz in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PATENTANALYSE 2010–2019



Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

konnten knapp 4.000 Publikationen aus Baden-Württemberg zu diesem Themenkomplex identifiziert werden. Trotz dieses hohen absoluten Volumens hat Baden-Württemberg vor dem Hintergrund der global über 470.000 Publikationen einen im Vergleich zu anderen Leitmärkten geringen weltweiten Anteil inne. Das KIT ist die bedeutendste baden-württembergische Forschungsinstitution im Leitmarkt Energieeffizienz, gefolgt von der Universität Stuttgart. Beide spielen im Leitmarkt auch auf

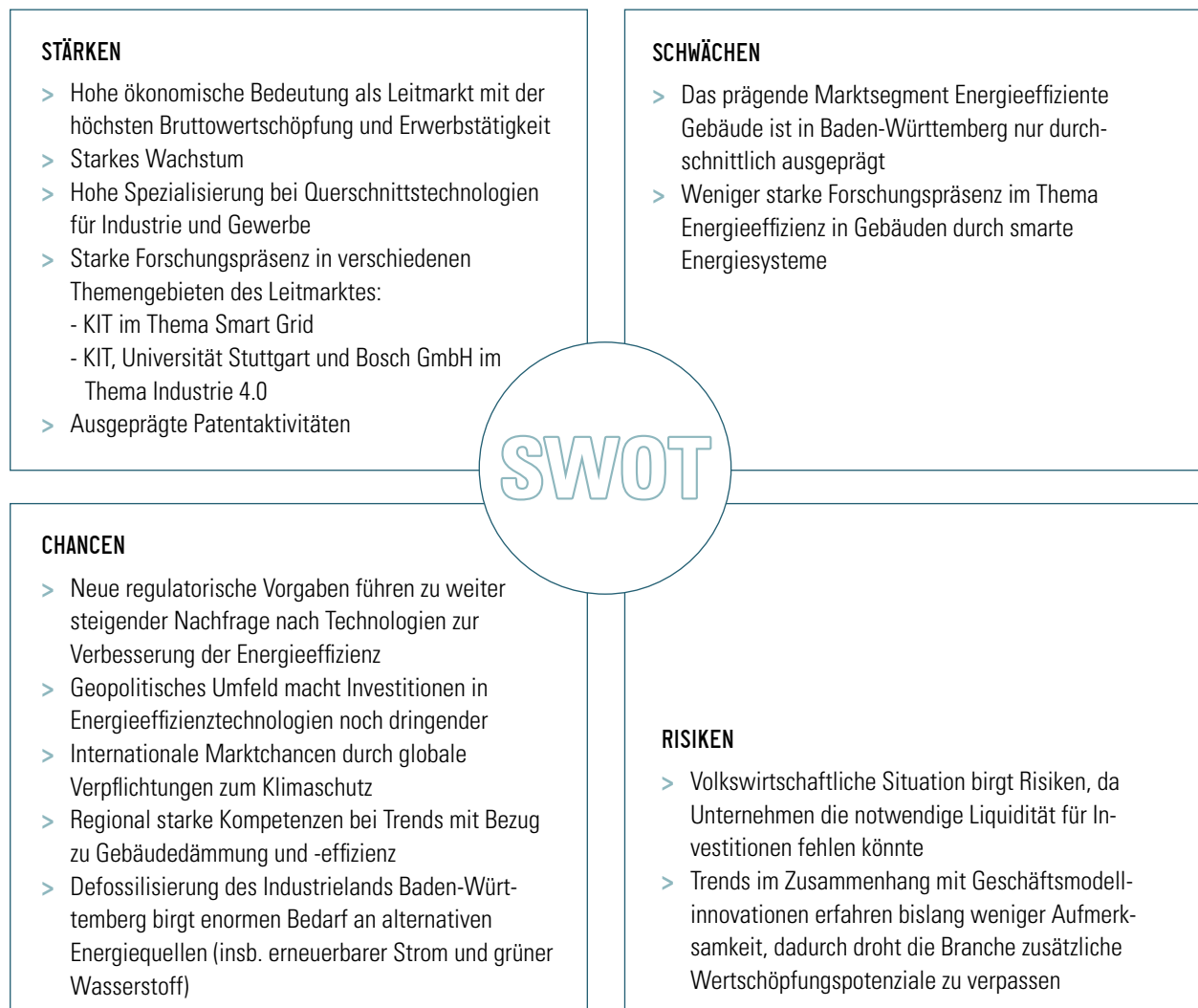
nationaler Ebene eine wichtige Rolle (Platz 4 und 6 im nationalen Vergleich). Beide Einrichtungen forschen intensiv an den Themen Smart Grid und Industrie 4.0. Im Themengebiet Smart Grid ist das KIT dabei deutschlandweit führend. Die Universität Stuttgart legt einen stärkeren Schwerpunkt auf das Thema Industrie 4.0, wobei hier auf nationaler Ebene die TU München führend ist. Chinesische Institutionen veröffentlichen im weltweiten Vergleich am meisten und belegen die ersten drei Plät-

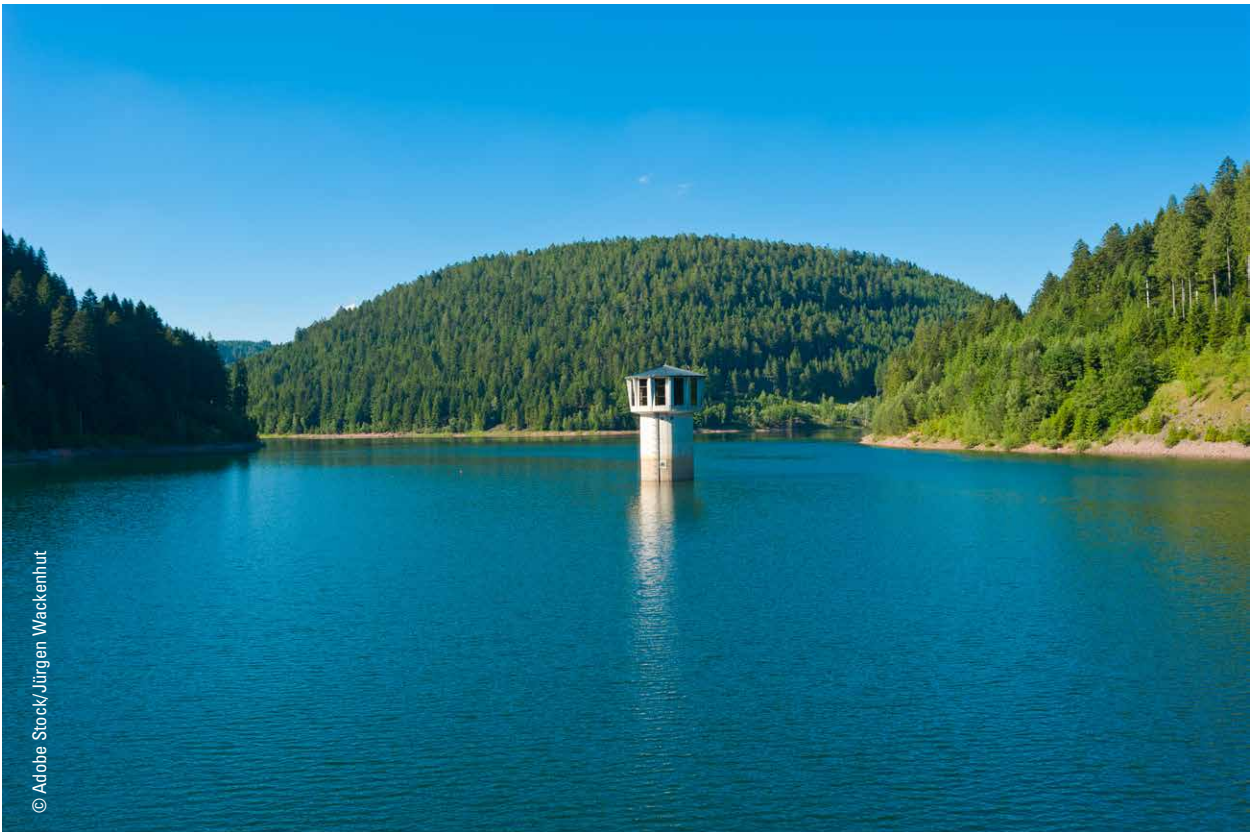
ze. In einzelnen Themen sind jedoch europäische Institutionen führend. So ist beispielsweise die TU Wien der globale Spitzenreiter in Bezug auf das Thema „Energieeffizienz in Gebäuden durch smarte Energiesysteme“. In der Forschung zu diesem Thema ist auch Deutschland sehr stark, besonders die RWTH Aachen und die TU Dresden.

Bei der Betrachtung der gesamten Forschung im Leitmarkt Energieeffizienz fällt auf, dass mit der Robert Bosch GmbH, in Ergänzung zu den Top-5 Forschungsinstitutionen in Baden-Württemberg, auch ein Unternehmen sehr aktiv publiziert. Die Robert Bosch GmbH liegt mit 169 Treffern knapp hinter der Universität Freiburg auf Platz 6. Der Schwerpunkt liegt vor allem auf dem Thema Industrie 4.0. Gleichzeitig ist das Unternehmen unangefochtener Innovationsführer Baden-Württembergs im Hinblick auf die Zahl der Patentanmeldungen. Es folgen SAP auf Rang 2 und das inzwischen nicht mehr aktive Start-Up Cynora auf Rang

3. Insgesamt spielt Baden-Württemberg mit über einem Fünftel der bundesweiten Patente in diesem Leitmarkt eine wichtige Rolle im Innovationsgeschehen. Spitzenreiter Bayern nimmt hier jedoch noch einen signifikant höheren Anteil ein.

Thematisch ist die Forschung in Baden-Württemberg im Bereich Energieeffizienz geprägt von Publikationen im Bereich Digitalisierung, Industrie 4.0 und verwandten Aspekten. Das Patentgeschehen weist mit Predictive Maintenance ein ähnlich gelagertes Schwerpunktthema auf. Die übrigen Patentthemen sind dagegen stärker auf bestimmte industrielle Anlagen oder technische Prozesse, insbesondere im Kontext Wärmedämmung, fokussiert.





© Adobe Stock/Jürgen Wackemut

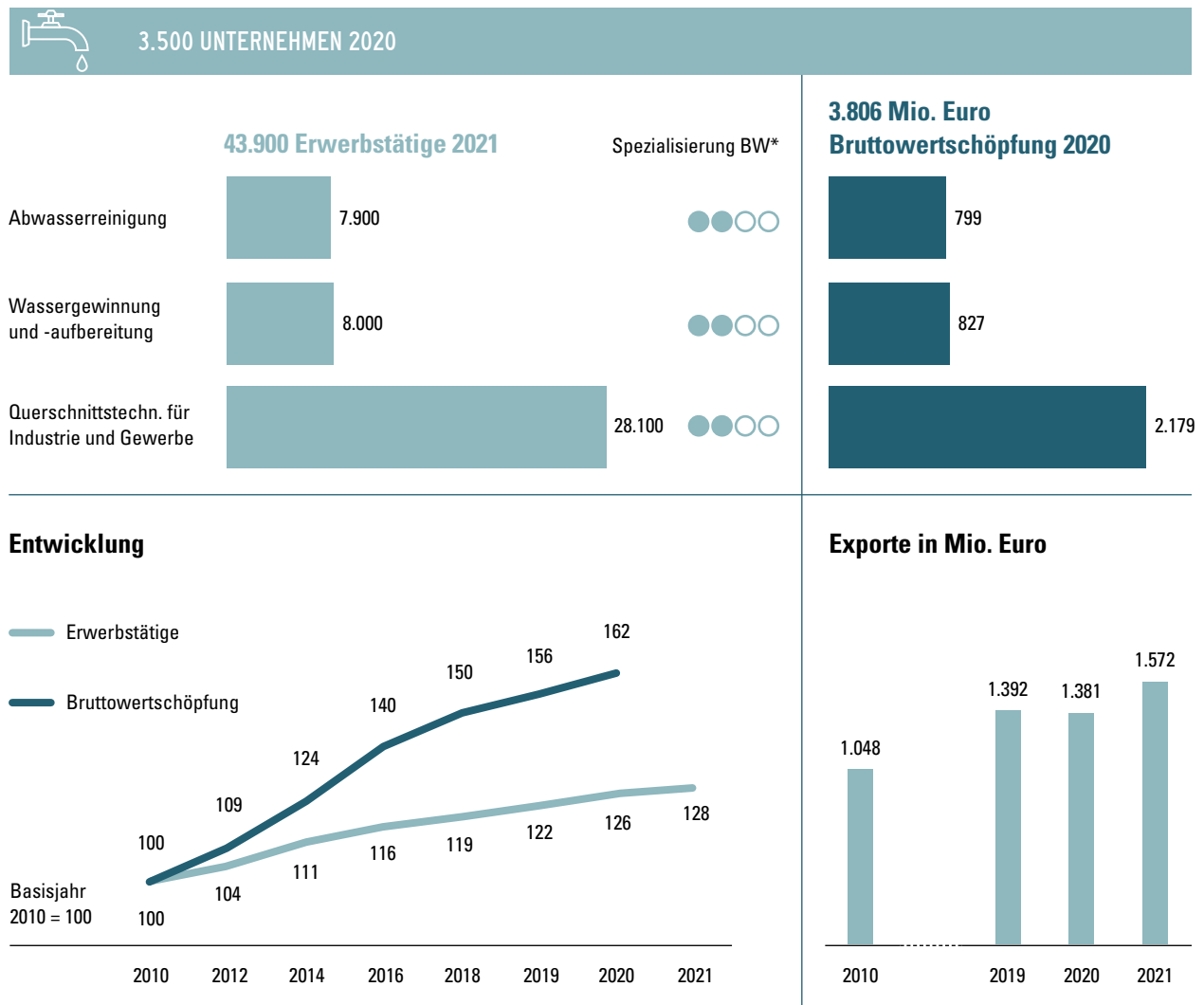
4.2 LEITMARKT WASSERWIRTSCHAFT

Sauberes Wasser ist zivilisatorische Lebensgrundlage und unentbehrlich für eine intakte Umwelt mit funktionierenden ökologischen und biologischen Systemen. Der Wasserwirtschaft obliegt die Aufgabe, die Nutzung der Wasservorkommen nachhaltig zu gestalten. Dies bedeutet, die Wasserkreisläufe aufrechtzuerhalten, Wasser als Ressource für die heutige wie für nachfolgende Generationen zu sichern und auch langfristig als Lebensraum zu schützen. Der Wasserverbrauch bzw. -gebrauch muss kontrolliert und optimiert werden. Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird das Management der Wasserinfrastrukturen sowie der allgemeinen Wasserversorgung in den nächsten Jahren vor neuen, besonders hohen Herausforderungen stehen: Die Strukturen der Ver- und Entsorgung müssen sowohl hinsichtlich längerer Trockenperioden als auch stärkerer und häufigerer Starkniederschlagsereignisse angepasst werden. Um in Zukunft in Deutschland aber auch in anderen Ländern das Menschenrecht auf Wasser und sanitäre Versorgung gewährleisten zu können, braucht es eine wachsende und innovative Wasserwirtschaft.

Der Leitmarkt Wasserwirtschaft ist in drei Marktsegmente unterteilt:

- > Bei der vorgelagerten Wassergewinnung und -aufbereitung liegt der Fokus auf der Filterung, Reinigung und Bereitstellung von Wasser für die menschliche Nutzung. Dazu sind auch verschiedene Messgeräte und Prüfmaßnahmen nötig, die ebenfalls mit eingeschlossen sind.
- > Das Marktsegment Wassernetze besteht zu einem großen Teil aus Pumpen, Rohren, Ventilen und anderen Waren für die Wasserinfrastruktur. Daneben sind auch Planungs-, Installations- und Bauleistungen miteingeschlossen.
- > Der menschlichen Nutzung nachgelagert ist die Abwasserreinigung. Hierunter fallen vor allem Technologien, Waren und Dienstleistungen für den Bau und Betrieb von Kläranlagen. Aber auch innovative Technologien für die Rohstoff- und Wärmerückgewinnung aus Abwässern gehören dazu.

KENNZAHLEN ZUM LEITMARKT IN BADEN-WÜRTTEMBERG



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit, des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts
 * Spezialisierung Baden-Württembergs auf Basis des Lokalisationsquotienten. Dieser zeigt, welche Marktsegmente in Baden-Württemberg im Vergleich zum Bundesdurchschnitt überproportional ausgeprägt sind. 1 Punkt = unterdurchschnittlich; 2 Punkte= durchschnittlich; 3 Punkte = hoch; 4 = sehr hoch

Der Leitmarkt Wasserwirtschaft ist mit einem Anteil von 21% der Erwerbstätigen der zweitgrößte Leitmarkt der GreenTech-Branche Baden-Württembergs. Bei der Bruttowertschöpfung liegt er mit 19 % auf Rang 3. Das Wachstum dieses Leitmarktes bewegt sich dabei mit 5,0 % p.a. bei der Bruttowertschöpfung und 2,2 % p.a. bei den Erwerbstätigen auf einem leicht überdurchschnittlichen Niveau. Prägend ist das Marktsegment Wassernetz, das zwei Drittel des Leitmarkts ausmacht. Hier findet mit einem jährlichen Wachstum von 5,8 % zugleich die stärkste Entwicklung im Leitmarkt statt.

Politische Rahmenbedingungen sowie Technologie- und Markttrends

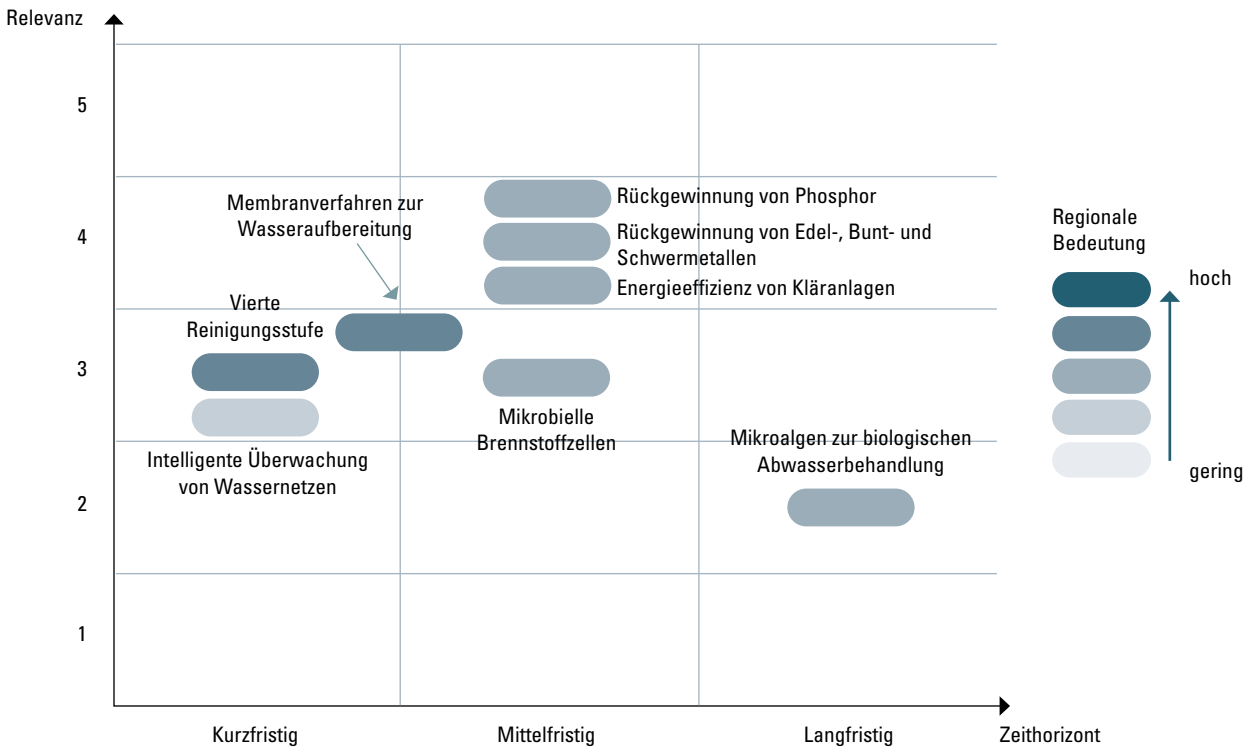
Dem Leitmarkt Wasserwirtschaft kommt eine besondere Bedeutung zu. Hier besteht nicht nur Potenzial zur Energieeinsparung, sondern es kann gleichzeitig aktiv der Zustand von Ökosystemen verbessert und somit ein Beitrag zum Umweltschutz geleistet werden. Im Green Deal setzt die EU-Kommission ein Null-Schadstoff-Ziel für eine schadstofffreie Umwelt. Dazu zählt auch die Wiederherstellung der natürlichen Funktio-

nen von Grundwasser und Oberflächengewässern. Es werden Maßnahmen zur Bekämpfung von Verschmutzungsquellen wie Mikroplastik, Chemikalien und Arzneimitteln vorgeschlagen. Dadurch gewinnen wasserwirtschaftliche Trendthemen wie „Vierte Reinigungsstufe“ auch in Zukunft weiter an Bedeutung. Ein bereits seit längerem bestehender Rechtsrahmen liegt mit der Wasserrahmenrichtlinie vor. Hieraus ergibt sich u.a. ein Verschlechterungsverbot für den Zustand oberirdischer Gewässer sowie eine Begrenzung des Schadstoffeintrags in Grundwässer. Von Relevanz für die weitere Entwicklung des Leitmarktes Wasserwirtschaft wird darüber hinaus auch die Strategie zur Integration des europäischen Energiesystems sein. Hier wird die Nutzung von Abwässern zur Erzeugung von Bioenergie als Baustein eines auf erneuerbaren Energien basierenden Energiesystems gesehen. Auf Bundesebene wird in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie ebenfalls auf die nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser abgestellt. Ziel ist die Reduk-

tion der Phosphor- und Nitratbelastung in Grundwassern und Fließgewässern. Auf der Verursacherseite setzt dazu die Anpassung der Düngemittelverordnung an. Gleichzeitig setzt die Novellierung der Klärschlammverordnung von 2017 der Klärschlammverbrennung klare Grenzen. Ab 2029 muss Phosphor aus Klärschlamm bzw. Klärschlammverbrennungsasche zurückgewonnen bzw. die Klärschlammverbrennungsasche stofflich verwertet werden. Die baden-württembergische P-Rück Initiative fokussiert ebenfalls auf das Thema. „Rückgewinnung von Phosphor“ wird somit auch in absehbarer Zukunft ein relevantes Thema bleiben.

Aus den politischen Treibern sowie der weiteren Trendrecherche ergibt sich, dass die Trends Rückgewinnung von Phosphor, Rückgewinnung von Edel-, Bunt- und Schwermetallen sowie Energieeffizienz von Kläranlagen im Leitmarkt Wasserwirtschaft von besonderer Relevanz sind (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 20: Trends im Leitmarkt Wasserwirtschaft



Ausgewählte Trends im Detail

RÜCKGEWINNUNG VON EDEL-, BUNT- UND SCHWERMETALLEN

Industrielle Prozess- und Abwässer können branchenabhängig geringe Rückstände von Edel- oder Buntmetallen enthalten (z.B. Gold, Silber, Kupfer oder Nickel). Ressourcenknappheit, hohe Nachfrage und steigende Rohstoffpreise können die Rückgewinnung dieser Rückstände wirtschaftlich interessant machen. Darüber hinaus können negative gesundheitliche und ökologische Folgen durch eine Rückgewinnung, insbesondere von Schwermetallen, reduziert

bzw. vermieden werden. Dafür werden bislang allerdings hohe Rückstandskonzentrationen benötigt. Erste Membrananlagen zu diesem Zweck werden bereits eingesetzt und auch galvanische Verfahren finden im Kontext des Elektroschrottrecyclings Anwendung. Es gilt daher, diese Verfahren zu verbessern und die Marktdurchdringung zu erhöhen. In Anbetracht steigender Nachfrage nach Edel-, Bunt- und Schwermetallen gewinnt der Trend weiter an Relevanz.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○

RELEVANZ ●●●●○

ZEITHORIZONT Mittelfristig

RÜCKGEWINNUNG VON PHOSPHOR

Phosphor ist ein wesentlicher Nährstoff für das Pflanzenwachstum und daher in der Landwirtschaft von existenzieller Bedeutung. Gleichzeitig werden die knappen natürlichen Phosphorvorkommen durch den starken Abbau über ihre Regenerationskapazitäten hinaus beansprucht. Unangepasste Nutzungspraktiken in der Landwirtschaft führen außerdem zu der Eutrophierung von Gewässern mit überschüssigem Phosphor, mit negativen Auswirkungen auf die Ökosysteme.

Daher gewinnt die Rückgewinnung von Phosphor aus Abwässern zunehmend an Bedeutung. Befeuert wird diese Entwicklung auch durch politische Maßnahmen, wie die P-Rück Initiative der baden-württembergischen Landesregierung. Ansätze ergeben sich zum einen bei der Abwasseraufbereitung unter Einsatz von Mikroalgen (MAP-Fällung). Darüber hinaus befassen sich andere Ansätze mit dem Potenzial der Aufbereitung von Klärschlammmasche.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○

RELEVANZ ●●●●○

ZEITHORIZONT Mittelfristig

ENERGIEEFFIZIENZ VON KLÄRANLAGEN

Kommunale Kläranlagen sind große Energieverbraucher. Mit einem Anteil von 70 % am Gesamtenergieverbrauch einer Kläranlage, macht dabei die Sauerstoffeinblasung ins Belebungsbecken einen Großteil des Energiebedarfs aus. Daher gilt es hier, Prozesse u.a. durch Automatisierung und Sensorik zu optimieren. Dabei muss darauf geachtet werden, dass nicht durch eine Unterversorgung von Sauerstoff klimaschädliches Lachgas entsteht. Neue Ansätze zur Steigerung











der Energieeffizienz von Kläranlagen befassen sich auch mit der Energieerzeugung aus den Abfallprodukten der Anlagen bzw. Energierückgewinnung aus Abwässern. Dazu zählt z.B. der Einsatz mikrobieller Brennstoffzellen. So soll der Bedarf an externer Energiezufuhr reduziert und langfristig Energieautarkie erreicht werden. Darüber hinaus gewinnt die Weiterverwendung von Klärschlamm zunehmend an Bedeutung.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○

RELEVANZ ●●●●○

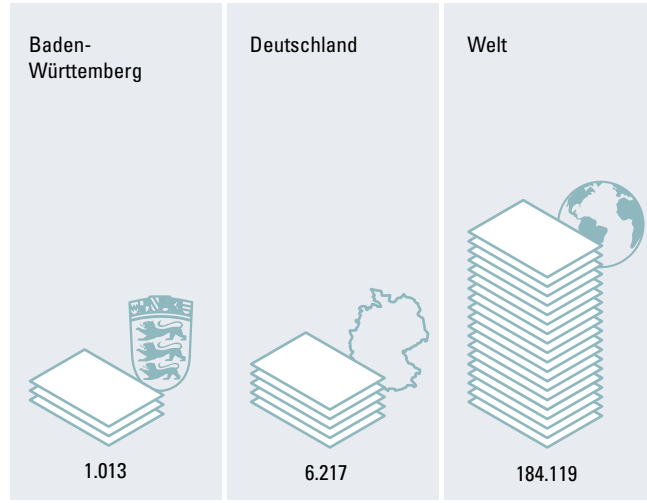
ZEITHORIZONT Mittelfristig

Einordnung der weiteren Trends im Leitmarkt Wasserwirtschaft

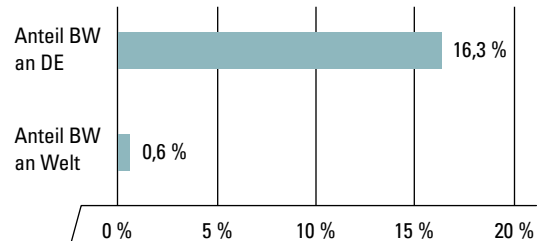
Trend	Beschreibung	Bewertung
MEMBRANVERFAHREN ZUR WASSERAUFBEREITUNG	Verschiedene Membranverfahren zur Wasseraufbereitung werden erforscht. Dazu gehören bspw. Ultrafiltration, Umkehrosmose oder Elektrodialyse. Herausforderungen sind insb. das Fouling, also die Bildung von Deckschichten über der Membran.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Kurz- bis Mittelfristig
MIKROBIELLE BRENNSTOFFZELLEN IN DER ABWASSERAUFBEREITUNG	Mikrobielle Brennstoffzellen (MBZ) ermöglichen die Rückgewinnung von im Abwasser gespeicherter Energie. MBZ können daher eine Schlüsseltechnologie für die Steigerung der Energieeffizienz von Kläranlagen darstellen. Herausforderung ist derzeit die Skalierung der Laborumgebung zum Realeinsatz.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Mittelfristig
VIERTE REINIGUNGSSTUFE	Ziel ist die Entfernung organischer und anorganischer Stoffe aus dem Abwasser, z.B. Rückstände von Pharmazeutika oder andere Spurenstoffe. In diesem Zusammenhang ist z.B. die Ozonierung ein wichtiger Ansatz. Hierbei wird Ozon in das vorgeklärte Abwasser eingespeist und reagiert dort oxidativ mit organischen Substanzen, was zu deren Abbau führt. Die Technologie wird trotz Marktreife noch nicht flächendeckend eingesetzt. Daher besteht großes Potenzial in der Ausstattung bestehender und neuer Anlagen.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Kurzfristig
INTELLIGENTE ÜBERWACHUNG VON WASSERNETZEN	Der fortschreitende Einsatz von Sensorik und intelligenten Systemen ermöglicht genaue Prognosen zum Wasserverbrauch und die Steuerung und Überwachung von Infrastrukturen. Die Anwendung von Predictive Maintenance (Prädiktive Instandhaltung) kann zu Kosten- und Ressourceneinsparungen beitragen.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Kurzfristig
MIKROALGEN ZUR BIOLOGISCHEN ABWASSERBEHANDLUNG	Einen vielversprechenden Ansatz zum Abbau organischer Verbindungen bei der Abwasserbehandlung stellt der Einsatz von Mikroalgen dar. Sie können in unterschiedlichen Anwendungsszenarien, z.B. in kommunalen Anlagen oder in der Behandlung industrieller oder landwirtschaftlicher Abwässer, eingesetzt werden und ermöglichen den Abbau von Stickstoff- und Phosphorverbindungen (MAP-Fällung). Gegenüber herkömmlichen Ansätzen zeichnen sie sich durch eine höhere Kosteneffizienz aus	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Langfristig

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Anzahl Publikationen im Leitmarkt Wasserwirtschaft 2010-2020



Anteil baden-württembergischer Publikationen im nationalen & weltweiten Vergleich

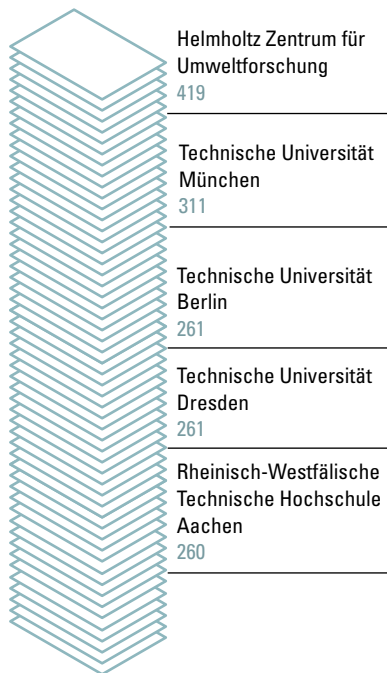


Führende Forschungsinstitutionen

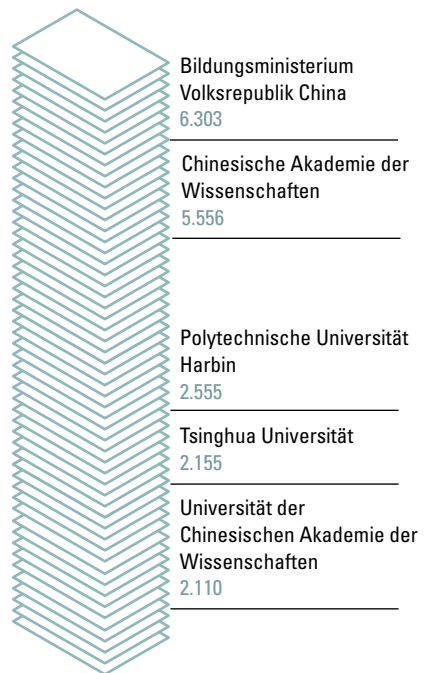
Baden-Württemberg Top-5



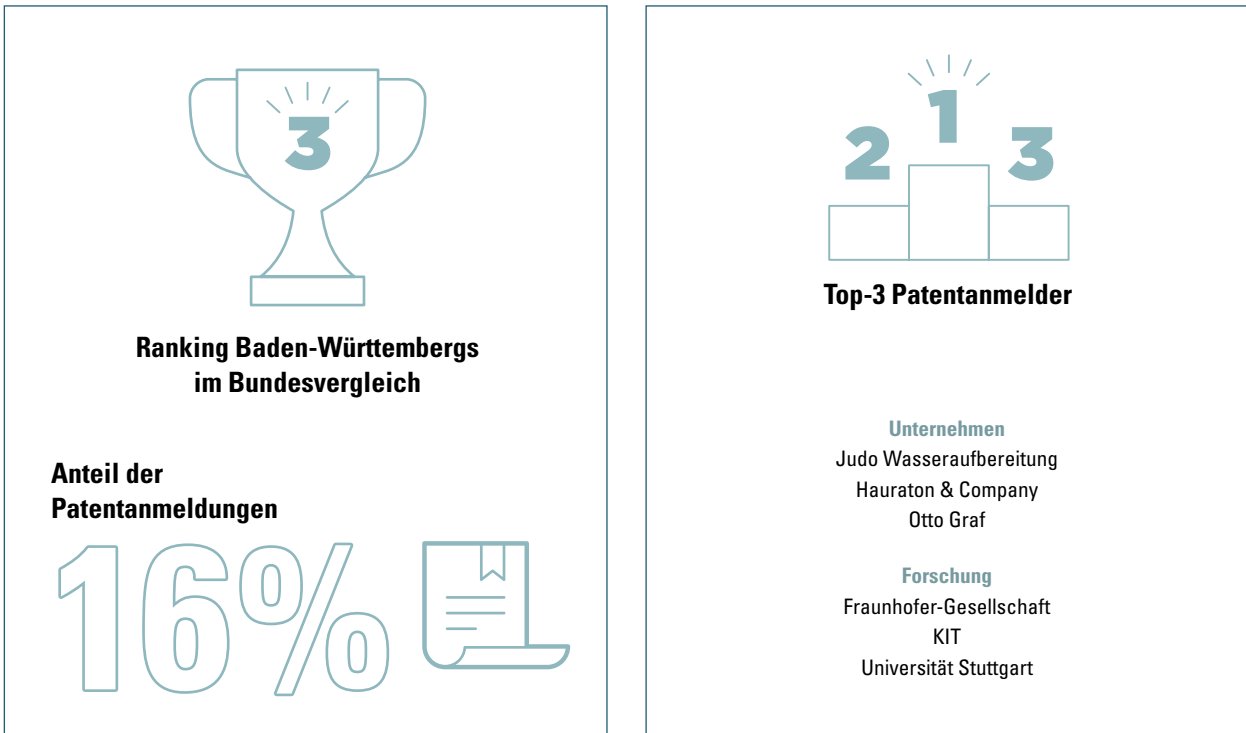
Deutschland Top-5



Welt Top-5



PATENTE IM LEITMARKT WASSERWIRTSCHAFT 2010–2019



FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSTHEMEN

Abbildung 21: Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Wasserwirtschaft in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PUBLIKATIONSANALYSE 2010–2021



Abbildung 22: Top-Innovationsthemen im Leitmarkt Wasserwirtschaft in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PATENTANALYSE 2010–2019



Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

In der Wasserwirtschaft ist Baden-Württemberg global gesehen weniger forschungs- und innovationsstark als in anderen Leitmärkten. Der globale Publikationsanteil liegt nur bei 0,6 %. Weltweit führend ist China, das die Top-5 Institutionen stellt. Im nationalen Vergleich der Publikationsaktivitäten ist Baden-Württemberg zwar gut vertreten. Ein Drittel der Top-15 Institutionen auf nationaler Ebene stammen aus dem südwestlichen Bundesland. Das baden-württembergische Patentgeschehen ist in diesem Leitmarkt hingegen unterdurchschnittlich. Der bundesweite Anteil liegt bei 16 %, was Rang 3 unter den Bundesländern entspricht.

Das KIT ist dabei die bedeutendste baden-württembergische Forschungsinstitution. An zweiter Stelle folgt mit dem DVGW Technologiezentrum Wasser eine Institution, die ebenfalls in Karlsruhe ansässig ist und aus der DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut des KIT hervorgegangen ist.¹¹ Der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. (DVGW) ist dabei als Institution laut Energiewirtschaftsgesetz explizit für Wasserstoffinfrastrukturen zuständig.¹² Das DVGW Technologiezentrum Wasser ist außerdem konkreter Ansprechpartner

für die Themen Trinkwasserqualität, Gewässergüte und Wassertechnologie.¹³ Dementsprechend forsch das DVGW Technologiezentrum Wasser sehr intensiv zum Thema Trinkwasser und publiziert dazu in Baden-Württemberg nach dem KIT am meisten. Die Universität Stuttgart beschäftigt sich hingegen stärker mit dem Thema Abwassermanagement und liegt dort bei der Anzahl der Publikationen auf Bundeslandebene auf dem zweiten Platz nach dem KIT. Auf nationaler Ebene ist das Leipziger Helmholtz Zentrum für Umweltforschung führend.

Ein konkreter Blick auf die Themen der Publikationen zeigt, dass in der Forschung Baden-Württembergs insbesondere diverse problematische Substanzen wie Arzneimittel oder Mikroverunreinigungen thematisiert werden. Die Forschung greift somit zentrale Themen der politischen Rahmensetzung auf. Einige Publikationen beziehen sich darüber hinaus auf bestimmte Reinigungsverfahren, etwa biologische Verfahren oder Elektrodialyse. Mit Blick auf die Patente finden sich ebenfalls Innovationen zu verschiedenen Verfahren der Abwasserreinigung und -aufbereitung. Weitere Patente beziehen sich vor allem auf Technik und Infrastruktur für Kläranlagen.

¹¹ Quelle: <https://www.dvgw.de/leistungen/forschung/institute/tzw-karlsruhe/>

¹² Quelle: <https://www.dvgw.de/>

¹³ <https://www.dvgw.de/leistungen/forschung/institute/tzw-karlsruhe/>





4.3 LEITMARKT KREISLAUF- UND ABFALLWIRTSCHAFT

Im Kontext von Rohstoffknappheiten und internationalen Abhängigkeiten gewinnt eine leistungsfähige Kreislaufwirtschaft weiter an Bedeutung. Die Schließung von Stoffkreisläufen und die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen trägt dazu bei, den Bedarf an Primärrohstoffen zu reduzieren. Neben der Reduktion bestehender Abhängigkeiten von außereuropäischen Lieferanten leisten Recycling und Wiederaufbereitung einen entscheidenden Beitrag zu Klima- und Umweltschutz. Sekundärrohstoffe weisen eine deutlich günstigere Klimabilanz auf und schonen indirekt auch Naturräume in Abbauländern. Immer effektivere Sortier- und Verwertungstechnologien können immer mehr und hochwertigere Wertstoffe extrahieren. Damit wird die Kreislauf- und Abfallwirtschaft ökonomisch noch lohnender. Für nicht recyclingfähige Stoffe muss die Abfallwirtschaft zudem eine fachgerechte Entsorgung gewährleisten.

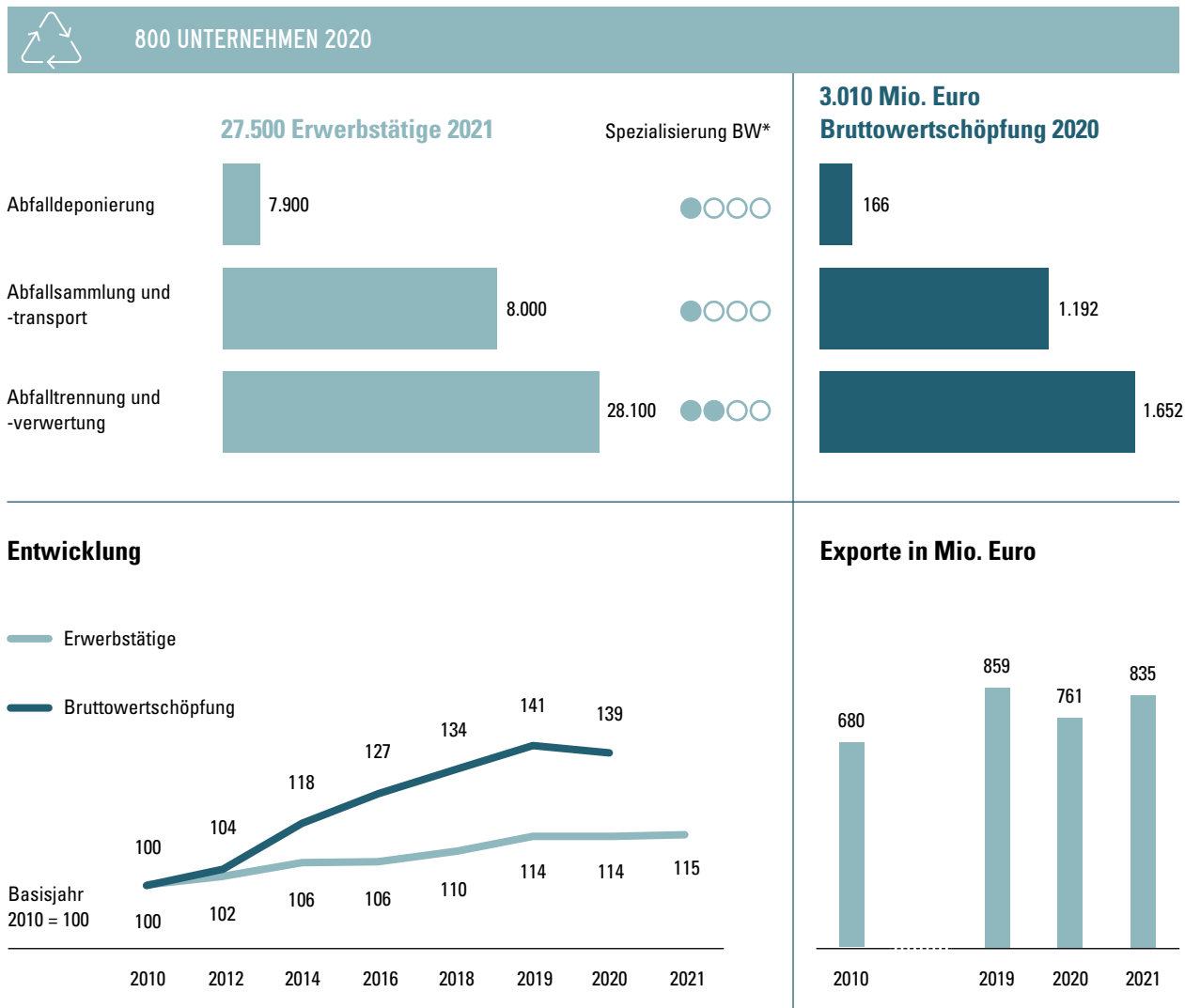
Der Leitmarkt der Kreislauf- und Abfallwirtschaft ist in drei Marktsegmente unterteilt:

- > Dabei wird einerseits das Segment Abfallsammlung und -transport abgebildet, die von Müllsäcken und Müllbehäl-

tern bis zu Abfallfördereinrichtungen, Umladeanlagen und Müllfahrzeugen alle zentralen Elemente des Weges vom Abfallproduzenten zum Verwerter umfasst. Auch Straßenreinigungen und Dienstleistungen der Abfallsammlung fallen darunter.

- > Im zentralen Marktsegment Abfalltrennung- und -verwertung sind alle Anlagen und Maschinen zur Trennung, Sortierung, Bearbeitung und energetischen oder stofflichen Verwertung von Abfällen enthalten. Fahrzeugtechnik, Analyse- und Kontrolltechnologien, sowie die Anlagen zur Weiterverarbeitung der gewonnenen Wertstoffe für die industrielle Wiederverwendung sind eingeschlossen. Planungs-, Bau- und Installationsleistungen für Abfallverarbeitungsanlagen sind in diesem Leitmarkt ebenfalls abgedeckt.
- > Da aber nicht der gesamte Abfallstrom wieder zu neuen Wertstoffen umgewandelt oder energetisch verwertet werden kann, muss weiterhin ein Teil der Abfälle deponiert werden. Diese fachgerechte und möglichst umweltschonende Deponierung gehört auch zum Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft. Dabei ist insbesondere der Schutz der Böden und des Grundwassers von großer Bedeutung.

KENNZAHLEN ZUM LEITMARKT IN BADEN-WÜRTTEMBERG



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit, des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts
 * Spezialisierung Baden-Württembergs auf Basis des Lokalisationsquotienten. Dieser zeigt, welche Marktsegmente in Baden-Württemberg im Vergleich zum Bundesdurchschnitt überproportional ausgeprägt sind. 1 Punkt = unterdurchschnittlich; 2 Punkte= durchschnittlich; 3 Punkte = hoch; 4 = sehr hoch

Der Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft liegt bei den absoluten Zahlen im Mittelfeld der Branche. Das Wachstum der Erwerbstätigen liegt mit 1,2 % p.a. allerdings unterhalb des Durchschnitts. Die Bruttowertschöpfung zeigt mit einem Wachstum von 3,4 % p.a. die geringste Entwicklungsdynamik unter allen Leitmärkten.

Im bundesweiten Vergleich ist der Leitmarkt in Baden-Württemberg eher gering ausgeprägt. Dies liegt unter anderem daran, dass die Dienstleistungen der Abfallwirtschaft in einem ökonomisch starken Bundesland wie Baden-Württemberg wirtschaftlich weniger ins Gewicht fallen als in Regionen mit geringerer Wirtschaftskraft. Jedoch ist auch das stärker technisch geprägte Marktsegment Abfalltrennung und -verwertung nur durchschnittlich ausgeprägt und weist mit 0,7 % p.a. ein sehr geringes Erwerbstätigenwachstum auf.

Politische Rahmenbedingungen sowie Technologie- und Markttrends

Dem Thema Kreislaufwirtschaft wird in vielen Strategien und Maßnahmen auf EU-, Bundes- und Landesebene eine zentrale Rolle beigemessen, wodurch der Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft entsprechend profitiert. Im Green Deal der Europäischen Kommission wird das Ziel der Verwirklichung einer klimaneutralen und kreislaforientierten Wirtschaft formuliert. Dazu soll insbesondere auch die Industrie mobilisiert werden. In einem neuen Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft werden dafür die Schwerpunkte insbesondere auf Maßnahmen in den Textil-, Bau-, Elektronik- und Kunststoffsektoren gelegt, um das Ziel eines reduzierten Abfallaufkommens bis 2030 zu ermöglichen. Die Schwerpunkte betonen die zukünftige Relevanz von hier identifizierten Trends wie „Whole Life Cycle Approach“.

„Recycling von Verbundbau- und -werkstoffen“, „Elektroschrottrecycling“, „Re- und Upcycling von Baustoffen“ sowie „Plastik abbauende Enzyme und Bakterien“. Zusätzlich sollen bis 2030 alle in der EU in Verkehr gebrachten Verpackungen in wirtschaftlich tragfähiger Weise wiederverwendbar oder recyclebar sein. Der Trend „Kreislauffähige Verpackungs- und Transportlösungen“ gewinnt somit bereits kurzfristig weiter an Bedeutung. Als Rechtsrahmen ist hier auch die Abfallrichtlinie zu nennen, die indes seit 2008 besteht. Hier wurde festgelegt, dass bis 2025 55 % und bis 2035 65 % aller kommunalen Abfälle recycelt werden müssen. Die Mitgliedstaaten müssen zudem bis 2025 eine getrennte Sammlung von Textilien und gefährlichen Abfällen aus Haushalten einrichten.

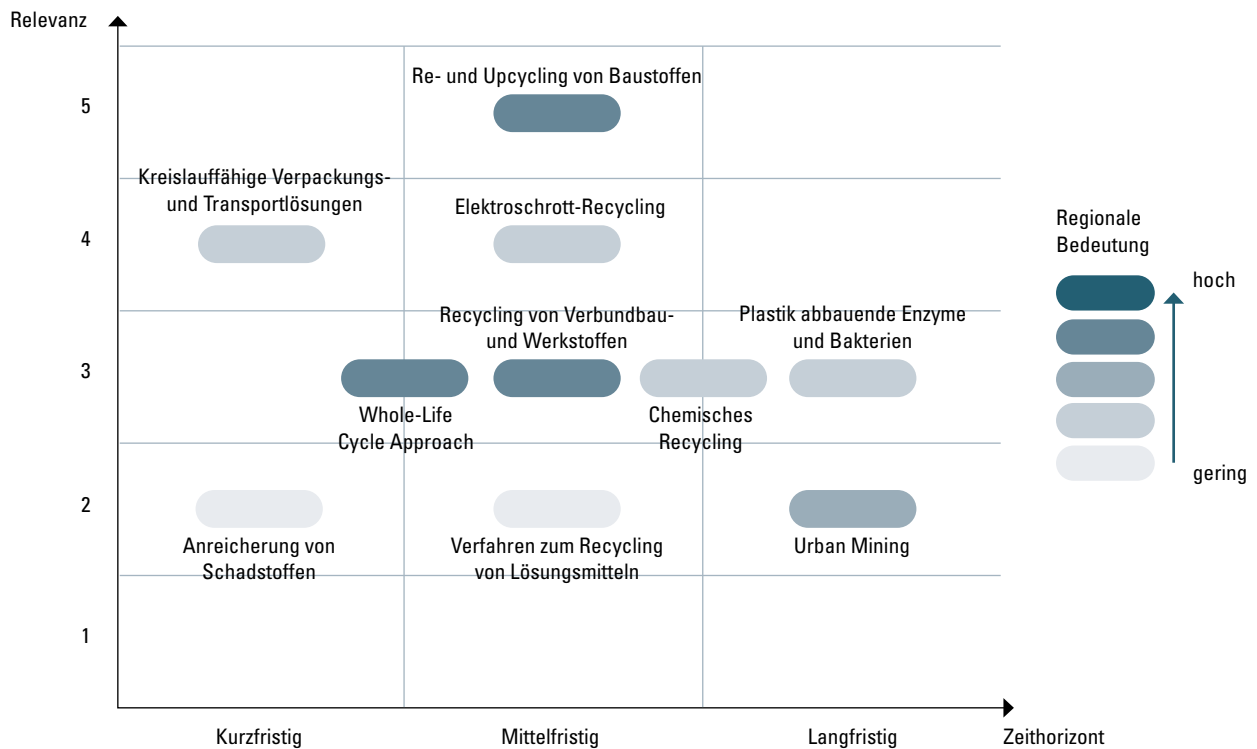
Auf Bundesebene werden relevante Ziele für den Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft im Abfallvermeidungsprogramm definiert. Ziel ist die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Abfallaufkommen sowie die Entwicklung zu einer Kreislaufwirtschaft. In der Zukunftsstrategie Forschung und Entwicklung wird dieser Anspruch unterstrichen. Besondere Aufmerksamkeit gilt hier der Verankerung einer intelligenten Kreislaufwirtschaft in unternehmerische Innovationsprozesse. Daneben wird erhebliches Potenzial in biotechnologischen

Prozessen gesehen. Auch Urban Mining als Ansatz zur Nutzung anthropogener Rohstofflager findet Erwähnung.

Auch Baden-Württemberg schließt sich dem Ziel einer biobasierten, nachhaltigen und kreislauforientierten Wirtschaft an. In der Innovationsstrategie des Landes wird das Leitbild der „Re-Economy“ mit den Stichworten Reduce, Reuse und Recycle als langfristiger Trend mit bedeutendem Potenzial identifiziert. Dementsprechend wird insbesondere die Bauwirtschaft und das Recycling der dort anfallenden Stoffe als zukünftig wichtiges FuE-Feld bezeichnet. Dies spiegelt sich auch in den hier identifizierten Trends „Recycling von Verbundbau und -werkstoffen“ sowie „Re- und Upcycling von Baustoffen“ wider. Unterstützt wird dieses Ziel auch im baden-württembergischen EFRE-Programm, in dem Maßnahmen zur Förderung des Übergangs zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft förderfähig sind.

Auf Grundlage der politischen Treiber sowie der weiteren Recherche und Bewertung konnten die Trends Re- und Upcycling von Baustoffen, kreislauffähige Verpackungs- und Transportlösungen sowie Elektroschrott-Recycling als besonders relevant für den Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft bewertet werden (vgl. Abbildung 7).

Abbildung 23: Trends im Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft



Ausgewählte Trends im Detail

RE- UND UPCYCLING VON BAUSTOFFEN

Abfälle aus Gebäudeabbrüchen machen einen beträchtlichen Anteil des Abfallaufkommens in Deutschland aus. Gleichzeitig ist die Herstellung von Beton besonders ressourcen- und emissionsintensiv. Daher wird die Wiederverwendung von Baustoffen, insbesondere Beton, in Zukunft deutlich an Bedeutung gewinnen. Dabei steht insbesondere die Wiederverwendung in höherwertigen Zuständen (Upcycling) im Fokus. Recycling- oder auch ressourcenschonender Beton

(RC- oder R-Beton) können ohne Qualitätseinbußen gegenüber herkömmlichem Beton eingesetzt werden und ersetzen knappe natürliche Ressourcen durch recycelten Bauschutt. Darüber hinaus stehen digitale Anwendungen in engem Zusammenhang mit Baustoffrecycling. Building Information Management Systeme (BIM) dokumentieren die Bestandteile von Gebäuden und erlauben damit eine bessere Planung der Wiederverwendung von Baustoffen.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●○

RELEVANZ ●●●●●

ZEITHORIZONT Mittelfristig

KREISLAUFFÄHIGE VERPACKUNGS- UND TRANSPORTLÖSUNGEN

In der Herstellung herkömmlicher Verpackungsmaterialien kommen häufig Kunststoff-Mehrschichtverbunde zum Einsatz, die sich schwer recyceln lassen. Verpackungs- und Transportmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen und Monomaterial-Verpackungen stellen daher eine geeignete Alternative für kunststoffbasierte Materialien dar, wenn sie die biologische Abbaubarkeit der Endmaterialien ge-

währleisten. Grundlage für diese Materialien können z.B. Industriehanf oder Myzel sein. Steigende Marktanteile des Onlinehandels und damit verbundene notwendige Produkttransporte sowie strengere Vorschriften zu Verpackungsmaterialien führen zu einer wachsenden Nachfrage und schaffen neue Marktpotenziale für kreislauffähige Verpackungs- und Transportlösungen.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●○○○

RELEVANZ ●●●●○

ZEITHORIZONT Kurzfristig

ELEKTROSCHROTT-RECYCLING

Das stetig wachsende Aufkommen an Elektroschrott und die gleichzeitig hohe Nachfrage nach endlichen Rohstoffen macht ein effizientes Recycling von Elektroschrott unabdingbar. Die Herausforderung besteht in der Auftrennung der einzelnen Materialien. Dieses Problem besteht bspw. beim herkömmlichen Schreddern. Auch thermische Verfahren zum Aufschmelzen der Abfälle bringen Nachteile mit sich, da

sie destruktiv auf bestimmte Bestandteile wirken. Für verbesserte, effiziente und präzise Verfahren bieten sich daher in Zukunft hohe Marktpotenziale. Die digitale Erfassung und präzise automatisierte Demontage sowie die elektrohydraulische Zerkleinerung stellen wichtige Ansätze für die Entwicklung solcher Verfahren dar.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●○○○

RELEVANZ ●●●●○

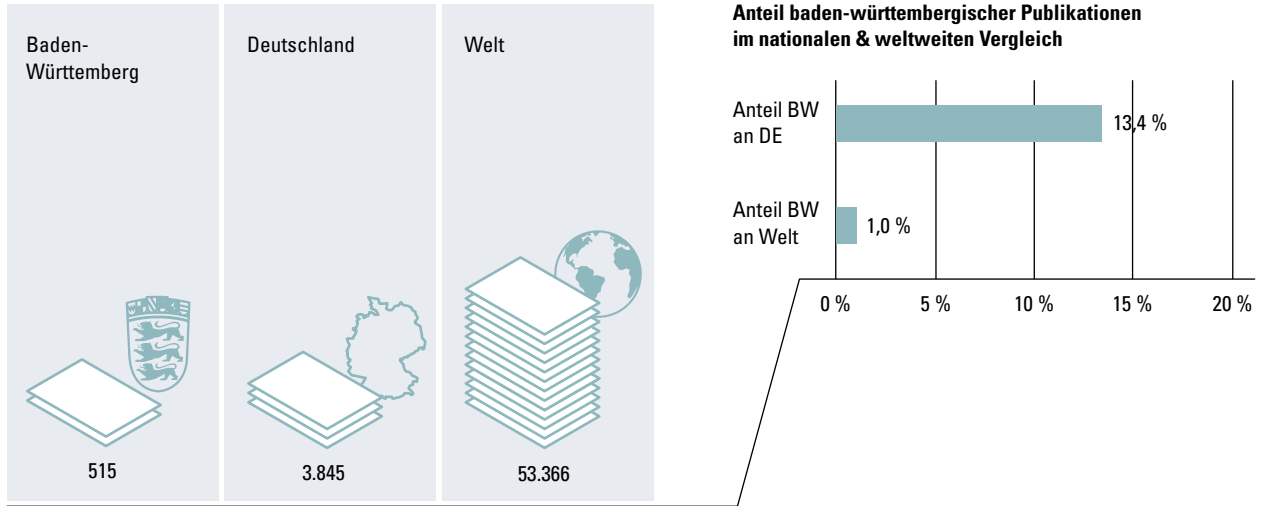
ZEITHORIZONT Mittelfristig

Weitere Trends im Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft

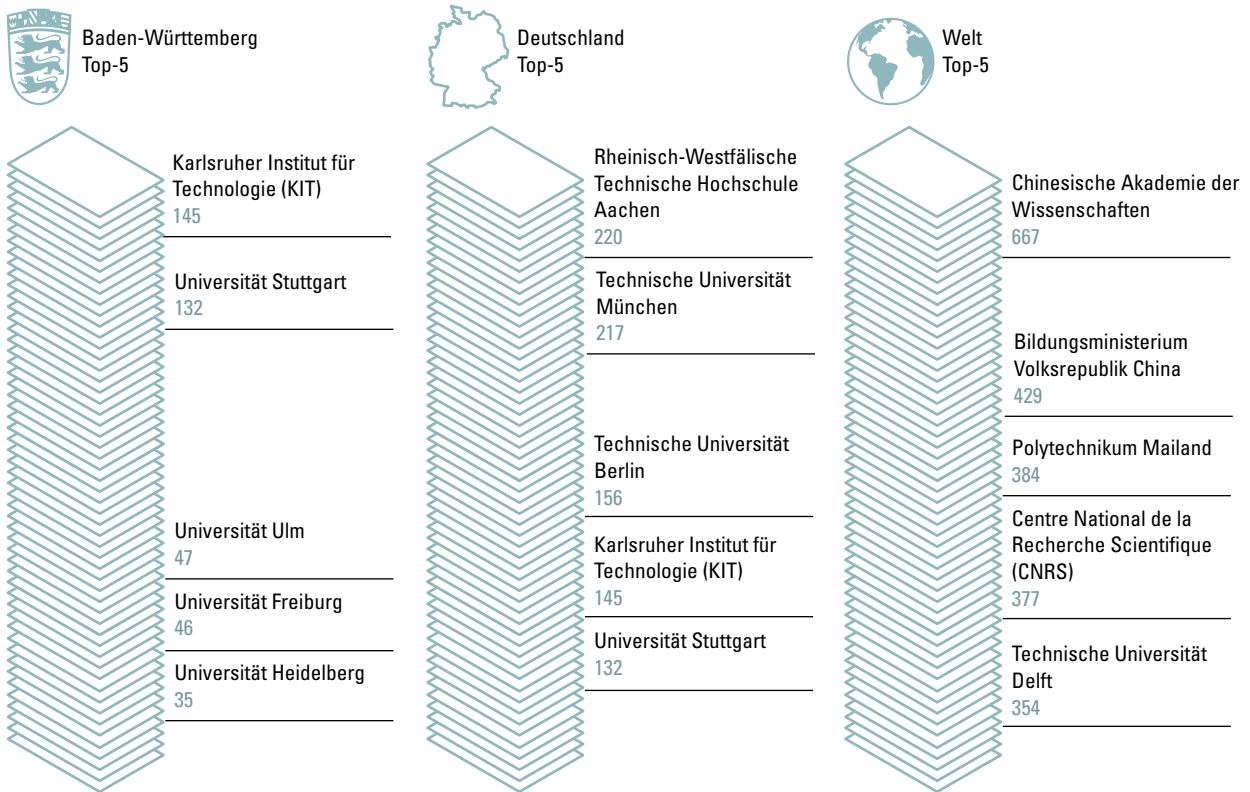
Trend	Beschreibung	Bewertung
WHOLE LIFE CYCLE APPROACH	Um eine ideale Verwertbarkeit eines Produkts zu ermöglichen, muss der gesamte Lebenszyklus bereits im Produktdesign berücksichtigt werden. Das Paradigma „recyclability by design“ wird in Zukunft weiter an Relevanz gewinnen und dazu führen, dass die Verwertung von Produktbestandteilen schon im Entwicklungsprozess bedacht wird.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Kurz- bis Mittelfristig
RECYCLING VON VERBUNDBAU UND -WERKSTOFFEN	Ein steigendes Abfallaufkommen aus Verbundbau- und -werkstoffen, z.B. aus Windkraftanlagen, wird in Zukunft neue Verfahren zur stofflichen Verwertung notwendig machen. Bislang ist diese meist nicht möglich und die Abfälle werden thermisch verwertet oder deponiert.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Mittelfristig
CHEMISCHES RECYCLING, INSB. FÜR KUNSTSTOFFE UND BATTERIEN	Viele Kunststoffe sind bislang nicht werkstofflich verwertbar. Chemische Recyclingverfahren erlauben die Veränderung der Polymerstruktur von Kunststoffen und weitere Verwendung als Rohstoff. Wichtige Ansätze sind Pyrolyse, Vergasung, Verölung und Solvolyse.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Mittel- bis Langfristig
PLASTIK ABBAUENDE ENZYME UND BAKTERIEN	Eine weitere Möglichkeit dem wachsenden Aufkommen an Kunststoffabfällen zu begegnen, stellt die biologische Behandlung mit Hilfe von Enzymen und Bakterien dar. Das so entstehende Material kann als Rohstoff für die Produktion neuer Kunststoffe genutzt werden.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Langfristig
URBAN MINING	Urban Mining bezeichnet die Ausbeutung anthropogener Rohstoffressourcen. Urban Mining ist daher ein strategischer Ansatz, der alle langlebigen Güter während ihres gesamten Lebenszyklus einschließt, um Stoffströme prognostizieren zu können.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Langfristig
VERFAHREN ZUM RECYCLING VON LÖSUNGSMITTELN	Viele Lösungsmittelabfälle werden derzeit noch thermisch verwertet. Da das Aufkommen aber durch die essenzielle Funktion in industriellen Prozessen konstant hoch ist, besteht für neue und verlässliche Verfahren zum Lösungsmittelrecycling ein erhöhtes Marktpotenzial.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Mittelfristig
ANREICHERUNG VON SCHADSTOFFEN IN UMWELT UND ABFALLSTRÖMEN	Zunehmendes Recycling führt zur Anreicherung von nicht-abbaubaren Schadstoffen, die Mensch und Umwelt belasten. Ihr Aufkommen wird zunehmend beobachtet und eröffnet den Bedarf für innovative Verfahren zur Abscheidung von Schadstoffen.	REGIONALE BEDEUTUNG  RELEVANZ  ZEITHORIZONT Kurzfristig

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Anzahl Publikationen im Leitmarkt Kreislauf- & Abfallwirtschaft 2010-2021

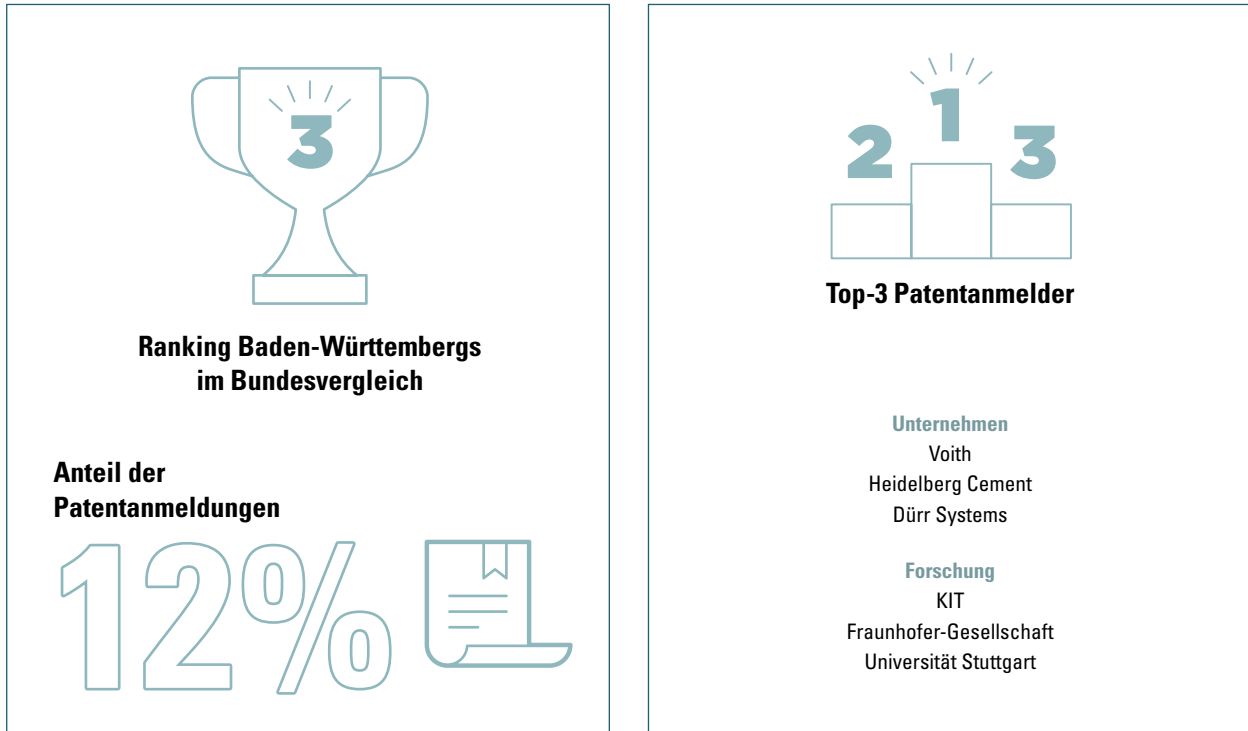


Führende Forschungsinstitutionen



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

PATENTE IM LEITMARKT KREISLAUF- & ABFALLWIRTSCHAFT



FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSTHEMEN

Abbildung 24: Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Kreislauf- & Abfallwirtschaft in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PUBLIKATIONSANALYSE 2010–2021



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

Abbildung 25: Top-Innovationshemen im Leitmarkt Kreislauf- & Abfallwirtschaft in Baden-Württemberg
AUF BASIS DER PATENTANALYSE 2010–2019



Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

Dem Leitmarkt Kreislauf- und Abfallwirtschaft konnten weniger Publikationen zugeordnet werden als anderen Leitmärkten. Baden-Württemberg ist dabei aber mit einem globalen Anteil von 1 % gut positioniert. Das KIT und die Universität Stuttgart sind mit Abstand die aktivsten Institutionen aus dem Bundesland und liegen national auf den Plätzen 4 und 5. Die beiden Institutionen weisen näherungsweise dreimal so viele Publikationen auf wie die Universitäten Ulm und Freiburg, welche auf den Plätzen drei und vier in Baden-Württemberg liegen. Thematisch liegen die Schwerpunkte der baden-württembergischen Publikationsaktivitäten unter anderem bei Recyclingprozessen, insbesondere mit Bezug zu Baustoffen (R-Beton, Zuschlagstoffe, rezyklierte Gesteinskörnungen) und zu seltenen Erden (Lanthan-Recycling). Darüber hinaus werden vor allem Potenziale der Digitalisierung (Blockchain, VANets) erforscht.

Auf nationaler Ebene sind die RWTH Aachen und die TU München führend. An der globalen Spitze findet sich ein Mix aus chinesischen und europäischen Institutionen. So publiziert die

Chinesische Akademie der Wissenschaften als global führende Institution insbesondere zum Themenkomplex Recycling. Das Polytechnikum Mailand forscht hingegen vor allem zum Thema Lebenszyklusoptimierung und liegt als führende europäische Institution im weltweiten Ranking auf dem dritten Platz.

Die baden-württembergischen Patentaktivitäten sind in diesem Leitmarkt auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau. Der bundesweite Anteil liegt nur bei 12 %, führend ist Nordrhein-Westfalen. Inhaltliche Schwerpunkte baden-württembergischer Patente liegen unter anderem bei Trenn- und Sortiertechnik, der Behandlung und Verwertung von Altpapier und Haushaltsabfällen sowie bei verschiedenen Lösungen im Kontext von Kunststoffabfällen.

STÄRKEN

- > Deutsche & baden-württembergische Forschung stark im Bereich Lebenszyklusoptimierung;
- > Starke nationale Forschungspräsenz durch KIT und Universität Stuttgart (national auf Platz 4 und 5)

SCHWÄCHEN

- > Leitmarkt in Baden-Württemberg unterdurchschnittlich ausgeprägt.
- > Insbesondere Entsorgungsdienstleistungen haben für Baden-Württemberg im bundesweiten Vergleich unterdurchschnittliche ökonomische Bedeutung
- > Geringes Wachstum, insbesondere im für Baden-Württemberg wichtigen und technisch geprägten Marktsegment Abfalltrennung und -verwertung
- > Starke Konzentration der Forschung auf KIT & Universität Stuttgart (Universität Stuttgart als dritte Kraft in BW nur auf Platz 17 im nationalen Vergleich)
 - > Im Bundesvergleich geringe Patentaktivitäten

SWOT**CHANCEN**

- > Auch in Zukunft steigender Bedarf an Technologien und Kompetenzen der Kreislaufwirtschaft
- > Große Kompetenz in wichtigen Zukunftstrends wie bspw. Re- und Upcycling von Baustoffen oder Verbundwerkstoffen

RISIKEN

- > Volkswirtschaftliche Situation birgt Risiken, da Unternehmen die notwendige Liquidität für Investitionen fehlen könnte
- > Höchst relevante Trends haben nur geringe regionale Bedeutung: Risiko Marktchancen zu verpassen
- > Herausforderungen in Verwertung/Behandlung durch zunehmend komplexer werdende Produkte und Verbundmaterialien





© Shutterstock/Dmitry Kalinovsky

4.4 LEITMARKT RESSOURCEN- UND MATERIALEFFIZIENZ

Im Jahr 2022 fiel der Earth Overshoot Day des WWF auf den 28. Juli und war damit so früh wie nie zuvor. Geht dieser Trend weiter, verbrauchen wir bald mehr als doppelt so viele natürliche Ressourcen pro Jahr, wie der Planet wieder regenerieren kann. Dieser viel zu hohe Ressourcenverbrauch ist in mehrfacher Hinsicht problematisch. So ist der Abbau von Primärrohstoffen mit Umweltverschmutzung und -zerstörung verbunden. Zudem werden dabei und durch die anschließende Veredelung zu Materialien hohe CO₂-Emissionen verursacht. Darüber hinaus stellen Rohstoffknappheiten eine Herausforderung für verschiedene Industrien dar. Nicht zuletzt gefährden Rohstoffknappheiten die Produktion von Schlüsseltechnologien für den Klimaschutz. Ressourcen- und Materialeffizienz bieten hier zusammen mit der Kreislaufwirtschaft die entscheidenden Lösungsansätze. Der größte Ressourcenverbrauch findet in den industriellen Prozessen statt. Folglich ist hier auch der größte Hebel, um effektiv den Ressourcenverbrauch einer Volkswirtschaft zu senken. Neue Verfahren und Technologien können oft durch kleine Änderungen im Herstellungsprozess große Mengen an Ressourcen einsparen. Durch neue Softwarelösungen können industrielle Prozesse besser analysiert und optimiert werden.

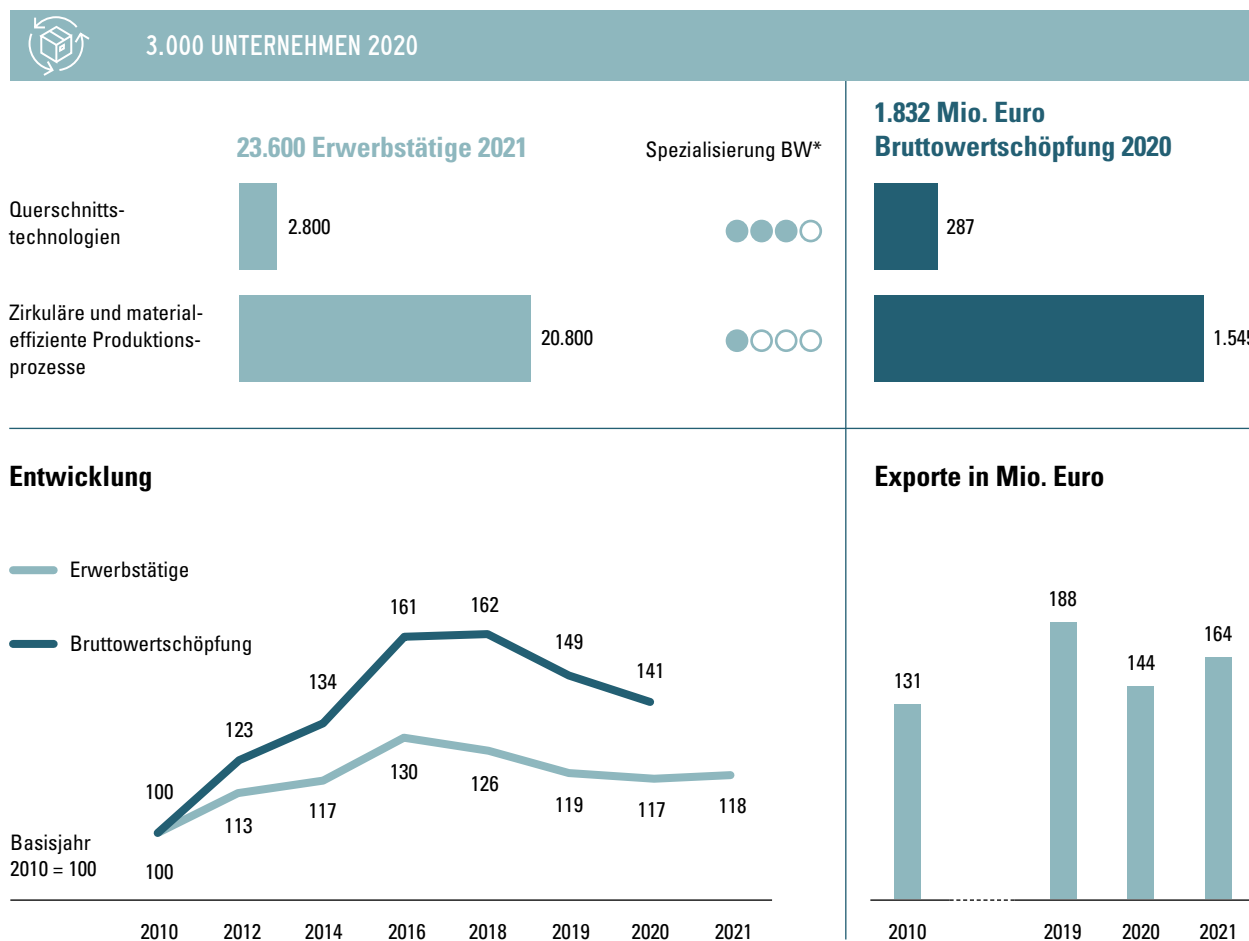
Aber auch die Auswahl der Materialien bspw. Leichtbaumaterialien können den allgemeinen Ressourcenverbrauch oder den ökologischen Fußabdruck mindern.

Der Leitmarkt umfasst zwei Marktsegmente:

- > Querschnittstechnologien, wie bspw. Mess-, Steuer-, und Regeltechnik, tragen zur Steigerung von Materialeffizienz in der industriellen Produktion bei. In diesem Marktsegment sind außerdem Technologien für die Verbesserung der tribologischen Eigenschaften abgebildet.
- > Das Marktsegment Materialeffiziente und zirkuläre Produktionsprozesse bildet Dienstleistungen ab. Darunter fallen Planungs- und Beratungsleistungen, Reparaturleistungen, Softwareentwicklung und die Installation von Ressourceneffizienztechnologien.

Der Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz zählt zu den kleineren Leitmärkten der GreenTech-Branche in Baden-Württemberg. Das Wachstum des Leitmarktes ist in der Gesamtbeurteilung bei den Erwerbstätigen 2010 – 2021 mit 1,6 % p.a. und der Bruttowertschöpfung 2010 - 2020 mit 3,5 % p.a. unterdurchschnittlich. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich, dass die Entwicklung noch bis 2016 von einem starken Wachstum gekennzeichnet war, anschließend ab 2018 jedoch ein Abwärtstrend einsetzte.

KENNZAHLEN ZUM LEITMARKT IN BADEN-WÜRTTEMBERG



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit, des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts
 * Spezialisierung Baden-Württembergs auf Basis des Lokalisationsquotienten. Dieser zeigt, welche Marktsegmente in Baden-Württemberg im Vergleich zum Bundesdurchschnitt überproportional ausgeprägt sind. 1 Punkt = unterdurchschnittlich; 2 Punkte= durchschnittlich; 3 Punkte = hoch; 4 = sehr hoch

Das Marktsegment Zirkuläre und materialeffiziente Produktionsprozesse prägt den Leitmarkt. In diesem Bereich ist Baden-Württemberg im bundesweiten Vergleich unterdurchschnittlich ausgeprägt.

Politische Rahmenbedingungen sowie Technologie- und Markttrends

Dem Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz wird in einer Vielzahl politischer Programme auf EU-, Bundes- und Landesebene eine besonders hohe Bedeutung für das zukünftige Erreichen von Nachhaltigkeits-, Klimaschutz- und Entwicklungszielen zugesprochen. Daher wirken sich viele der in den Strategien und Programmen formulierten Maßnahmen direkt auf die für den Leitmarkt identifizierten Trends aus. Ein Ziel des Europäischen Green Deals ist die Erhöhung der Ressourceneffizienz. Eine Maßnahme zur Erreichung dieses Ziels ist die Förderung reparierbarer Produkte und Verlängerung von Produktlebenszyklen. Damit gewinnt auch das Thema Remanufacturing in der Zukunft weiter an Bedeutung. Umgesetzt wird diese Forderung

u.a. mit der Ökodesign-Richtlinie, die seit 2021 für bestimmte Produktgruppen vorschreibt, dass Verbraucherinnen und Verbraucher mit handelsüblichen Werkzeugen Reparaturen durchführen können. Energieintensive Industriezweige wie bspw. die Stahl-, Chemikalien- oder Zementindustrie sollen modernisiert und dekarbonisiert werden. Zudem wurde die Chemikalienstrategie der EU für Nachhaltigkeit entwickelt. Vor diesem Hintergrund ist bspw. der Trend „Biotechnologische Herstellung von Chemikalien“ relevant.

Auf Bundesebene sind insbesondere die Industriestrategie, die Zukunftsstrategie Forschung und Innovation sowie der Integrierte Energie- und Klimaplan relevant für den Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz. Im Energie- und Klimaplan werden die Ressourceneffizienz und die Materialforschung als wichtige systemübergreifende Forschungsthemen benannt. Die Potenziale von Industrie 4.0 und Leichtbau als Innovationstreiber werden in der Industriestrategie identifiziert. In der Zukunftsstrategie Forschung und Innovation werden darüber hinaus die Nutzung nachwachsender Rohstoffe und Bioökonomie als wichtige Bausteine des weiteren Wirtschaftswachstums,

abgekoppelt von Ressourceneinsatz, Abfällen und Treibhausgasemissionen, genannt. Darüber hinaus wird sowohl in der Industriestrategie als auch in der Zukunftsstrategie Forschung und Innovation das Ziel benannt, Technologien zur weiteren Nutzung von abgeschriebenem CO₂ zur Marktreife zu bringen.

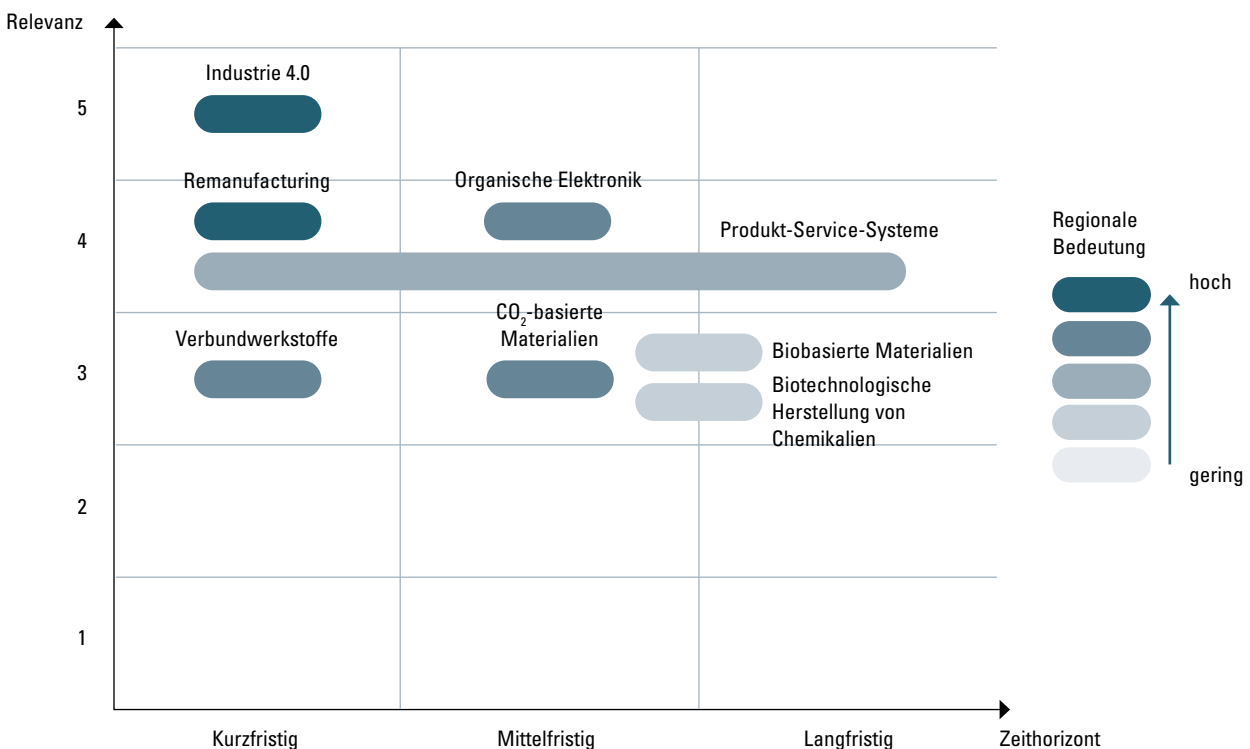
Auch auf Landesebene wird dem Leitmarkt sowohl in der Innovationsstrategie als auch in der Ressourceneffizienzstrategie hohe Relevanz beigemessen. Ressourceneffizienz wird in der Innovationsstrategie als Zukunftsfeld definiert. Die Landesregierung sieht in der Entwicklung einer „Re-Economy“ großes Potenzial, was sich auch auf Trends wie „Remanufacturing“ positiv auswirken wird. Baden-Württemberg setzt zudem sowohl in der Innovationsstrategie als auch der Ressourceneffizienzstrategie auf eine biobasierte, nachhaltige und kreislauforientierte Wirtschaft. Um diese Biologisierung der Wirtschaft umzusetzen, bedarf es der verstärkten Nutzung „biobasierter Materialien“. Auch die „biotechnologische Herstellung von Chemikalien“ rückt hier in den Fokus. Als weiteres Forschungsfeld von besonderer Relevanz für die baden-württembergische Wirtschaft werden Dienstleistungsinnovationen identifiziert

und insbesondere auf die stark wachsende Bedeutung von hybriden Leistungsbündeln („Produkt-Service-Systeme“) hingewiesen.

Weitere Maßnahmen werden in der Ressourceneffizienzstrategie formuliert. So soll das Leitbild einer Ultraeffizienzfabrik im urbanen Umfeld verfolgt und Technologien zur additiven Fertigung weiter vorangetrieben werden. Diese Maßnahmen stützen den Trend „Industrie 4.0“. Zuletzt wird auch das Thema Leichtbau als geeignetes Feld zur Förderung der Ressourceneffizienz identifiziert. Das Trendfeld „Verbundwerkstoffe“ wird hier also auch in Zukunft von Bedeutung sein.

Im Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz konnten auf Grundlage der politischen Treiber sowie der darüberhinausgehenden Trendrecherche und -bewertung die Trends Effizienzsteigerung durch Industrie 4.0 und digitale Technologien, Organische Elektronik sowie Verbreitung von Produkt-Service-Systemen als besonders relevant identifiziert werden (vgl. Abbildung 10).

Abbildung 26: Trends im Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz



Ausgewählte Trends im Detail

EFFIZIENZSTEIGERUNG DURCH INDUSTRIE 4.0 UND DIGITALE TECHNOLOGIEN

Das Stichwort Industrie 4.0 fasst verschiedene Entwicklungen der Digitalisierung zusammen. Aus der fortschreitenden Vernetzung in Produktion und weiteren Wertschöpfungsprozessen ergeben sich Veränderungen für Produkte und Prozesse, neue Geschäftsmodelle und Produktionsmethoden werden entwickelt. Diese sollen weiteres Wirtschaftswachstum bei gleichzeitiger Schonung der endlichen Ressourcen durch große Effizienzsteigerungen ermöglichen. Künstliche Intelligenz, additive Fertigungsverfahren, Automatisierung durch Roboter und virtuelle Ansätze (Digital Twins, Virtual und

Augmented Reality) stellen in diesem Zusammenhang wichtige Ansätze dar, die einen engen Bezug zur Digitalisierung haben und insbesondere in ihrer Kombination und vernetzten Anwendung große Effizienzgewinne versprechen. Das Konzept der Ultraeffizienzfabrik der Fraunhofer Institute IPA, IAO und IGB verfolgt einen ähnlichen, aber ganzheitlicheren Ansatz, in dem digitale Technologien eines von mehreren Instrumenten zur Effizienzsteigerung in der industriellen Produktion darstellen.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●●

RELEVANZ ●●●●●

ZEITHORIZONT Kurzfristig

ORGANISCHE ELEKTRONIK

Derzeit wird die Elektronik maßgeblich von anorganischen Materialien wie Silizium, Germanium oder Galliumarsenid dominiert. Organische Elektronik bietet im Vergleich zwei wesentliche Vorteile. Zum einen sind organische Bauteile flexibel und biegsam, woraus sich neue Anwendungsmöglichkeiten, wie z.B. biegsame Displays oder medizinische Sensoren zur Aufbringung auf die Haut ergeben. Darüber hinaus können organische Materialien auf einer Vielzahl

von Trägeroberflächen in dünnen Schichten aufgebracht werden und sind preisgünstiger. Dazu gehören bspw. Glas oder Textilien. Daher finden organische Elektronikbauteile zunehmende Anwendung im Bereich der Photovoltaik. Aufgrund der preiswerten Rohstoffe und Herstellungsprozesse, zeichnen sich zukünftig weitere Produktinnovationen auf Basis organischer Elektronik ab

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●○

RELEVANZ ●●●●○

ZEITHORIZONT Mittelfristig

VERBREITUNG VON PRODUKT-SERVICE-SYSTEMEN

Produkt-Service-Systeme (PSS, auch: hybrides Leistungsbündel) fallen in die Kategorie der Geschäftsmodellinnovationen. Es handelt sich um die kombinierte Vermarktung eines Produkts und einer zugehörigen Dienstleistung. Im industriellen Bereich ist die kombinierte Vermarktung von Anlagen und Wartungsdienstleistungen ein weit verbreiteter Anwendungsfall von Produkt-Service-Systemen. Weitere Anwendungsfälle sind Geschäftsmodelle, bei denen nicht das Produkt selbst, sondern dessen Nutzung als Dienst-

leistung durch die Benutzer bezahlt wird. Dazu zählen z.B. Mobility-as-a-Service Angebote. Durch Bepreisung der eigentlichen Nutzung eines Produkts soll diese so effizient wie möglich gemacht und folglich ressourcenschonender eingesetzt werden. Produkt-Service-Systeme können folglich die Geschäftsmodelle von Industrieunternehmen maßgeblich verändern: Anlagen werden nicht mehr zu Stückpreisen verkauft, sondern dem Kunden zur Verfügung gestellt, dem wiederum eine nutzungsbasierte Gebühr berechnet wird.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●○

RELEVANZ ●●●●○

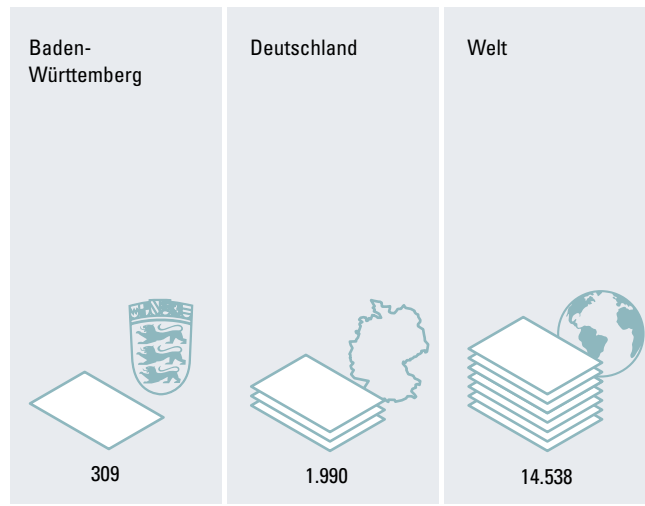
ZEITHORIZONT Kurz- bis Langfristig

Weitere Trends im Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz

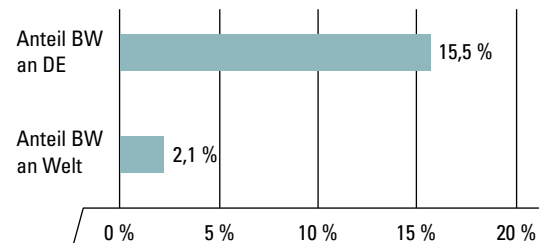
Trend	Beschreibung	Bewertung
REMANUFACTURING	Kürzer werdende Produktlebens- und Nutzungszyklen bedeuten ein steigendes Aufkommen an Gebrauchsgeschäften. Diese können aufbereitet werden, um den Anforderungen an ein Neugerät zu entsprechen. Insbesondere im Maschinen- und Anlagenbau ergeben sich hier weitere Marktpotenziale.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●● RELEVANZ ●●●●○ ZEITHORIZONT Kurzfristig
VERBUNDWERKSTOFFE	Während klassische Verbundwerkstoffe aus Kunststoffen etabliert sind, ergeben sich neue Potenziale durch die Kombination von Kunststoffen und Naturfasern (z.B. Wood-Plastic-Composites). Darüber hinaus ist insbesondere das Recycling von Verbundstoffen weiterhin eine Herausforderung.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Kurzfristig
CO ₂ -BASIERTE MATERIALIEN	Die Nutzung von CO ₂ als Rohstoff stellt eine Möglichkeit zur Reduktion der CO ₂ -Konzentration dar. Mikroorganismen ermöglichen es, aus CO ₂ hergestelltes Methanol in Bausteine für Polymere umzuwandeln. Weitere Anwendungsfelder für die Nutzung von CO ₂ liegen u.a. in der Lebensmittelproduktion und der Betontechnologie.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Mittelfristig
BIOBASIERTE UND BIOLOGISCH ABBAUBARE MATERIALIEN	Biobasierte und biologisch abbaubare Materialien stellen eine nachhaltige Alternative zu Kunststoffen dar, die die Belastung für die Umwelt reduzieren. Ein Ausgangsmaterial, das derzeit erhöhte Aufmerksamkeit in der Forschung erhält, ist Myzel. Darauf basierende Materialien können bspw. in der Verpackungsindustrie eingesetzt werden.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●○○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Mittel- bis Langfristig
BIOTECHNOLOGISCHE HERSTELLUNG VON CHEMIKALIEN	Biobasierte Chemikalien sind ein wichtiger Baustein der fossilfreien Chemieindustrie. Mikroorganismen verwandeln dabei nachwachsende Rohstoffe zu chemischen Grundstoffen und können so in vielen Anwendungsfällen Erdöl als Rohstoff ersetzen.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●○○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Mittel- bis Langfristig

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Anzahl Publikationen im Leitmarkt Ressourcen- & Materialeffizienz 2010-2021



Anteil baden-württembergischer Publikationen im nationalen & weltweiten Vergleich



Führende Forschungsinstitutionen

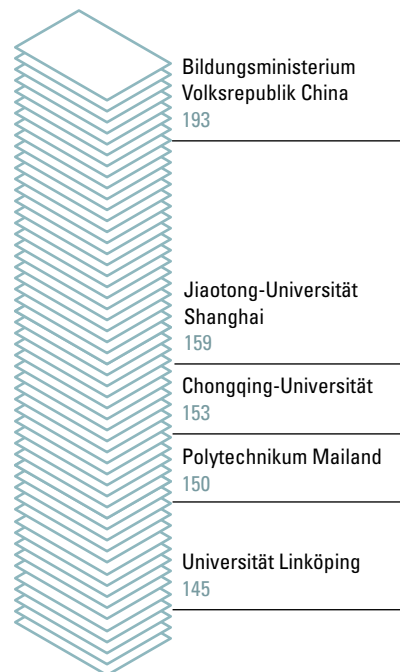
Baden-Württemberg Top-5



Deutschland Top-5



Welt Top-5



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

PATENTE IM LEITMARKT RESSOURCEN- UND MATERIALEFFIZIENZ

Dem stark dienstleistungsgeprägten Leitmarkt Ressourcen- & Materialeffizienz konnten im Rahmen des in Kap. 3 erläuterten methodischen Vorgehens keine Patentklassen zugeordnet werden. Patente zu Querschnittstechnologien im Kontext von Industrie 4.0 und Prozesssteuerung sind im Leitmarkt Energieeffizienz beschrieben.

FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSTHEMEN

Abbildung 27: Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Ressourcen- & Materialeffizienz in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PUBLIKATIONSANALYSE 2010–2021



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

Der Leitmarkt Ressourcen- und Materialeffizienz ist der kleinste Leitmarkt mit nur knapp 14.600 Publikationen weltweit. Dafür ist der Anteil der baden-württembergischen Publikationen an den weltweiten Publikationen mit 2,1 % in diesem Leitmarkt am größten. Deutschland insgesamt kommt auf einen Anteil von 13,7 %. Außerdem ist Deutschland weltweit führend im Thema zirkuläre Produktionsprozesse. Vor allem die Ruhr-Universität Bochum (Platz 4 im nationalen Leitmarktvergleich), sowie die Universitäten München und Berlin (Platz 1 und 2 im nationalen Leitmarktvergleich) forschen dabei intensiv zu diesem Themengebiet.

In Baden-Württemberg publizieren das KIT und die Universität Stuttgart gemeinsam am meisten und liegen dabei national auf

dem geteilten siebten Platz. Danach folgen zwei Fraunhofer Institute auf den Plätzen drei und vier im Bundeslandvergleich, nämlich das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), sowie das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI).

Ein wesentlicher Schwerpunkt der Publikationsaktivitäten bezieht sich auf neue Geschäftsmodelle und geschlossene Wertschöpfungskreisläufe. In diesen Kontext lassen sich u.a. die Themen Closed-Loop Supply Chain, Remanufacturing, Reverse Logistics, Service Economy und Produkt-Service-Systeme zuordnen. Daneben sticht Textilbeton als besonders effizientes Material hervor.

STÄRKEN

- > Hohe Spezialisierung im Marktsegment Querschnittstechnologien
- > Deutschland und damit auch Baden-Württemberg ist stark in der Forschung in diesem Leitmarkt im internationalen Vergleich

SCHWÄCHEN

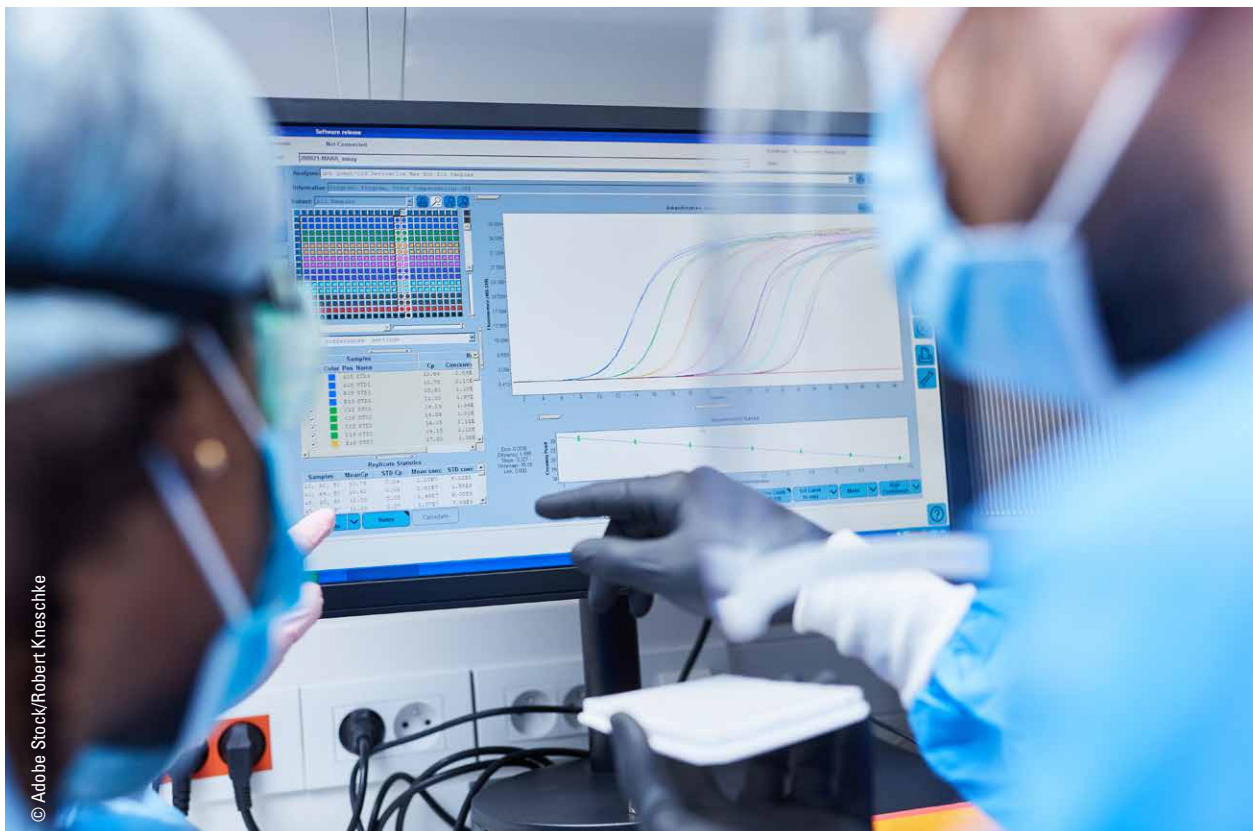
- > Rückläufige Entwicklung seit 2018
- > Unterdurchschnittliche Spezialisierung im prägenden Marktsegment Zirkuläre und material-effiziente Produktionsprozesse
- > keine baden-württembergische Institution in den Top-5 im nationalen Publikationsvergleich

SWOT**CHANCEN**

- > Knappe Rohstoffressourcen machen Innovationen sowie Investitionen in Technologien zur weiteren Erhöhung der Ressourcen- und Materialeffizienz auch in Zukunft notwendig
- > Absehbar hohe Nachfrage nach Kernprodukten der Branche, z.B. im Trendfeld Industrie 4.0
- > Viele relevante Trends haben regional eine hohe Bedeutung und bergen so große Wertschöpfungspotenziale

RISIKEN

- > Volkswirtschaftliche Situation birgt Risiken, da Unternehmen die notwendige Liquidität für Investitionen fehlen könnte
- > Neben Technologieinnovationen müssen in der Region auch neue Geschäftsmodelle, z.B. Produkt-Service-Systeme, stärker in den Blick genommen werden





4.5 LEITMARKT LUFTREINHALTUNG

Luftreinigungstechnologien haben seit der COVID-19 Pandemie eine verstärkte Aufmerksamkeit erfahren. Maßgeblich konzentriert sich der Leitmarkt jedoch auf die industrielle Luftreinigung bei Produktions- und Verarbeitungsprozessen sowie die Luftreinigung in Bezug auf verkehrliche Emissionen. Der Leitmarkt umfasst dabei im Wesentlichen klassische additive Umweltschutztechnologien bzw. End-of-Pipe-Technologien zur Filterung und nachsorgenden Reinigung.

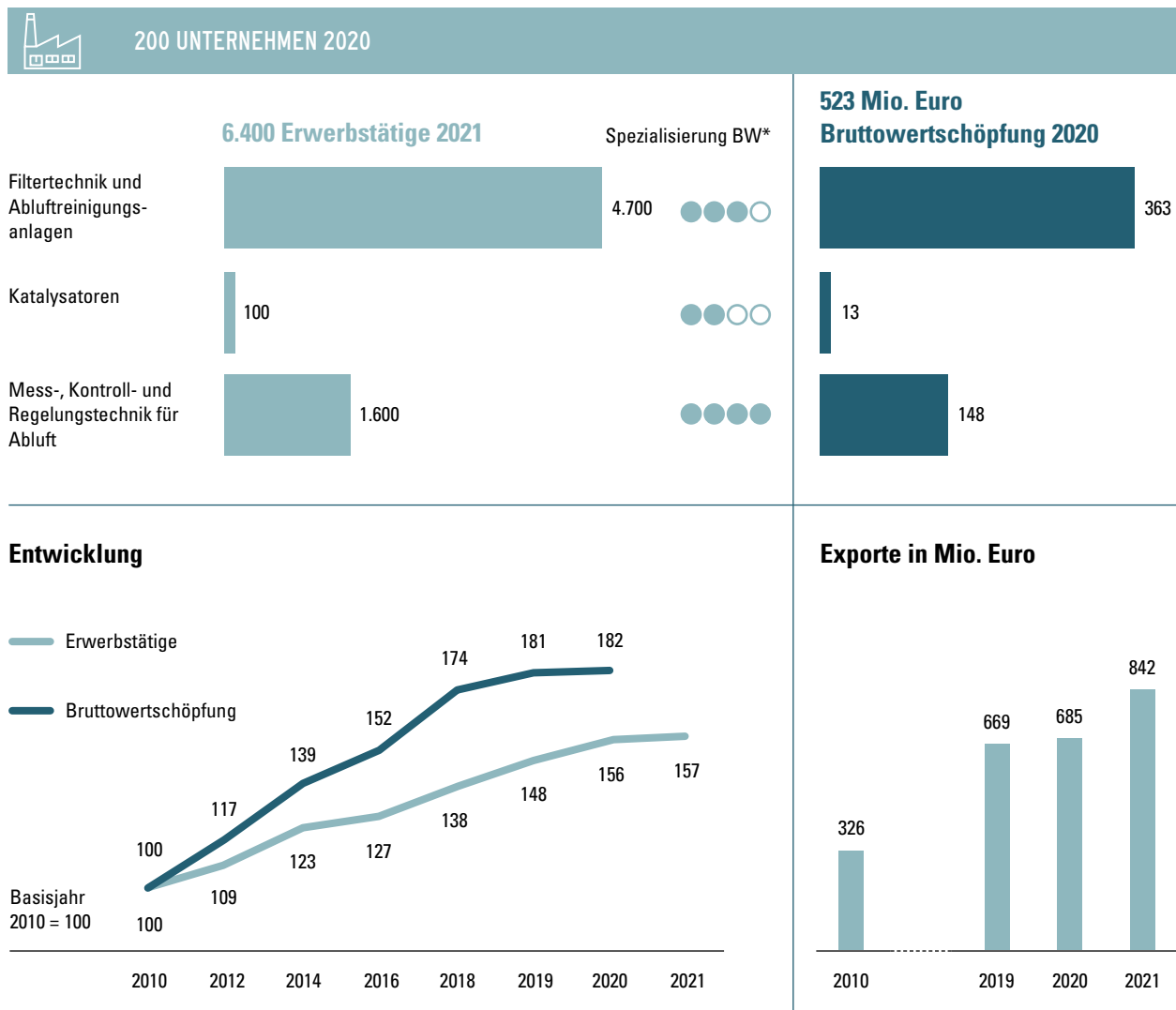
Dabei umfasst der Leitmarkt drei Marktsegmente:

- > Mess-, Kontroll- und Regelungstechnik für Lüftungstechnik und Abgase
- > Filtertechnik und Abluftreinigungsanlagen, inklusive Technologien wie Kompressoren und Abscheider.
- > Zusätzlich sind einige Grundstoffe und Chemikalien, die als Katalysatoren der Luftreinigung fungieren, miteinander geschlossen.

Der Leitmarkt Luftreinigung ist nach absoluten Zahlen der kleinste Leitmarkt der GreenTech-Branche. Nichtsdestotrotz hat er für Baden-Württemberg große Bedeutung. Das Land verfügt hier über eine herausragende Spezialisierung. Mit einem Wachstum von 4,2 % p.a. bei den Erwerbstätigen ist er zudem der am stärksten wachsende Leitmarkt. Die Wachstumsrate bei der Bruttowertschöpfung liegt mit 6,2 % p.a. auf dem gleichen hohen Niveau wie im Leitmarkt Energieeffizienz.

Das Marktsegment Filtertechnik und Abluftreinigungsanlagen nimmt den größten Stellenwert im Leitmarkt ein. Es ist mit 4,6 % p.a. (Erwerbstätige) zudem das wachstumsstärkste Segment. Im Marktsegment Mess-, Kontroll- und Regelungstechnik hat Baden-Württemberg eine bundesweit herausragende Stellung.

KENNZAHLEN ZUM LEITMARKT IN BADEN-WÜRTTEMBERG



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit, des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts
 * Spezialisierung Baden-Württembergs auf Basis des Lokalisationsquotienten. Dieser zeigt, welche Marktsegmente in Baden-Württemberg im Vergleich zum Bundesdurchschnitt überproportional ausgeprägt sind. 1 Punkt = unterdurchschnittlich; 2 Punkte= durchschnittlich; 3 Punkte = hoch; 4 = sehr hoch

Politische Rahmenbedingungen sowie Technologie- und Markttrends

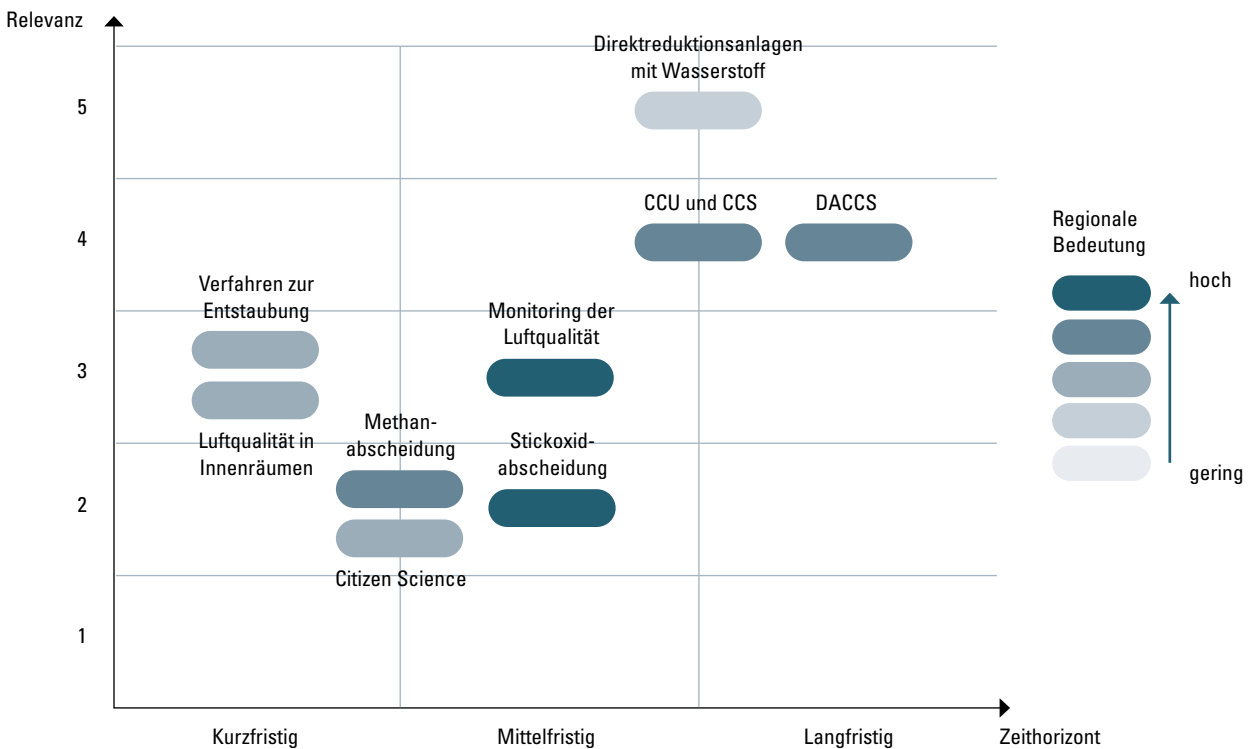
Technologien aus dem Leitmarkt Luftreinhaltung nehmen eine zentrale Rolle bei der Erreichung von Zielen auf EU und Bundesebene ein. Im Green Deal der EU-Kommission wird die Dekarbonisierung und Modernisierung von energieintensiven Industriezweigen wie Stahl-, Chemikalien- und Zementindustrie als entscheidend bezeichnet, da diese Branchen für die europäische Wirtschaft von elementarer Bedeutung sind. Vor diesem Hintergrund gewinnen Trends wie „Direktreduktionsanlagen mit Wasserstoff“ an Bedeutung. Zudem fördert die

EU industrielle Vorreiter in den Bereichen Klima und Ressourcen. Schwerpunktbereiche sind u.a. sauberer Wasserstoff und CO₂-Abscheidung, -Speicherung und -Nutzung. Daher sind auch die Trends „CO₂-Direktabscheidung und -speicherung“ sowie „Carbon Capture and Utilization (CCU) / Carbon Capture and Storage (CCS)“ zukünftig relevant. Die Relevanz dieser Technologien wird auch in der Strategie zur Integration des europäischen Energiesystems unterstrichen. Bis 2023 möchte die Kommission zudem einen Rechtsrahmen für die Zertifizierung der Entfernung von CO₂ aus der Luft entwickeln. Die EU-Strategie zur Verringerung der Methanemissionen strebt zudem eine Verringerung der Methanemissionen zwischen 35 % und 37 %

gegenüber 2005 bis 2030 an und unterstreicht damit die Bedeutung von Trends wie „Methanabscheidung“. Auch auf Bundesebene stellen CCU und CCS wichtige Fokusthemen dar. Im nationalen Energie- und Klimaplan werden sie als wichtige Forschungsgebiete genannt. Die Industriestrategie sieht vor, dass diese Technologien zur Marktreife gebracht werden sollen. Daneben wird die vermehrte Nutzung von Wasserstoff in der industriellen Produktion, z.B. in der Stahlherstellung, als wichtige Maßnahme zur Reduktion von THG-Emissionen gesehen. In der Zukunftsstrategie Forschung und Innovation wird die Klimaforschung durch Förderung technologischer Innovationen und Konzepte zur Minderung des Treibhausgasausstoßes, zu Methoden der CO₂-Entnahme aus der Atmosphäre und zur Nutzung von CO₂ als Rohstoff für die Industrie gestärkt.

In Baden-Württemberg ist das EFRE-Programm von besonderer Bedeutung für die Förderung von Modellprojekten und Begleitforschung zu Technologien zur Treibhausgasminderung. Aus den politischen Treibern sowie der weiteren Trendrecherche und -bewertung ergibt sich, dass die Trends Direktreduktionsanlagen mit Wasserstoff, Carbon Capture and Utilization (CCU) / Carbon Capture and Storage (CCS) sowie die CO₂-Direktabscheidung und -speicherung (DACCS) im Leitmarkt Luftreinhaltung von besonderer Relevanz sind (vgl. Abbildung 12).

Abbildung 28: Trends im Leitmarkt Luftreinhaltung



Ausgewählte Trends im Detail

DIREKTREDUKTIONSANLAGEN MIT WASSERSTOFF

Die Stahlherstellung ist ein energie- und emissionsintensiver Prozess, der auf der meisteingesetzten Hochofenroute insbesondere Kohle als primären Energieträger vorsieht. Eine Alternative zur etablierten Hochofenroute stellt die Direktreduktion mit Wasserstoff dar, wobei das Eisenerz mit Hilfe des Wasserstoffs zu einem Eisenschwamm reduziert wird, welcher im Anschluss in einem Elektrolichtbogenofen zu Rohstahl verarbeitet werden kann. Die Nutzung

von grünem Wasserstoff in diesem Prozess ermöglicht die CO₂-neutrale Herstellung von Roheisen. Das Verfahren wird derzeit in einigen Demonstratoren getestet: Der gesamte Herstellungsprozess ist allerdings weiterhin sehr energieaufwändig, da sowohl die Herstellung von grünem Wasserstoff als auch der Elektrolichtbogenofen große Mengen an Strom aus erneuerbaren Energien erfordern.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●○○○

RELEVANZ ●●●●●

ZEITHORIZONT Mittel- bis Langfristig

CARBON CAPTURE AND UTILIZATION (CCU) / CARBON CAPTURE AND STORAGE (CCS)

Die Verwendung und Speicherung von CO₂ sind ein wichtiger Baustein bei der Reduktion von nicht vermeidbaren CO₂-Emissionen in die Atmosphäre. Daher spielen CCU und CCS eine wichtige Rolle insbesondere in CO₂-intensiven Industrien, wie der Zement- oder Glasherstellung. Da die künstliche unterirdische Speicherung von CO₂ in Deutschland bisher nur geringe gesellschaftliche Akzeptanz findet, sind insbesondere Technologien zur weiteren Verwendung von CO₂ notwendig. Dabei können biologische bzw. hybride

Technologien genutzt werden, um neue wertvollere Rohstoffe aus dem abgeschöpften CO₂ herzustellen. Diese können als wichtige Vorprodukte in der chemischen Industrie genutzt werden. Zu diesem Zweck wird an einer Vielzahl unterschiedlicher Verfahren mit dem Ziel der Herstellung höherwertiger, langkettiger Kohlenstoffverbindungen aus CO₂ geforscht. Der Trend steht somit auch in Zusammenhang mit CO₂-basierten Materialien.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●○

RELEVANZ ●●●●○

ZEITHORIZONT Mittel- bis Langfristig

CO₂-DIREKTABSCHIEDUNG UND -SPEICHERUNG (DACCS)

Während CCU und CCS sich auf die Abscheidung und Nutzbarmachung von CO₂-Emissionen aus der Verwertung fossiler Energieträger bezieht, stellt die CO₂-Direktabscheidung und -speicherung auf die Reduktion und Nutzung des bereits in der Atmosphäre gebundenen CO₂ ab. Die Technologien ermöglichen so den Ausgleich nicht vermeidbarer

Emissionen an anderer Stelle. Die Nutzung der derzeit noch sehr kostspieligen Anlagen könnte in Zukunft durch die Realisierung von Skaleneffekten steigen. Gleichzeitig müssen auch Strategien für die weitere Nutzung bzw. Speicherung des entnommenen CO₂ entwickelt werden, für die derzeit in Deutschland der rechtliche Rahmen fehlt.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●○

RELEVANZ ●●●●○

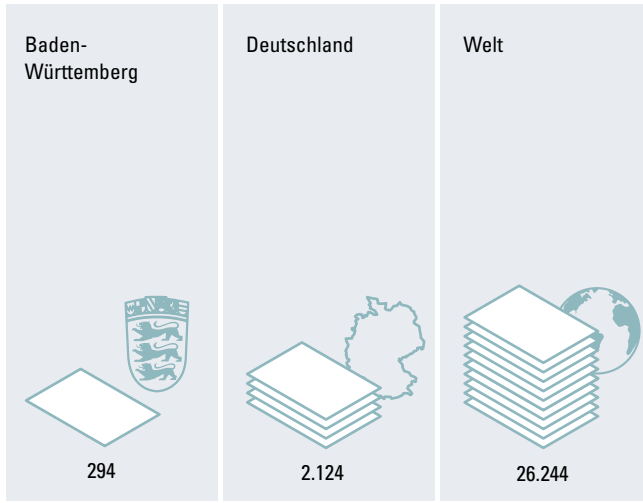
ZEITHORIZONT Langfristig

Weitere Trends im Leitmarkt Luftreinhaltung

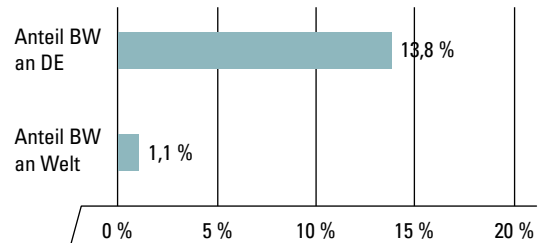
Trend	Beschreibung	Bewertung
NEUE VERFAHREN, TECHNOLOGIEN UND INDIKATOREN FÜR DAS MONITORING DER LUFTQUALITÄT	Insbesondere in der Forschung bedarf es neuer Verfahren für die Messung der Luftqualität, die eine höhere zeitliche und räumliche Auflösung ermöglichen. Zudem können durch die Kombination mit Wetter- und Klimavorhersagen Emissionsvorhersagen verbessert werden.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●● RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Mittelfristig
LUFTQUALITÄT IN INNENRÄUMEN UND ZUSAMMENHANG VON LUFTQUALITÄT UND VIRENVERBREITUNG	Wissenschaftliche Untersuchungen befassen sich mit dem Zusammenhang von Gesundheit und Luftqualität. Durch die Covid-19 Pandemie hat dieser Trend noch einmal an Bedeutung gewonnen. Die wachsende Nachfrage nach Technologien zur Überwachung von Luftqualität und entsprechende Reinigung eröffnet neue Potenziale.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Kurzfristig
VERFAHREN ZUR ENTSTAUBUNG	Die weiterhin bestehende Feinstaubbelastung macht Verfahren zur Verringerung der Emissionen notwendig. Im Fokus steht dabei Feinstaub PM2.5. Hier werden verschiedene neue Verfahren erprobt, so z.B. der Einsatz von elektrogesponnenen Nanofaser Membranen (ESNFM). Dabei gilt es, eine hohe Auffangrate bei möglichst hoher Luftdurchlässigkeit zu gewährleisten. Während die Basistechnologien existieren, muss die Marktdurchdringung erhöht werden. Dazu gehört bspw. auch die Anwendung im Kontext von Privathaushalten, wo Kleinfeuerungsanlagen zu den größten Feinstaubemittentem gehören.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Kurzfristig
VERFAHREN ZUR STICKOXID-ABSCHEIDUNG	Die Abscheidung von Stickoxiden aus Verbrennungsprozessen ist weiterhin ein relevantes Thema. Während die wesentlichen Technologien und Methoden bekannt sind, gilt es weitere Effektivitäts- und Effizienzsteigerungen zu ermöglichen.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●● RELEVANZ ●●○○○ ZEITHORIZONT Mittelfristig
ZUNEHMENDE BEDEUTUNG VON METHANABSCHEIDUNG	Methan wirkt als Treibhausgas stärker als CO ₂ . Daher wird es absehbar zu noch stärkerer Regulierung seiner Emissionen kommen, wodurch sich neue Marktpotenziale für die Entwicklung und Verbreitung entsprechender Abscheidungsverfahren ergeben.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●● RELEVANZ ●●○○○ ZEITHORIZONT Kurz- bis Mittelfristig
CITIZEN SCIENCE UND PERSONALISIERTE LÖSUNGEN ZUR MESSUNG DER LUFTQUALITÄT	Zunehmende Besorgnis über die Luftqualität und beinahe ubiquitär verfügbare Sensorik, z.B. in Smartphones ermöglichen neue Perspektiven für Forschung und Unternehmen. Echtzeitdaten zur Luftverschmutzung können so kleinräumlich erhoben und verwertet werden.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○ RELEVANZ ●●○○○ ZEITHORIZONT Kurz- bis Mittelfristig

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

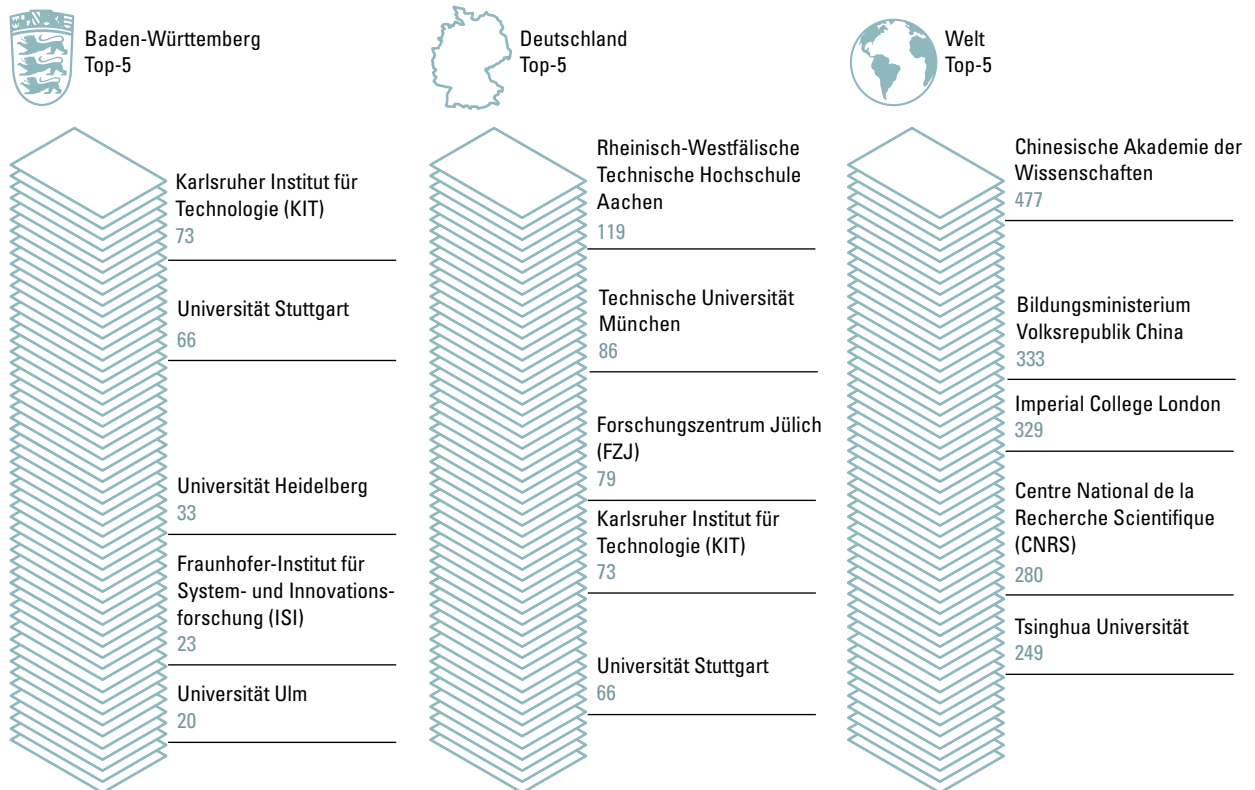
Anzahl Publikationen im Leitmarkt Luftreinhaltung 2010-2021



Anteil baden-württembergischer Publikationen im nationalen & weltweiten Vergleich

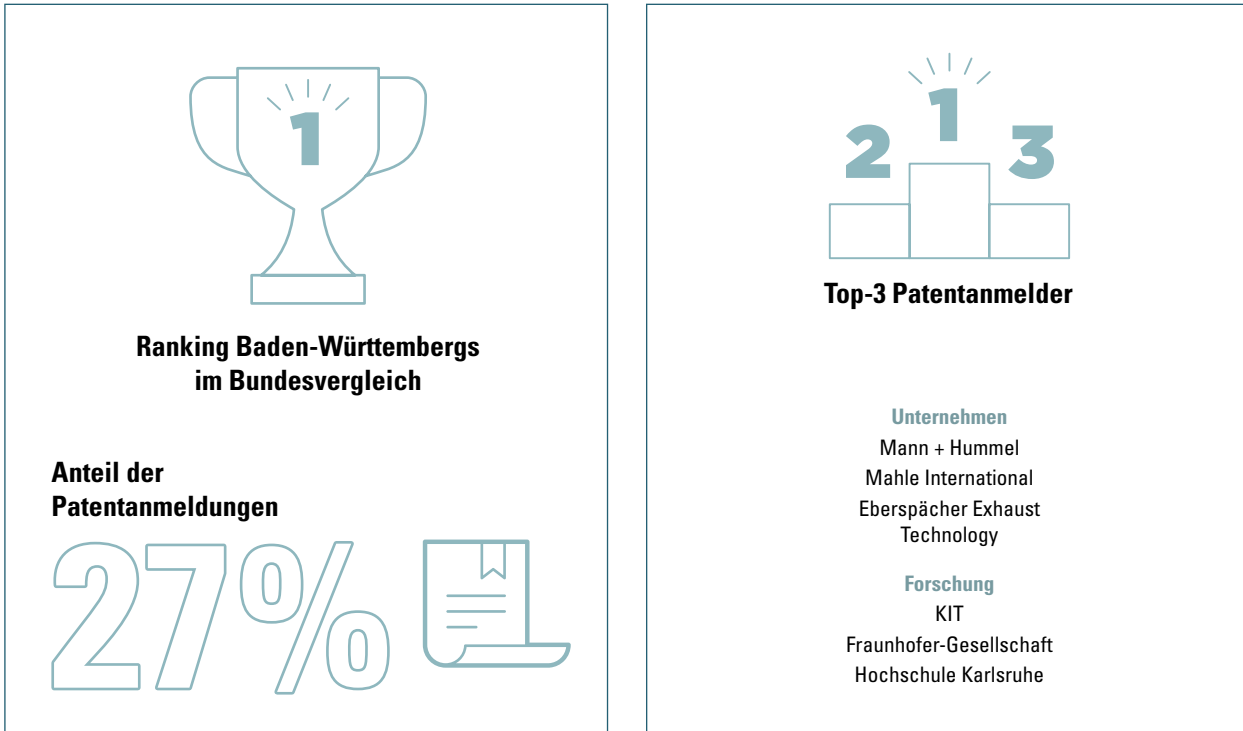


Führende Forschungsinstitutionen



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

PATENTE IM LEITMARKT LUFTREINHALTUNG 2010 – 2019



FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSTHEMEN

Abbildung 29: Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Luftreinhaltung in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PUBLIKATIONSANALYSE 2010–2021



Abbildung 30: Top-Innovationshemen im Leitmarkt Luftreinhaltung in Baden-Württemberg
AUF BASIS DER PATENTANALYSE 2010–2019



Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

Der Leitmarkt Luftreinhaltung ist gemessen an den weltweiten Publikationen am zweitkleinsten. Das KIT und die Universität Stuttgart spielen dabei als regionale Spitzeninstitutionen Baden-Württembergs auch bundesweit eine große Rolle und liegen auf den Plätzen vier und fünf im nationalen Ranking. Die Universität Heidelberg folgt auf dem dritten Platz in Baden-Württemberg schon mit deutlichem Abstand (Platz 16 in Deutschland).

Nationaler Spitzenreiter ist die RWTH Aachen, gefolgt von der TU München und dem Forschungszentrum Jülich. Im weltweiten Vergleich liegt das Imperial College aus London hinter den beiden chinesischen Institutionen Chinesische Akademie der Wissenschaften und Bildungsministerium Volksrepublik China auf dem dritten Platz.

Im Innovationsgeschehen ist Baden-Württemberg, getrieben von einer großen Zahl innovationsstarker Unternehmen, bundesweit führend. Das Bundesland kann mit einem Anteil von 27 % mit Abstand die meisten Patentanmeldungen auf sich vereinen.

Mit Blick auf die Themen legt die baden-württembergische Forschung einen Fokus auf unterschiedliche spezielle technologische Verfahren und Ansätze zur Abluftreinigung klassischer Schadstoffe. Darüber hinaus werden in vielen Publikationen technologische Ansätze zur Abscheidung von Treibhausgasen thematisiert. Bei den Patenten dominieren verschiedene konkrete Anlagen und Technologien. Ein wichtiger Bereich sind dabei auch Anlagen zur Abscheidung von Abgasen aus Verbrennungsprozessen.

STÄRKEN

- > Im deutschlandweiten GreenTech-Vergleich ein für Baden-Württemberg prägender Markt
- > Im deutschlandweiten Vergleich eine äußerst hohe Konzentration an wirtschaftlichen Kompetenzen, insbesondere im Marktsegment Mess-, Kontroll- und Regelungstechnik
- > Herausragendes Wachstum in Bruttowertschöpfung und Erwerbstätigenzahlen, insbesondere im größten Marktsegment Filtertechnik und Abluftreinigungsanlagen
- > Innovationsführer in Deutschland

SCHWÄCHEN

- > Sehr kleiner Leitmarkt (auch im Forschungsbereich), Forschung beschränkt sich sehr auf CCU & CCS

SWOT**CHANCEN**

- > Gesellschaftliche und politische Relevanz des Themas führt zu steigendem Bedarf für Luftreinhaltungstechnologien
- > Große regionale Kompetenz in wichtigen Trendfeldern: CCU, CCS und DACCS

RISIKEN

- > Volkswirtschaftliche Situation birgt Risiken, da Unternehmen die notwendige Liquidität für Investitionen fehlen könnte
- > Luftreinhaltungstechnologien sind End-of-pipe Produkte, die in finanziell schwierigen Zeiten zuerst eingespart werden. Vor allem in Ländern, in denen die Einhaltung von Grenzwerten wenig überwacht wird, schmälert dies die Absatzchancen
- > Zunahme von integrierten Lösungen sowie Elektrifizierung in der Industrie dämpft Nachfrage nach End-of-Pipe-Technologien





4.6 LEITMARKT UMWELTFREUNDLICHE ENERGIEERZEUGUNG UND -SPEICHERUNG

Die Energiewende ist der maßgebliche Faktor für die industrielle Transformation zur Klimaneutralität. Neben dem Ausbau erneuerbarer Energien zählen dazu auch der Umbau und das intelligente Management des Energiesystems sowie der Aufbau von Speicherkapazitäten. Vor dem Hintergrund der aktuellen Energiekrise und der geplanten Abkehr von fossilen Brennstoffen gewinnt der Leitmarkt weiter an Bedeutung.

Der Leitmarkt umfasst fünf Marktsegmente:

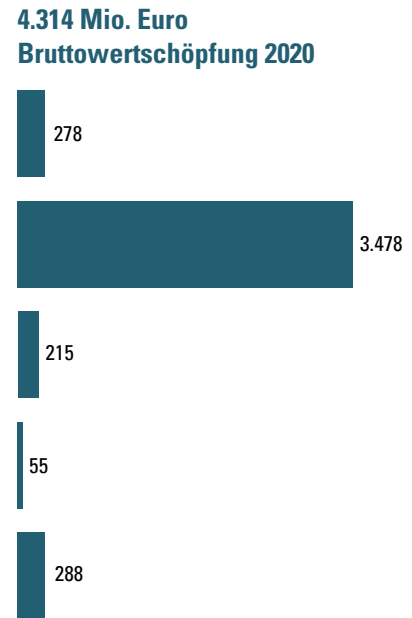
- > Das Segment Erneuerbare Energien enthält Technologien für erneuerbare Energieerzeugung aus Wind, Wasser, Sonne, Geothermie und Biomasse.
- > Darüber hinaus sind elektrochemische, thermische und mechanische Speichertechnologien umfasst.
- > Unter Intelligente Energiesysteme und Netze sind Aktivitäten zur Anpassung der Energiesysteme und -netze auf erneuerbare Energien bzw. deren intelligente und effiziente Steuerung abgedeckt.
- > Das Segment Elektrifizierung in der Industrie umfasst Produktionstechnik, die mit Strom anstelle von fossilen Brennstoffen betrieben wird.
- > Ein weiteres Marktsegment umfasst übergeordnete Aktivitäten wie Forschung, Entwicklung und Beratung im Energiesektor.

Der Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung von Energie ist mit Blick auf die Bruttowertschöpfung der zweitgrößte Leitmarkt der GreenTech-Branche (Anteil von 21 %). Bei den Erwerbstätigen fällt der Anteil mit 17 % etwas geringer aus. Insgesamt ist das Wachstum des Leitmarkts im Gesamtzeitraum sowohl bei den Erwerbstätigen als auch der Bruttowertschöpfung unterdurchschnittlich. Dies liegt jedoch insbesondere an der rückläufigen Entwicklung zu Beginn des letzten Jahrzehnts, geprägt durch die Krise der Solarbranche. Ab 2014 (bzw. 2018 bei den Erwerbstätigen) ist eine positive Trendumkehr erkennbar, die Entwicklung verlief bis 2020 gut. Im letzten Betrachtungsjahr flacht die Entwicklung bei den Erwerbstätigen ab, was unter anderem mit der Pandemie und der schwierigen Entwicklung in der Windenergie in Verbindung gebracht werden kann.

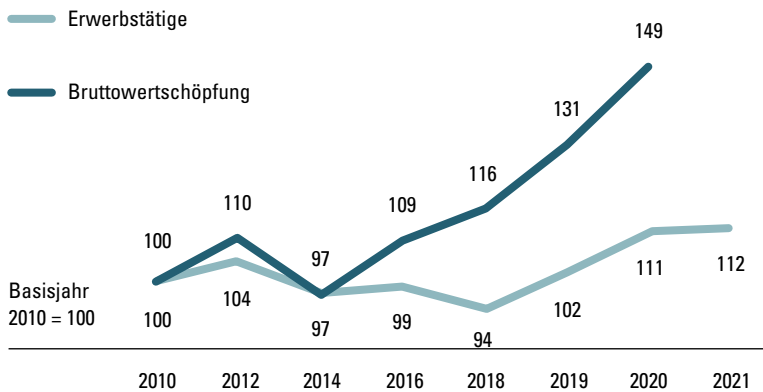
Die unterschiedlichen Bereiche des Leitmarkts erweisen sich bei differenzierter Betrachtung jedoch als sehr unterschiedlich. Das Marktsegment Erneuerbare Energien nimmt in diesem Leitmarkt eine hervorgehobene Position ein, ist jedoch in Baden-Württemberg nur durchschnittlich ausgeprägt. In den Marktsegmenten Elektrifizierung in der Industrie und Speichertechnologien hat Baden-Württemberg demgegenüber bundesweit eine hervorgehobene Stellung. Das Wachstum ist hier jedoch mäßig, bei den Speichertechnologien liegt sogar ein negatives Wachstum vor. Demgegenüber weist das Marktsegment Intelligente Energiesysteme und Netze mit 5,0 % p.a. bei

KENNZAHLEN ZUM LEITMARKT IN BADEN-WÜRTTEMBERG

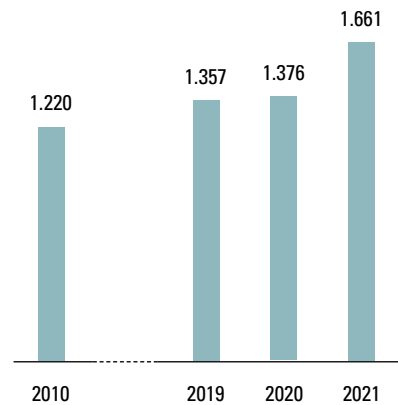
 **5.700 UNTERNEHMEN 2020**



Entwicklung



Exporte in Mio. Euro



Prognos 2022, auf Basis von Daten der Bundesagentur für Arbeit, des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts
 * Spezialisierung Baden-Württembergs auf Basis des Lokalisationsquotienten. Dieser zeigt, welche Marktsegmente in Baden-Württemberg im Vergleich zum Bundesdurchschnitt überproportional ausgeprägt sind. 1 Punkt = unterdurchschnittlich; 2 Punkte= durchschnittlich; 3 Punkte = hoch; 4 = sehr hoch

den Erwerbstätigen das stärkste Wachstum aller Marktsegmente der GreenTech-Branche auf.

Politische Rahmenbedingungen sowie Technologie- und Markttrends

Der Leitmarkt nimmt eine wichtige Rolle in vielen politischen Programmen auf EU-, Bundes- und Landesebene ein. Im Green Deal formuliert die EU Kommission das Ziel eines vollständig integrierten, digitalisierten und vernetzten europäischen Ener-

giemarkts und verdeutlicht damit die Bedeutung des Trends „Digitale Ökosysteme“. Zudem brauche die EU industrielle Vorreiter in den Bereichen Klima und Ressourcen. Schwerpunktbereiche seien u.a. sauberer Wasserstoff, Brennstoffzellen, alternative Kraftstoffe und Energiespeicherung. Dazu soll z.B. auch der strategische Aktionsplan Batterien weiter umgesetzt werden. Damit wird auch die Relevanz der hier identifizierten Trends „Power-2-X“, „Hochtemperaturspeicher“ und insbesondere „Elektrochemische Speichersysteme“ unterstrichen. Die Bedeutung von Wasserstoff und Power-2-X Technologien wird

auch in der Wasserstoffstrategie der EU betont, die das Ziel unterstreicht, bis 2050 den Anteil von Wasserstoff am Energiemix auf 13-14 % zu steigern. Dazu sollen bis 2030 in der EU Elektrolyseure mit einer Gesamtleistung von 40 GW installiert werden. Ab 2025 soll Wasserstoff ein wesentlicher Bestandteil des europäischen Energiesystems sein. In der Strategie zur Integration des europäischen Energiesystems wird Wasserstoff dabei insbesondere für schwierig zu dekarbonisierende Sektoren gefördert.

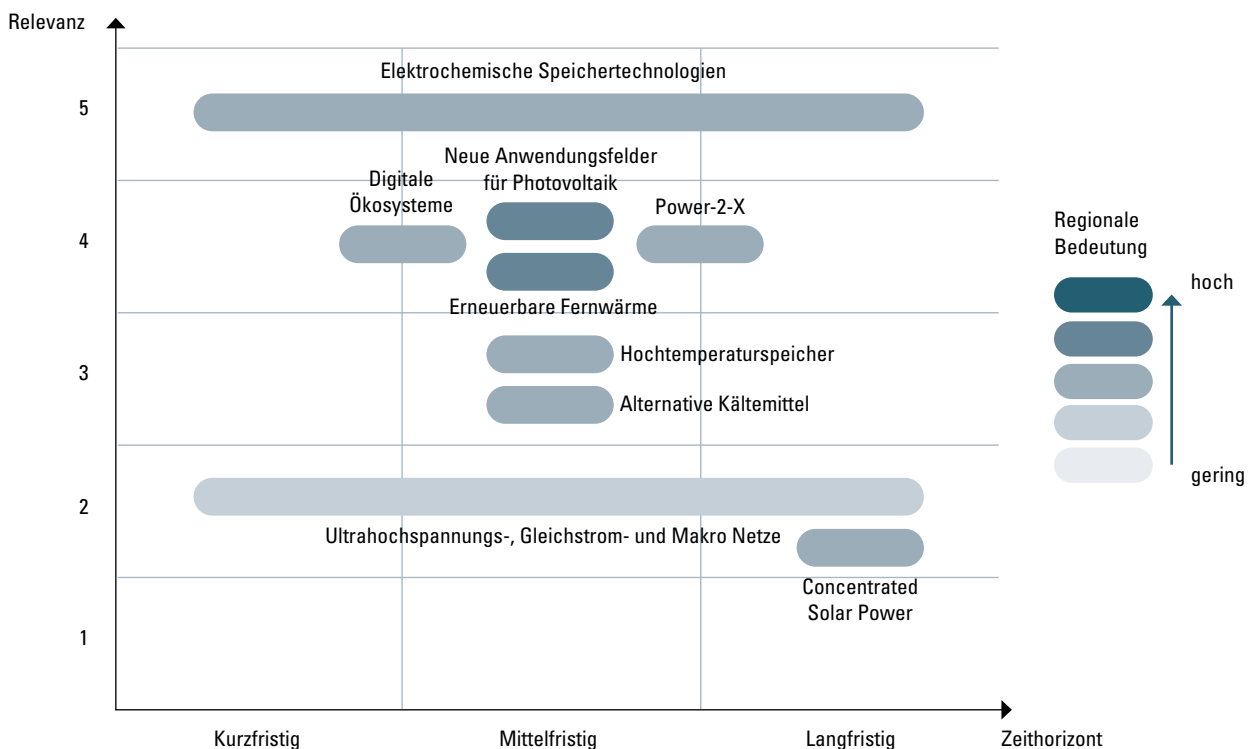
Die Bundesregierung schließt sich mit ihrer Wasserstoffstrategie den europäischen Zielen an. Zu nennen ist u.a. das 8. Energieforschungsprogramm, wodurch ein schneller Hochlauf der grünen Wasserstoffwirtschaft und die langfristige Markt- und Technologieführerschaft ermöglicht werden sollen. In Deutschland soll bis 2030 eine Wasserstofferzeugungskapazität von 5 GW installiert werden, um zum gesamteuropäischen Ziel von 40 GW beizutragen. Darüber hinaus hat die Bundesregierung in ihrem Integrierten Energie- und Klimaplan das Ziel der Stärkung der deutschen Batteriezellenproduktion anvisiert. Die Energieeffizienzstrategie 2050 liefert weitere Zielstellungen, die auch für den Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung von Energie relevant sind. Gegenüber 2008 soll der Primärenergieverbrauch in Deutschland bis 2030 um 30 % reduziert werden, ohne das Wirtschaftswachstum negativ zu beeinträchtigen. Dazu wird die vermehrte Ver-

wendung von aus erneuerbaren Energien erzeugte Fernwärme als wichtiger Baustein gesehen.

Auf Landesebene wird in der baden-württembergischen Innovationsstrategie die Energiewende als Zukunftsfeld definiert. Energie- und Speichertechnologien identifiziert die Strategie als wichtige zukünftige FuE-Felder, wobei der flexiblen Umwandlung und Speicherung von elektrischer Energie in Wasserstoff sowie der Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie besondere Bedeutung zukommt. Dadurch werden auch hier die Trends „Power-2-X“, „Hochtemperaturspeicher“ und „Elektrochemische Speichersysteme“ betont. Mit der Wasserstoffroadmap baut die Landesregierung zudem auf den europäischen und bundesdeutschen Wasserstoffstrategien auf. Ziel ist es, den Auf- und Ausbau einer Wasserstoffwirtschaft zu begleiten, um Baden-Württemberg zu einem national und international führenden Standort der Wasserstoff- und Brennstoffzellenindustrie zu machen.

Aus den politischen Treibern sowie der weiteren Trendrecherche und -bewertung ergibt sich, dass die Trends Weiterentwicklung elektrochemischer Speichertechnologien, insb. Feststoffbatterien, neue Anwendungsfelder für Photovoltaik, insb. innovative Dünnschicht-PV sowie Power-2-X im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung von besonderer Relevanz sind (vgl. Abbildung 15).

Abbildung 31: Trends im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung



Ausgewählte Trends im Detail

WEITERENTWICKLUNG ELEKTROCHEMISCHER SPEICHERTECHNOLOGIEN, INSB. FESTSTOFFBATTERIEN

Die dynamische Entwicklung der Elektromobilität und Ansprüche der Energiewende, mit der intermittierenden Produktion erneuerbarer Energien, bewirken ein starkes Wachstum des Marktes für Speichertechnologien. Feststoffbatterien gelten als nächste Generation der Akkumulatoren, da sie bei reduziertem Materialeinsatz kürzere Ladezeiten, eine höhere Energiedichte und längere Lebenszyklen ermög-

lichen. Derzeit stehen der breiten Marktdurchdringung dieser Technologie noch einige Hürden im Weg, die zu hohen Kosten führen. Die Weiterentwicklung der Speichertechnologie ist jedoch mit großem Potenzial verbunden, da sich eine Vielzahl neuer Anwendungsfelder erschließen lassen und der Strombedarf durch zusätzliche Verbraucher weiter steigen wird.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○

RELEVANZ ●●●●●

ZEITHORIZONT Kurz- bis Langfristig

NEUE ANWENDUNGSFELDER FÜR PHOTOVOLTAIK, INSB. INNOVATIVE DÜNNSCHICHT-PV

Der Ausbau der Stromproduktion durch Photovoltaik ist für das Erreichen der Energiewende unerlässlich. Da herkömmliche Photovoltaikproduktion sehr flächenaufwendig ist, bedarf es der vermehrten Durchsetzung neuer Anwendungsfelder. Dazu gehören Floating Photovoltaik (FPV), Bauwerkintegrierte Photovoltaik (BIPV), Urbane Photovoltaik (UPV), Fahrzeugintegrierte Photovoltaik (VIPV) oder Photovoltaik in Verkehrswegen (RIPV), die eine Sekundärnutzung bereits

erschlossener Flächen zur Stromproduktion ermöglichen. Die Entwicklung der Dünnschicht-Photovoltaik Technologie, aber auch organischer Elektronik sind maßgebliche Enabler dieser Anwendungen. Neue regulatorische Anforderungen, wie die häufig diskutierte Solardachpflicht, unterstreichen die steigende Relevanz und das damit wachsende Marktpotenzial neuer Photovoltaikanwendungen.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○

RELEVANZ ●●●●○

ZEITHORIZONT Mittelfristig

POWER-2-X

Power-2-X Technologien ermöglichen die Speicherung überschüssigen Stroms durch Umwandlung in andere Energieträger, wie z.B. Wasserstoff. Power-2-X bietet daher großes Potenzial für Anwendungen, in denen Strom nicht direkt genutzt werden kann. So kann bspw. synthetischer Kraftstoff hergestellt werden, der schon heute CO₂-neutrales Fliegen ermöglicht. Darüber hinaus spielt Wasserstoff eine wichtige Rolle in der Dekarbonisierung der Stahl-, Zement- und Che-

mieindustrie. Der Trend bedeutet daher ein großes Potenzial für die Entwicklung von Technologien entlang der gesamten Wasserstoffwertschöpfungskette. Neben Brennstoffzellen gehört dazu z.B. auch die Versorgungsinfrastruktur oder Speichermöglichkeiten. Der Power-2-X Markt wird außerdem stark international und durch Importe geprägt sein, da Produktionskapazitäten v.a. in Ländern mit einem hohen Überschuss an erneuerbarer Energie aufgebaut werden.

REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○

RELEVANZ ●●●●○

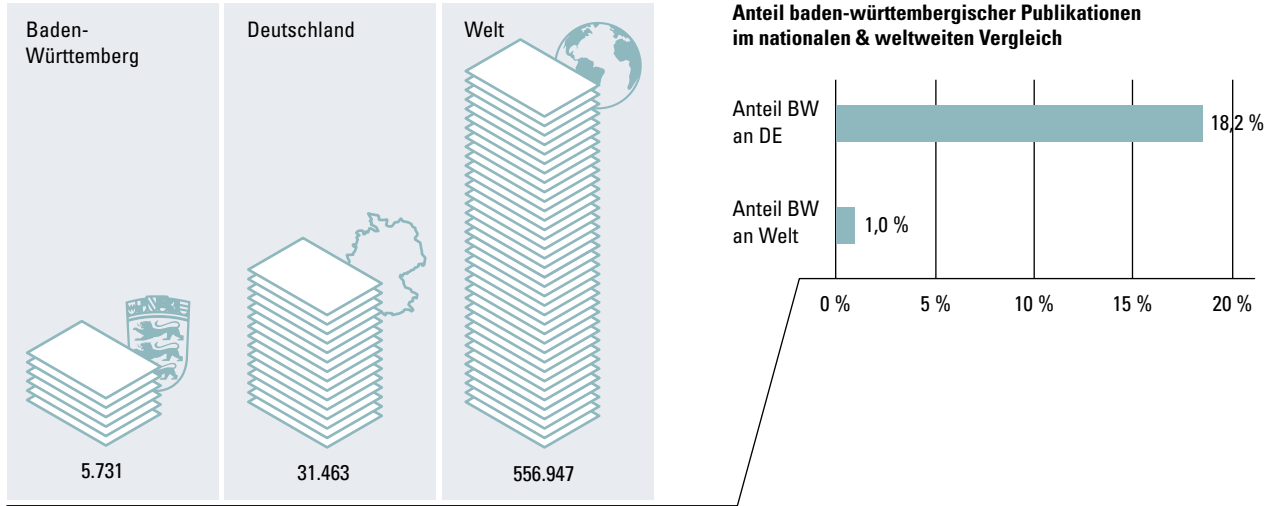
ZEITHORIZONT Mittel- bis Langfristig

Weitere Trends im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung

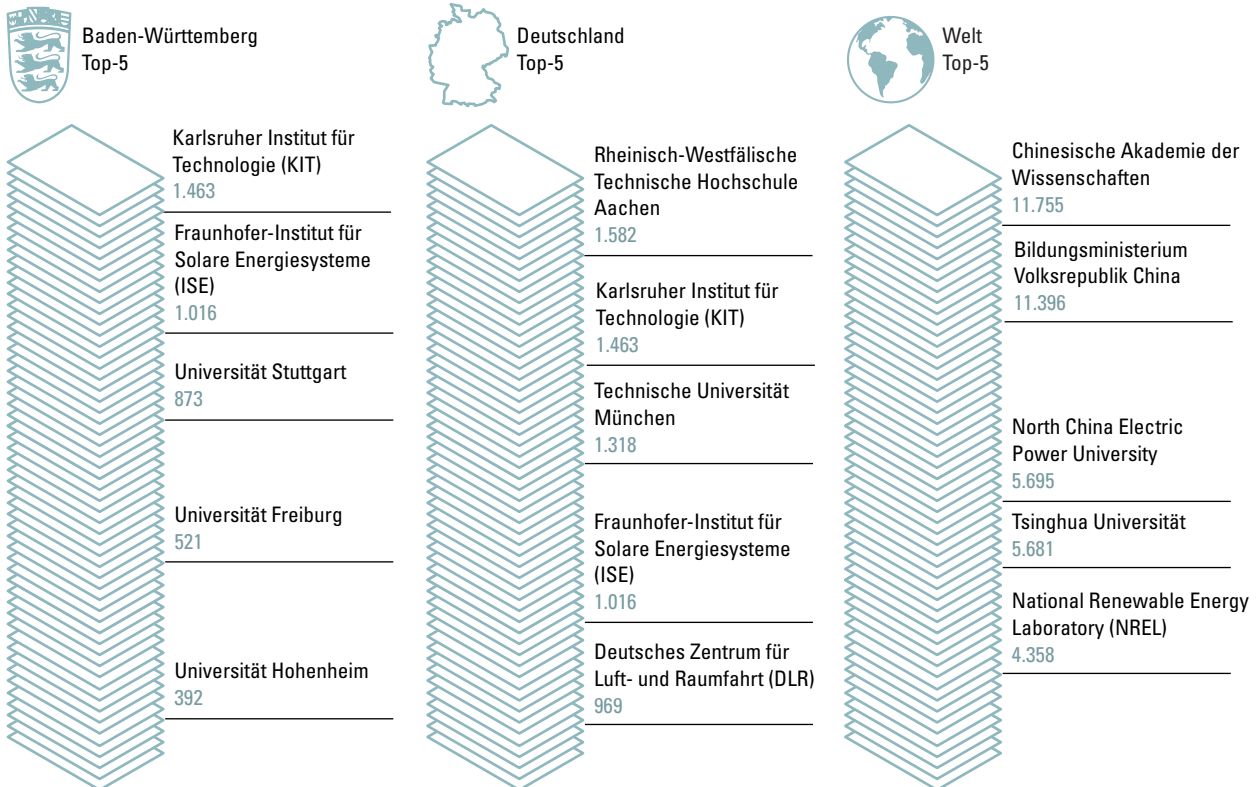
Trend	Beschreibung	Bewertung
ZUNEHMENDE BEDEUTUNG VON FERNWÄRME (INSB. AUS ERNEUERBAREN ENERGIEN)	Fernwärme stellt schon jetzt eine klimaschonende Alternative zu einer dezentralen fossilen Wärmeversorgung dar. Hohe Infrastrukturinvestitionen und geringe Investitionsanreize für Hauseigentümer stehen einer breiten Durchdringung bislang im Weg. Anhaltend hohe Gaspreise und ein verändertes politisches Umfeld sorgen aber für ein steigendes Marktpotenzial, gerade in Verbindung mit einem erhöhten Anteil an erneuerbaren Energien.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●●○ RELEVANZ ●●●●○ ZEITHORIZONT Mittelfristig
ENTSTEHUNG DIGITALER ÖKOSYSTEME: SMART & SECURE GRIDS	Smart Grids sind ein wichtiger Enabler für die Energiewende. Hier gilt es, größtmögliche Flexibilität und Sicherheit in Einklang zu bringen. Die zukünftig stark dezentralisierte Stromproduktion birgt weitere Herausforderungen aber auch Potenzial für neue Geschäftsmodelle.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○ RELEVANZ ●●●●○ ZEITHORIZONT Kurz- bis Mittelfristig
HOCHTEMPERATURSPEICHER	Sog. Carnot-Batterien ermöglichen die Speicherung von Strom durch Erhitzung eines Speichermediums mit Hilfe einer Wärmepumpe. Bei Bedarf wird die Wärme dann in Strom zurückgewandelt. Erste Demonstrationsprojekte existieren bereits. Um wirtschaftliche Attraktivität zu erreichen, muss der Wirkungsgrad der Batterien durch weitere Optimierung verbessert werden.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Mittelfristig
ALTERNATIVE, KOHLENSTOFFARME KÄLTEMITTEL FÜR WÄRMEPUMPEN	Wärmepumpen sind ein zentraler Baustein für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung. Bislang werden v.a. fluorierte Kältemittel eingesetzt. Propan als natürliches Kältemittel kann hier eine Alternative darstellen.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Mittelfristig
ULTRAHOCHSPANNUNGS- GLEICHSTROM UND MAKRO-NETZE	Ultrahochspannungsnetze ermöglichen den wichtigen Transport erneuerbarer Energie aus Produktionsgebieten in nachfragende Regionen über weite Strecken. Sie gewinnen daher zunehmend an Relevanz. Ihrer Umsetzung stehen jedoch häufig gesellschaftliche und politische Widerstände im Weg. Globale Stromnetze erfüllen zudem nicht die notwendigen Resilienzanforderungen, da sie stark manipulationsanfällig sind.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●○○○ RELEVANZ ●●●○○ ZEITHORIZONT Kurz- bis Langfristig
CONCENTRATED SOLAR POWER (CSP) ZUR ERZEUGUNG INDUSTRIELLER PROZESSWÄRME	Dieser Trend ist v.a. in Regionen mit hoher solarer Direktstrahlung relevant. Hier kann die Energie genutzt werden, um Trägermedien zu erhitzen und diese in industriellen Anwendungen zu nutzen.	REGIONALE BEDEUTUNG ●●●○○ RELEVANZ ●●○○○ ZEITHORIZONT Langfristig

FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG

Anzahl Publikationen im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung 2010-2021

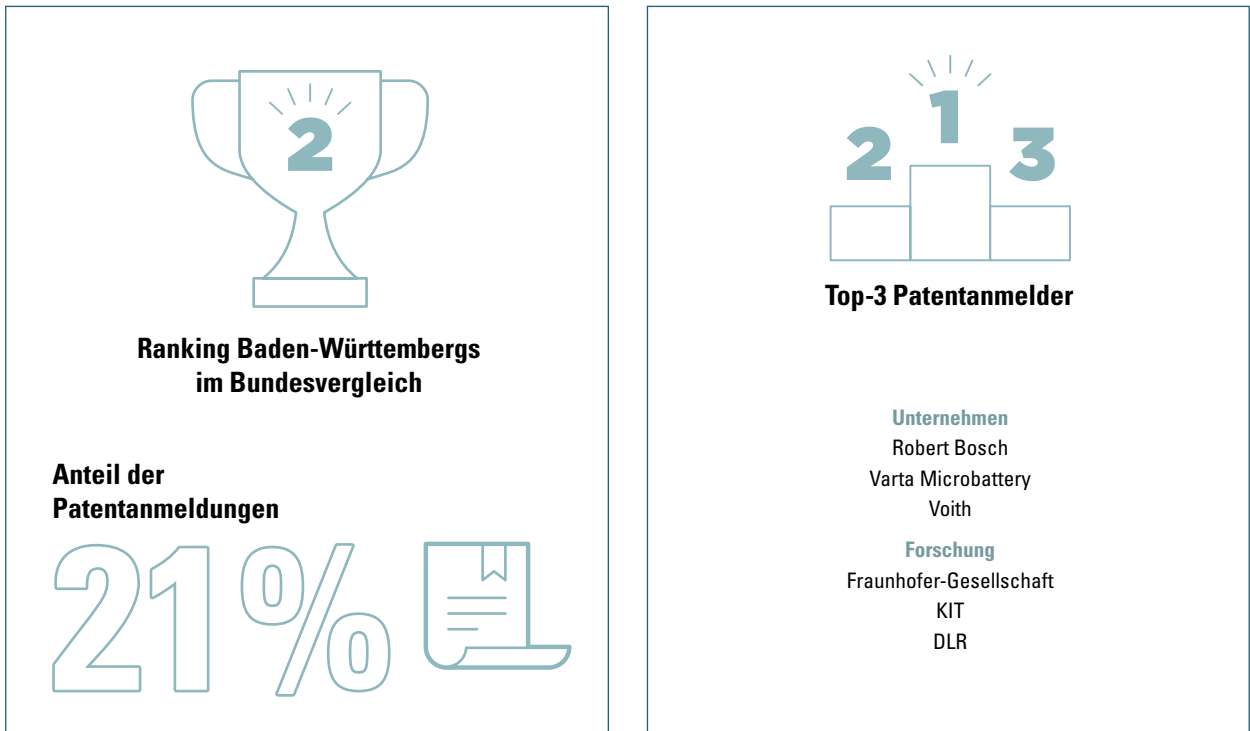


Führende Forschungsinstitutionen



Prognos 2022, basierend auf Daten von Scopus

PATENTE IM LEITMARKT UMWELTFREUNDLICHE ENERGIEERZEUGUNG UND –SPEICHERUNG 2010 – 2019



FORSCHUNGS- UND INNOVATIONSTHEMEN

Abbildung 32: Top-Forschungsthemen im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PUBLIKATIONSANALYSE 2010–2021



Abbildung 33: Top-Innovationshemen im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung in Baden-Württemberg

AUF BASIS DER PATENTANALYSE 2010–2019



Prognos 2022, basierend auf PATSTAT

Baden-Württemberg spielt im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und -speicherung eine bedeutende Rolle. Der prozentuale Anteil von Baden-Württemberg an deutschen Forschungspublikationen ist in diesem Leitmarkt mit 18,2 % am größten von allen Leitmärkten. Folglich ist das KIT hinter der RWTH Aachen auf dem zweiten Platz im nationalen Vergleich. Auch das in Freiburg ansässige Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE) und die Universität Stuttgart besitzen eine große nationale Bedeutung mit den Plätzen vier und neun im nationalen Vergleich. Zum übergeordneten Thema Erneuerbare Energien wird dabei deutlich mehr publiziert als zum Thema Energiespeicherung. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme publiziert dabei thematisch passend mit Abstand am meisten in Deutschland zum Thema Solar. Die Gottfried Wilhelm-Leibniz-Universität in Hannover publiziert hingegen am meisten zum Thema Windenergie und die in Stuttgart ansässige Universität Hohenheim am meisten zum Thema Bioenergie. Das zeigt, dass sich einzelne Institutionen in Deutschland in der Forschung teils sehr stark auf die Erforschung eines Teilbereichs der Erneuerbaren Energien speziali-

sieren. Das KIT aus Karlsruhe publiziert nach dem Deutschen Zentrum für Luft- & Raumfahrt am meisten zu dem zentralen Thema Energiespeicherung. Auf internationaler Ebene ist China klar am aktivsten und stellt alle drei Topinstitutionen. Auffällig ist, dass Deutschland beim Thema grüner Wasserstoff sehr aktiv ist und dort nach China weltweit am meisten publiziert. Baden-Württemberg ist dabei für circa 30 % der deutschen Publikationen verantwortlich und das KIT publiziert dazu nach der RWTH Aachen am meisten. Darüber hinaus spielt das Thema Energiemanagement (u.a. Demand-Response, Smart Grid) in vielen baden-württembergischen Publikationen eine Rolle.

Bei den Patentanmeldungen liegt Baden-Württemberg in diesem Leitmarkt auf Rang 2, knapp hinter Bayern. Insbesondere in den Themenfeldern Batteriespeicher, PV und Energiesysteme verfügen Unternehmens- und Forschungsakteure aus Baden-Württemberg über bundesweit herausragende Innovationskompetenzen.





5 FAZIT

Baden-Württemberg ist weltweit bekannt für seine hochwertigen Industrieprodukte, verfügt über einen innovativen Dienstleistungssektor sowie eine umfangreiche, breitgefächerte Forschungslandschaft. Diese Vorzüge kommen auch bei der GreenTech-Branche zum Ausdruck. Im deutschlandweiten Vergleich schafft es Baden-Württemberg auf einen Spitzenplatz. Die GreenTech-Branche hat mit rund 212.000 Erwerbstätigen (2021) einen sehr hohen ökonomischen Stellenwert im Land, vergleichbar mit anderen Schlüsselbranchen wie dem Fahrzeugbau oder der Elektroindustrie. Im Jahr 2020 erwirtschafteten knapp 20.000 Unternehmen eine Bruttowertschöpfung von rund 20,4 Mrd. Euro. Zugleich ist die GreenTech-Branche ein Wachstumsmotor der baden-württembergischen Wirtschaft. Sie hat sich in den vergangenen Jahren sowohl mit Blick auf die Beschäftigung (+2,1 % p.a.) als auch auf die Wirtschaftsleistung (+4,8 % p.a.) dynamischer entwickelt als die Gesamtwirtschaft. Insbesondere während der Corona-Pandemie zeigte die Branche dabei ihre Krisenfestigkeit. Zwar musste auch sie Einbrüche hinnehmen, diese fielen aber deutlich moderater als bei der Gesamtwirtschaft aus. Entscheidend dafür waren insbesondere strukturelle Gründe: die GreenTech-Branche bietet Lösungen für Herausforderungen wie bspw. die Energiekrise, den Klimaschutz oder der Verbesserung der Luftqualität. Die Lösungsbedarfe in diesen und anderen Feldern dürften zukünftig zudem weiter an Bedeutung gewinnen. Neben dem

heimischen Markt wächst insbesondere die internationale Nachfrage. Baden-Württemberg vermag es, die Chancen des wachsenden Weltmarkts zu nutzen: zwischen 2010 und 2021 stiegen die Exporte um über 43 %.

Ein Schlüsselaspekt für die GreenTech-Branche ist der Bereich Forschung und Entwicklung. Baden-Württemberg zählt zu den hochschulreichsten und forschungsintensivsten Regionen in Europa. Dies zeigt sich auch beim Blick auf die Patentintensität der GreenTech-Branche. Im Jahr 2019 kam jedes fünfte GreenTech-Patent in Deutschland aus Baden-Württemberg. Nach Bayern nimmt das Bundesland den zweiten Rang in Deutschland ein. Die Forschung in Baden-Württemberg wie auch innovative Start-ups adressieren dabei zentrale Trends der GreenTech-Branche.

Die Studie identifiziert knapp 50 GreenTech-Trends und ordnet diese ein. Darunter sind viele Themen, denen sich eine hohe bis sehr hohe Relevanz zuordnen lässt und in Baden-Württemberg mit ausgeprägten Kompetenzen hinterlegt sind. Dazu zählen die für den Industriestandort Baden-Württemberg zentralen Themen Industrie 4.0, Remanufacturing und Organische Elektronik. Im Bereich Erneuerbarer Energien ist das Land insbesondere bei relevanten Trends wie neuen Anwendungsfeldern für Photovoltaik (v.a. Dünnschicht-PV) und Erneuerbarer Fernwärme gut aufgestellt. Weitere ausgeprägte Kompetenzen bestehen beim Trendthema Re- und Upcycling

von Baustoffen. Darüber hinaus ist Baden-Württemberg auf dem hochrelevanten Zukunftsfeld des Carbon Managements sehr aktiv. Das Land fördert insbesondere die weitere Erforschung und Erprobung von Carbon Capture and Use (CCU) sowie Direct Air Capture Technologien (DAC).

Mit Blick auf die einzelnen Leitmärkte sind folgende Ergebnisse hervorzuheben:

- > Der Leitmarkt Energieeffizienz ist mit über 74.000 Erwerbstätigen (2021) und knapp 6,9 Mrd. Euro Bruttowertschöpfung (2020) der mit Abstand größte der GreenTech-Branche in Baden-Württemberg. Zudem zeichnet er sich durch ein starkes Wachstum aus. Das Marktsegment Energieeffiziente Gebäude ist prägend. Es weist die höchste Beschäftigung und Bruttowertschöpfung auf. Im Ländervergleich werden darüber hinaus die besonderen Kompetenzen Baden-Württembergs im Segment der Energieeffizienz in der Industrie deutlich. Weitere Potenziale für Energieeffizienz entstehen insbesondere im Kontext der Digitalisierung. Gerade der Forschungs- und Wissenschaftsbereich in Baden-Württemberg bearbeitet diesen Themenkomplex aktiv.
- > Der Leitmarkt Wasserwirtschaft ist mit rund 44.000 Erwerbstätigen (2021) der zweitgrößte der GreenTech-Branche Baden-Württembergs. Die Bruttowertschöpfung liegt bei rund 3,8 Mrd. Euro (2020). Das Wachstum seit 2010 bewegt sich mit 5,0 % p.a. bei der Bruttowertschöpfung und 2,2 % p.a. bei den Erwerbstätigen auf einem leicht überdurchschnittlichen Niveau. Als klassischer Bereich der Umwelttechnik sieht sich die Wasserwirtschaft mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Allen voran der Klimawandel bringt neue Anforderungen mit sich. Einerseits ist Energieeffizienz ein zentrales Thema in der Wasserwirtschaft. Unternehmen und Forschung aus Baden-Württemberg arbeiten hier an zukunftsfähigen Lösungen. Andererseits stellen zunehmende Trockenheitsperioden und Dürren erhöhte Anforderungen an das Wassermanagement; häufigere Starkniederschlagsereignisse an die Kapazitäten von Abwasserinfrastrukturen. Neben dem Klimawandel muss die Wasserwirtschaft steigenden Anforderungen an den Umwelt- und Gesundheitsschutz gerecht werden. Die Forschungs- und Innovationslandschaft zur Wasserwirtschaft in Baden-Württemberg adressiert diese Themen aktiv, ist jedoch insgesamt unterdurchschnittlich ausgeprägt.
- > Die Leitmärkte Kreislauf- und Abfallwirtschaft (27.500 Erwerbstätige 2021; 3,0 Mrd. Euro Bruttowertschöpfung 2020) sowie Ressourcen- und Materialeffizienz (23.600 Erwerbstätige 2021; 1,8 Mrd. Euro Bruttowertschöpfung 2020) weisen im Vergleich zu anderen Leitmärkten der GreenTech-Branche eine geringere Wirtschaftsleistung auf. Mit Blick auf zentrale Zukunftsthemen verfügt Baden-Württemberg aber über spezifische Kompetenzen. Die Circular Economy bildet in diesem Kontext das prägende Leitmotiv. Es stellt neben dem Klimaschutz die zweite zentrale

Themensäule des EU Green Deal dar und bietet zahlreiche Potenziale für hiesige Unternehmen. Baden-Württemberg ist vor dem Hintergrund seiner Industriekompetenzen, u.a. im Anlagenbau und der Mikrosystemtechnik, in einer starken Ausgangsposition. Das Land verfügt über global herausragende Innovationsbeispiele wie im Feld des Remanufacturing oder der digitalen und vernetzten industriellen Produktion (Industrie 4.0). Baden-Württemberg hat das Potenzial, hier zum globalen Vorbild zu avancieren.

- > Auf den Leitmarkt Luftreinhaltung entfallen zwar im Vergleich zu anderen Leitmärkten auf Grund seines spezifischen Zuschnitts eine kleinere Zahl an Erwerbstätigen (6.400 in 2021) und Bruttowertschöpfung (523 Mio. Euro in 2020). Dies sollte jedoch nicht über die herausragende Profilierung Baden-Württembergs in diesem Leitmarkt hinwegtäuschen. Das Land ist in der Luftreinhaltung Markt- und Innovationsführer in Deutschland und verfügt darüber hinaus über herausragende Wachstumsraten, insbesondere im größten Marktsegment Filtertechnik und Abluftreinigungsanlagen. Mit Blick auf die hohe Relevanz einiger Zukunftstrends wird der Leitmarkt zunehmend weiter an Bedeutung gewinnen und eine tragende Säule beim Klimaschutz spielen. Mit Ansätzen für das sogenannte Carbon Management, also Verfahren und Technologien zur technischen Emissionsreduktion und Nutzung von CO₂ werden unverzichtbare Ansätze zur Erreichung von Klimaneutralität entwickelt. Baden-Württemberg tut sich hier insbesondere auf den Gebieten Carbon Capture and Use (CCU) und Direktabscheidung (DAC) hervor.
- > Baden-Württemberg hat sich zum Ziel gesetzt, Klimaschutzland Nummer 1 werden. Der Ausbau der Kompetenzen im Leitmarkt Umweltfreundliche Energieerzeugung und Speicherung nimmt daher einen zentralen Stellenwert ein. Derzeit verfügt das Land in diesem Leitmarkt über 36.000 Erwerbstätige (2021) und 4,3 Mrd. Euro Bruttowertschöpfung (2020), mit ausgeprägten Unternehmenskompetenzen in den Marktsegmenten Speichertechnologien und Elektrifizierung in der Industrie. Baden-Württemberg ist in diesem Leitmarkt insbesondere stark in Forschung und Innovation. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf dem Zukunftsthema grüner Wasserstoff sowie im Technologiebereich Photovoltaik. In den letzten Jahren zeichnet sich ein mögliches Comeback der Solarbranche in Deutschland ab, wovon auch Zuliefererunternehmen in Baden-Württemberg profitieren.

Mit den vorhandenen Kompetenzen verfügt das Land Baden-Württemberg über ein spezifisches Profil und hat sich im Wettbewerb der GreenTech-Branche hervorragend positioniert. Zudem ist das Land gut aufgestellt, um die Entwicklung dieser Zukunftsbranche weiter voranzutreiben und auf diesem Weg wirtschaftlichen Erfolg mit Lösungsansätzen für drängende ökologische Herausforderungen zu verknüpfen.

QUELLENVERZEICHNIS

A

Arbeitsgemeinschaft Trinkwassertalsperren e. V. (ATT) et al. (2020): Branchenbild der Deutschen Wasserwirtschaft 2020
(Online unter: https://www.bdew.de/media/documents/WEB_brachenbild_dt_wasserwirtschaft_2020_DIN_A4_24062020_NEU.pdf).

ArcelorMittal (2022): Auf dem Weg zum grünen Stahl (Online unter: <https://bremen.arcelormittal.com/Nachhaltigkeit/Auf-dem-Weg-zum-gruenen-Stahl/>).

Armah, E. et al. (2020): Emerging Trends in Wastewater Treatment Technologies: The Current Perspective
(Online unter: <https://www.intechopen.com/chapters/73429>).

B

Baumgarten, C. et al. (2020): Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft: Bestandsaufnahme, Handlungsoptionen und strategische Handlungsfelder (Online unter: https://www.lawa.de/documents/lawa-klimawandel-bericht_2020_1618816705.pdf).

BI Medien (2022): hermWin-System in Toronto - Weltweit größtes Projekt zur Energierückgewinnung aus Abwasser (Online unter: <https://bi-medien.de/fachzeitschriften/umweltbau/abwassertechnik/thermwin-system-in-toronto-weltweit-groesstes-projekt-zur-energieueckgewinnung-aus-abwasser-u14453>).

BMBF (2019): Stromerzeugung mit Mikroben (Online unter: <https://biooekonomie.de/foerderung/foerderbeispiele/stromerzeugung-mit-mikroben>).

BMWK (2022): Projekt H2Stahl Hochofen nutzt Wasserstoff in der industriellen Praxis
(Online unter: <https://www.energiesystem-forschung.de/forschen/projekte/reallabor-der-energieuende-h2-stahl>).

C

Cleantech Group Europe Ltd (2022): GLOBALCLEANTECH100, From Commitments to Actions: Leading companies and trends in sustainable innovation
(Online unter: <https://www.cleantech.com/the-global-cleantech-100/>).

Cleanthinking (2022): Climeworks legt Grundstein für Direct Air Capture and Storage Anlage Mammoth
(Online unter: <https://www.cleanthinking.de/climeworks-direct-air-capture-grundstein-mammoth-island/>).

D

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2021): Klimaneutralität 2045 – Neue Technologien für Deutschland
(Online unter: https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/TfNZ_Klimaneutralitaet_2045_-_Neue_Technologien_fuer_Deutschland.pdf).

Diener, D. L., & Tillmann, A.-M. (2015). Component end-of-life management: Exploring opportunities and related benefits of remanufacturing and functional recycling (Online unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344915300252>).

DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V. (2018): DVGW-Forschungroadmap Wasser 2025
(Online unter: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/forschungroadmap-wasser-2025-dvgw-zusammenfassung.pdf>).

E

EY (2022): Grün und digital: Wie sich die Energiebeschaffung bis 2025 verändern wird
(Online unter: https://www.ey.com/de_de/decarbonization/trends-in-der-energieuirtschaft-bis-2025).

F

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2019): Marktübersicht Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen
(Online unter: https://www.fnr.de/fileadmin/allgemein/pdf/broschueren/Brosch_Daemmstoffe_2020_web.pdf).

Fraunhofer IAO, INEC (2017): Roadmap Umwelttechnik Baden-Württemberg.

Fraunhofer IFAM (2022): Beständig und Bio: Neue biobasierte und biologisch abbaubare Werkstoffe für die Automobilindustrie
(Online unter: <https://www.re-form-material.ifam.fraunhofer.de/de/Projekte/best-bio-pla.html>).

Fraunhofer IGB (2021): CO₂ als Rohstoff für Kunststoffe und Co
(Online unter: <https://www.igb.fraunhofer.de/de/presse-medien/presseinformationen/2021/co2-als-rohstoff-fuer-kunststoffe-und-co.html>).

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (2022): Ultraeffizienzfabrik
(Online unter: <https://www.ultraeffizienzfabrik.de/ultraeffizienz/was-ist-das>).

Fraunhofer ISE (2022): LC150 – Entwicklung eines kältemittelreduzierten Wärmepumpenmoduls mit Propan
(<https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/lc-150.html>).

Fraunhofer ISE (2022): Agri-Photovoltaik

(Online unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/photovoltaik/photovoltaische-module-und-kraftwerke/integrierte-pv/agri-photovoltaik.html>).

Fraunhofer ISE (2022): Integrierte Photovoltaik

(Online unter: <https://www.ise.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder/photovoltaik/photovoltaische-module-und-kraftwerke/integrierte-pv.html?cp=2&ipp=10>).

Fraunhofer ISI (2022): Solid-State Battery Roadmap 2035+

(Online unter: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2022/SSB_Roadmap.pdf).

Fraunhofer-Institut für Verfahrenstechnik und Verpackung IVV (2022): Biopolymere in Papier- und Folienanwendungen

(Online unter: <https://www.ivv.fraunhofer.de/de/verpackung/biopolymere.html>).

Fraunhofer IWKS (2019): Projekt IRVE (Online unter: <https://www.iwks.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/pressemeldungen-2019/start-projekt-irve.html>).

Fraunhofer IWKS (2021): Projekt ReSi-Norm – Standardisierung für Recycling von PV-Modulen

(Online unter: <https://www.iwks.fraunhofer.de/de/presse-und-medien/pressemeldungen-2021/projekt-resinorm.html>).

Future Today Institute (2022): Tech Trends Report Vol. 13

(Online unter: https://futuretodayinstitute.com/mu_uploads/2022/03/FTI_Tech_Trends_2022_Book13.pdf).

H

Hofmann, A. et al. (2021): Recyclingtechnologien für Kunststoffe – Positionspapier, Fraunhofer Cluster of Excellence Circular Plastics Economy CCPE (Online unter: https://www.umsicht-suro.fraunhofer.de/content/dam/umsicht-suro/de/documents/pressemitteilungen/2021/positionspapier-kunststoffe/Fraunhofer_CCPE_Positionspapier_Recyclingtechnologien.pdf).

Huber SE (2022): Weltweit größtes Projekt zur Energierückgewinnung aus Abwasser (Online unter: <https://www.huber.de/de/huber-report/praxisberichte/energie-aus-abwasser/weltweit-groesstes-projekt-zur-energie-rueckgewinnung-aus-abwasser-noventa-energy-partners-setzt-auf-huber-thermwin.html>).

Hüsing et al. (2021): Übersicht über Technologien zur bioinspirierten CO₂-Fixierung und -Nutzung sowie der Akteure in Baden-Württemberg (Online unter: <https://publica-rest.fraunhofer.de/server/api/core/bitstreams/3bd6d18d-c910-4f02-a0d8-505a4a269a85/content>).

I

industr.com (2022): Carnot-Batterie als Energiespeicher der Zukunft

(Online unter: <https://www.industr.com/de/carnot-batterie-energiespeicher-zukunft-2648794>).

K

Karlsruher Institut für Technologie (2021): Forschung für sichere Feststoffbatterien

(Online unter: https://www.kit.edu/kit/pi_2021_085_forschung-fur-sichere-feststoffbatterien.php).

Kompetenznetzwerk Umwelttechnik NRW (2022): Innovationsradar zur Ressourcenwende (Online unter: https://www.knuw.nrw/fileadmin/public/Redaktion/Dokumente/Publikationen/Innovationsradare/2021/Innovationsradar_Ressourcenwende_bf.pdf).

Kovacic, I. et al. (2019): Prozess-Design für den „Building Information Modeling“ (BIM) basierten, materiellen Gebäudepass

(Online unter: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2019-8-bimaterial.pdf).

M

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (2015): Leitfaden Energieeffizienz auf Kläranlagen

(Online unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/2_Presse_und_Service/Publikationen/Energie/151010_Leitfaden_Energieeffizienz_auf_Klaeranlagen.pdf).

Müller, F. et al. (2017): Urban Mining – Ressourcenschonung im Anthropozän

(Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/uba_broschuere_urbanmining_rz_screen_0.pdf).

Mun, J., Ochiai, Y., Wang, W. et al. (2021): A design strategy for high mobility stretchable polymer semiconductors. Nat Commun 12, 3572 (2021).

(Online unter: <https://doi.org/10.1038>).

R

Roland Berger (2021): GreenTech made in Germany 2021, Umwelttechnik-Atlas für Deutschland (Online unter: https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_greentech_atlas_2.pdf).

S

Sattayawat, P. et al. (2019): Bioderivatization as a concept for renewable production of chemicals that are toxic or poorly soluble in the liquid phase (Online unter: <https://www.pnas.org/doi/epdf/10.1073/pnas.1914069117>).

Sokhi, R. et al. (2022): Advances in air quality research – current and emerging challenges (Online unter: <https://acp.copernicus.org/articles/22/4615/2022/>).

T

Takors et al. (2021): Machbarkeitsstudie im Themenfeld Carbon Economy: Modulare Abgas-Raffinerie mit biologischen und hybriden Technologien mit Schwerpunkt auf CO₂-Recycling aus CO₂-Punktquellen (Online unter: https://www.umwelttechnik-bw.de/sites/default/files/2022-06/210613_Machbarkeitsstudie_Abgasraffinerie_barrierefrei.pdf).

Technologie-Initiative SmartFactory KL e.V. (2022): Smart Factory Kaiserslautern (Online unter: <https://smartfactory.de/ueber-uns/was-wir-bieten/>).

U

Umweltbundesamt (2020): Chemisches Recycling (Online unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-17_hgp_chemisches-recycling_online.pdf).

V

Valencia-Osorio, L. M., & Álvarez-Láinez, M. L. (2021). Global view and trends in electrospun nanofiber membranes for particulate matter filtration: A review. *Macromolecular Materials and Engineering*, 306(10) (Online unter: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/mame.202100278>).

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (o.J.): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 – Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes (Online unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Studien/Studie_Industrie_4.0_Kurzzusammenfassung_bf.pdf).

Veolia Klärschlammverwertung Deutschland GmbH (2022): Projekt DreiSATS (Online unter: <https://www.dreisats.de/willkommen.htm>).

Vezzoli, C. (2014): Product-Service System design for sustainability.

W

Weichenhain, U. et al. (2020): Potenziale der Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Industrie in Baden-Württemberg (Online unter: https://um.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-um/intern/Dateien/Dokumente/6_Wirtschaft/Ressourceneffizienz_und_Umweltechnik/Wasserstoff/200724-Potentialstudie-H2-Baden-Wuerttemberg-bf.pdf).

Wolf, M. et al. (2022): New Insights for Tracking Global and Local Trends in Exposure to Air Pollutants (Online unter: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c08080>).

Y

Yi, P., Huang, M., Lijun, G., & Shi, T. (2016). A retailer oriented closed-loop supply chain network design for end of life construction machinery remanufacturing (Online unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095965261600247X>).

Z

Zukunft – Umwelt – Gesellschaft (ZUG) gGmbH (2022): Carbon Capture and Utilization (CCU) (Online unter: <https://www.klimaschutz-industrie.de/themen/ccu-technologie/>).



H₂

GREEN
HYDROGEN



UMWELT
TECHNIK

BW Landesagentur für
Umwelttechnik und
Ressourceneffizienz

GEFÖRDERT UND BEGLEITET DURCH DAS



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

klimateutral gedruckt
www.natureOffice.de

Gedruckt auf
100 % Recyclingpapier
Bildnachweis Titelbild:
Adobe Stock/Giovanni Cancemi

