

Tobias Buchmann, Patrick Wolf, Maike Schmidt,
Peter Bickel, Andreas Püttner

Zukunftsfähig durch Cleantech

*Chancen für Beschäftigung
und Wirtschaft im Südwesten*

Friedrich
Ebert 
Stiftung

DGB

Deutscher
Gewerkschaftsbund
Baden-Württemberg

Landesbüro
Baden-Württemberg

Impressum

Studie im Auftrag der Friedrich-Ebert-Stiftung – Landesbüro
Baden-Württemberg und des DGB Bezirks Baden-Württemberg
von Dr. Tobias Buchmann, Patrick Wolf, Maike Schmidt,
Dr. Peter Bickel, Andreas Püttner
Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg
<https://www.zsw-bw.de/>

Herausgeben von:

Friedrich-Ebert-Stiftung Baden-Württemberg
Werastr. 24
70182 Stuttgart
Deutschland

Kontakt

bawue@fes.de
info-bw@dgb.de

Verantwortlich:

Florian Koch (FES)

Projektleitung:

Florian Koch (FES) und Gerri Kannenberg (DGB)

Lektorat:

Media-Agentur Gaby Hoffmann

Gestaltung:

Röger & Röttenbacher | Büro für Gestaltung, Leonberg

Druck und Herstellung

Brandt GmbH, Bonn

Die in dieser Publikation zum Ausdruck gebrachten Ansichten sind nicht notwendigerweise die der Friedrich-Ebert-Stiftung e.V. Eine gewerbliche Nutzung der von der Friedrich-Ebert-Stiftung (FES) herausgegebenen Medien ist ohne schriftliche Zustimmung durch die FES nicht gestattet. Publikationen der Friedrich-Ebert-Stiftung dürfen nicht für Wahlkampfzwecke verwendet werden.

Bildnachweis:

Umschlag: picture alliance / Zoonar / Kheng Ho Tohy

ISBN 978-3-98628-445-9

Weitere Publikationen der Friedrich-Ebert-Stiftung finden Sie hier:
➤ www.fes.de/publikationen

© 2025

**Tobias Buchmann, Patrick Wolf, Maike Schmidt,
Peter Bickel, Andreas Püttner**

Zukunftsfähig durch Cleantech

*Chancen für Beschäftigung
und Wirtschaft im Südwesten*

Inhalt

1. Einleitung	5
2. Cleantech in Baden-Württemberg – Status Quo	6
Definition und Abgrenzung von Cleantech	6
Konzeptionelle Einordnung	7
Landespolitische Initiativen	8
Wissenschaftslandschaft	9
Stellenwert von Cleantech in Baden-Württemberg	10
Die Leitmärkte „Energieeffizienz“ sowie „Rohstoff- und Materialeffizienz“ im Fokus	12
Forschungsleistung	12
3. Potenziale von Cleantech in Baden-Württemberg	17
Analyse der Industrielandschaft	17
Abschätzung zukünftiger ökonomischer Potenziale	18
Synergiepotenziale	19
Bedeutung von Standards für Cleantech	22
4. Zukünftige Entwicklungen und Szenarien	24
Technologische Trends und Innovationen	24
Qualifikationsanforderungen und Weiterbildungsbedarf	26
SWOT-Analyse der Cleantech-Leitmärkte	28
5. Handlungsempfehlungen	31
Strategische Empfehlungen für die Landespolitik	31
Strategien für Unternehmen	32
6. Fazit und Ausblick	34
7. Literatur	36
8. Anhänge	37

Vorwort

Baden-Württemberg steht vor der Herausforderung, sich als Industriestandort zukunftsfest aufzustellen – inmitten von globalen Krisen, geopolitischen Verschiebungen und einem tiefgreifenden technologischen Wandel. Die digitale Transformation sowie der notwendige Umbau zu einer klimaneutralen Wirtschaft verändern die Grundlagen unseres wirtschaftlichen Erfolgsmodells. Damit der industrielle Kern des Landes erhalten bleibt und neue Wertschöpfung entsteht, braucht es Zukunftsperspektiven: durch Innovationen, neue Technologien, kluge Köpfe, neue Produkte – und nicht zuletzt durch politische Weichenstellungen, die diesen Wandel unterstützen.

Die vorliegende Studie, beauftragt vom Deutschen Gewerkschaftsbund Baden-Württemberg und dem Landesbüro der Friedrich-Ebert-Stiftung in Baden-Württemberg wurde vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) erstellt. Sie vermisst die industriepolitischen Chancen von Cleantech-Technologien für Baden-Württemberg systematisch und leitet Handlungsempfehlungen für den Wirtschaftsstandort ab.

Sie zeigt: Nachhaltige Produkte und Technologien aus dem Cleantech-Bereich werden immer stärker nachgefragt – auf internationalen Märkten ebenso wie in der heimischen Wirtschaft. Besonders Bereiche wie Fertigungstechnolo-

gien, Kreislaufwirtschaft, Energieerzeugung, -speicherung und -umwandlung bieten große Potenziale für Innovation, Wertschöpfung und Beschäftigung. Doch es geht dabei nicht nur um technologische Innovationen, sondern auch um wirtschaftliche Resilienz – etwa durch die Verringerung strategischer Abhängigkeiten rund um Energie, Rohstoffe oder Schlüsseltechnologien.

Eine Chance wird realisiert, wenn Visionen durch Handeln umgesetzt werden – mit Planung, Ressourcen, Engagement und dem entsprechenden Rahmen. Diesen Rahmen bietet eine aktive Industriepolitik: strategisch ausgerichtet, mutig gedacht und dialogorientiert angelegt. Denn nicht zuletzt setzt ein erfolgreicher Wandel auf die Beteiligung und das Wissen der Beschäftigten. Ihre Kompetenzen und ihr Engagement sind ein zentraler Schatz, den es zu heben gilt. Eine transformative Wirtschaft muss dieses Wissen nutzen und gezielt einbeziehen – durch Qualifizierung und Mitbestimmung von Betriebsräten auf Augenhöhe.

Die Ergebnisse dieser Studie verstehen wir deshalb nicht nur als fachliche Analyse, sondern als Beitrag zu einem Ziel- und Zukunftsbild der baden-württembergischen Wirtschaft mit guter Arbeit. Diese Zukunft werden wir gestalten. Mitbestimmt, ökologisch verantwortlich, wirtschaftlich tragfähig und sozial gerecht.

Kai Burmeister

Vorsitzender DGB Baden-Württemberg

Florian Koch

Leiter, Friedrich-Ebert-Stiftung Baden-Württemberg

1

Einleitung

Die Wirtschaft in Baden-Württemberg steht vor großen Herausforderungen, die aus der ökologischen Transformation verbunden mit dem intensivierten globalen Wettbewerb in den für Baden-Württemberg besonders wichtigen Industriebranchen resultieren, etwa dem Maschinenbau und der Automobilindustrie. Die etablierten Industriecluster durchlaufen dabei einen Transformationsprozess, der eine Neuorganisation von Wertschöpfungsketten sowie die Entwicklung und Etablierung innovativer, nachhaltiger, sauberer und effizienter Technologien (Cleantech) umfasst. Solche Transformationsprozesse sind durch eine große Industriedynamik gekennzeichnet, d. h. Unternehmen werden aus dem Markt gedrängt, aber es bieten sich gleichzeitig auch Chancen, sowohl für Start-ups als auch für etablierte Unternehmen, die sich den veränderten Marktbedingungen anpassen können.

Der für Baden-Württemberg besonders charakteristische industrielle Mittelstand umfasst viele hoch spezialisierte Weltmarktführer, die mit ihren Produkten bereits seit Jahrzehnten erfolgreich am Markt bestehen. Oft haben diese Erzeugnisse den Grundstein für den Unternehmensaufbau gelegt und sichern bis heute Investitionen und Arbeitsplätze. Doch angesichts der Erosion etablierter Geschäftsmodelle erkennen viele dieser Unternehmen zunehmend die Notwendigkeit einer umfassenden Neuausrichtung – ein Schritt, der allerdings erhebliche Umsetzungsrisiken sowie beträchtliche finanzielle Aufwendungen mit sich bringt.¹

Um Arbeitsplatz- und Wohlstandsverlusten entgegenzuwirken, ist daher eine begleitende Modernisierungspolitik seitens des Landes erforderlich. Gefragt ist eine Industrie- und Innovationspolitik, die nicht nur öffentliche Gelder zur Erschließung neuen Wissens und neuer Geschäftsfelder einsetzt, sondern auch einen ordnungspolitischen Rahmen gibt, private Investitionsanreize schafft und – wo nötig – fördernd unter die Arme greift, um ein Cleantech-Innovationsökosystem im Land aufzubauen, das Arbeitsplätze im Land sichert und neue Arbeitsplätze in Zukunftsbranchen schafft.

Das dynamische globale Wachstum der Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen aus dem Bereich Cleantech wird angetrieben durch das übergeordnete Ziel, die Um-

weltbelastung und den sich abzeichnenden Klimawandel in kontrollierte Bahnen zu lenken, um katastrophale Folgen für Mensch und Umwelt möglichst zu minimieren. Außerdem besteht die Notwendigkeit, mit den globalen Ressourcen, die durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum immer stärker und schneller ausgeschöpft werden, schonender umzugehen. Das potenzielle globale Marktvolumen von Cleantech-Gütern und Cleantech-Dienstleistungen wird dabei bis 2030 auf ungefähr 12 Billionen Euro geschätzt.² Dabei stellt Cleantech nicht eine homogene Branche für sich dar, sondern umfasst und verbindet unterschiedlichste Leitmärkte. Verbindendes Element sind Produkte, die darauf abzielen, die natürlichen endlichen Ressourcen zu schonen und die Umweltbelastung sowie den Ausstoß von für die Stabilität des Klimas schädlichen Gasen zu mindern. Dabei ist dieses Tätigkeitsfeld nicht mehr exklusiv für auf Cleantech spezialisierte Unternehmen. Vielmehr ist Cleantech auch in Teilen bereits zu einem wichtigen Wachstumsfeld für Unternehmen aus dem Bereich der „klassischen“ Industrie geworden.³

Vor diesem Hintergrund arbeitet die vorliegende Studie die Chancen, aber auch Herausforderungen heraus, die sich durch Cleantech in Baden-Württemberg bieten, und entwickelt Empfehlungen für Politik und Wirtschaft. Die erfolgreiche Transformation Baden-Württembergs zu einer führenden Cleantech-Region erfordert ein kollaboratives Vorgehen aller Akteure. Der Austausch von Ideen und Wissen führt zu innovativen Produkten und erhöht die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. Die vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen berücksichtigen sowohl die allgemeinen Bedarfe der verschiedenen Leitmärkte als auch die spezifischen Bedürfnisse der unterschiedlichen Innovationssysteme der Leitmärkte. Aufgrund der traditionell starken Exportorientierung der baden-württembergischen Wirtschaft sind gleichzeitig stets die internationalen Rahmenbedingungen bzw. ist das internationale Umfeld zu berücksichtigen. Die Landespolitik ist ihrerseits aufgefordert, die regionalen Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass Innovationen gefördert, Hemmnisse abgebaut und die Potenziale der Cleantech-Leitmärkte voll ausgeschöpft werden. Die Aktivierung von Unternehmen aus traditionellen Branchen zur Teilnahme an dynamischen Leitmärkten kann die wirtschaftliche Entwicklung und Schaffung von

¹ Windhagen et al. (2021).

² BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021); Gackstatter et al. (2023); UN (2023).

³ Rentmeister et al. (2013).

Arbeitsplätzen stimulieren. Mit Blick auf Resilienz und Diversifikation werden Unternehmen besser in der Lage sein, sich an Marktveränderungen anzupassen und ihr Portfolio zu diversifizieren, wodurch die Abhängigkeit von einer einzigen Branche reduziert wird.

Im Rahmen der Studie werden nachfolgend zunächst die zentralen Leitmärkte und Anwendungsfelder sowie der Status quo und die Bedeutung von Cleantech in Baden-Württemberg dargestellt. Anschließend werden die Potenziale für Baden-Württemberg herausgearbeitet. Es folgen eine Darstellung zukünftiger Entwicklungen und Anforderungen sowie eine Erörterung von Chancen und Herausforderungen für das Land. Schließlich folgt die Ableitung von Handlungsempfehlungen für Politik und Wirtschaft zur Stärkung Baden-Württembergs in den Cleantech-Leitmärkten.

2

Cleantech in Baden-Württemberg – Status Quo

Zur Aufarbeitung des Status quo wird zunächst der Begriff „Cleantech“ genauer definiert und hinsichtlich seiner zentralen Leitmärkte und Anwendungsbereiche abgegrenzt. Anschließend werden die Leitmärkte in unterschiedliche Innovationssysteme eingeordnet. Von dieser Basis ausgehend werden bestehende relevante landespolitische Initiativen veranschaulicht, bevor im Anschluss die Wirtschafts- und Wissenschaftslandschaft im Cleantech-Kontext beleuchtet wird.

Definition und Abgrenzung von Cleantech

Cleantech stellt keine in sich geschlossene Branche dar, sondern umfasst eine Vielzahl von Aktivitäten in unterschiedlichsten Wirtschaftszweigen. Ein gemeinsames Merkmal der im Cleantech-Bereich tätigen Unternehmen sind Güter und Dienstleistungen, die darauf ausgerichtet sind, natürliche Ressourcen zu schonen, Umweltbelastungen zu reduzieren und den Ausstoß klimaschädlicher Gase zu verringern. Die Definition von Cleantech variiert je nach Studie, Institut oder Forschungsansatz, wodurch ein einheitliches Begriffsverständnis erschwert wird. Zum Teil wird auch der Begriff „Greentech“ anstelle von Cleantech verwendet, wobei sich die betrachteten Branchen, Technologien und Anwendungsfelder überlappen oder unterscheiden können. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse verschiedener Studien nur eingeschränkt direkt miteinander vergleichbar bzw. ergänzend.

Cleantech bringt Unternehmen und Forschungseinrichtungen unterschiedlichster Wirtschaftszweige und Fachbereiche zusammen – von der industriellen Fertigung über das Handwerk und Baugewerbe, Ver- und Entsorgungswirtschaft sowie vielfältige Dienstleistungen bis hin zur Sekundärrohstoffwirtschaft. In Anlehnung an vorherige Studien⁴

grenzen wir Cleantech als Sammelbegriff so ab, dass dieser die in Abbildung 1 dargestellten und nachfolgend kurz erläuterten sechs Leitmärkte mit jeweils untergeordneten Anwendungsbereichen umfasst.

Der **Leitmarkt Energieeffizienz** fokussiert auf die Reduzierung des Energieverbrauchs und die effiziente Nutzung von Energie. Er umfasst energieeffiziente Gebäude, Geräte sowie industriespezifische Prozesse und Produktionsverfahren, die den Energiebedarf nachhaltig senken. Im Leitmarkt **Kreislaufwirtschaft** stehen die Minimierung von Abfall und die Wiederverwertung von Ressourcen im Vordergrund. Die Anwendungsbereiche reichen von Abfallsammlung, -transport und -deponierung über Abfallverwertung bis hin zur ökologischen Sanierung. Der Leitmarkt **Nachhaltige Mobilität** fokussiert auf umweltfreundliche und saubere Fortbewegung und innovative Verkehrslösungen. Er umfasst alternative Kraftstoffe und Antriebstechnologien, nachhaltige Mobilitätskonzepte sowie die integrierte Entwicklung und intelligente Steuerung der Verkehrsinfrastruktur. Der Leitmarkt **Nachhaltige Wasserwirtschaft** stellt die nachhaltige Nutzung und den Schutz der Ressource Wasser in den Fokus. Er beinhaltet Technologien für die Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung sowie Ansätze zur Steigerung der Wassernutzungseffizienz. Der Leitmarkt **Rohstoff- und Materialeffizienz** zielt auf die Schonung von Rohstoffen und die Entwicklung ressourceneffizienter Technologien ab. Die Anwendungsbereiche umfassen neue Materialien, nachhaltiges Design sowie materialeffiziente Verfahren und Querschnittstechnologien wie Nano- und Biotechnologie. Der Leitmarkt **Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung** konzentriert sich schließlich auf die nachhaltige Energieversorgung. Er umfasst Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energien, die umweltfreundliche Nutzung fossiler Brennstoffe, innovative Energiespeichersysteme sowie den Aufbau und Betrieb effizienter Netze.

⁴ Vgl. z.B. Rentmeister et al. (2013)



Die vorliegende Studie fokussiert auf die Erfassung von Gütern und Dienstleistungen, die bereits heute im Marktgeschehen verankert sind und somit im Rahmen statistischer Daten identifiziert werden können. Weitere zukunfts-trächtige, aber noch nicht marktreife Technologien werden jedoch im Rahmen der Patent- und Publikationsanalyse zusätzlich berücksichtigt.

Konzeptionelle Einordnung

Einen konzeptionellen Eckpfeiler dieser Studie bildet das Modell des Technologischen Innovationssystems (TIS)⁵ bzw. das davon abgeleitete Globale Innovationssystem (GIS)⁶. Diese Systemperspektive hat das Ziel, Entwicklungsbarrieren zu identifizieren⁷ und davon abgeleitet Handlungsempfehlungen zu formulieren.⁸ Ein Innovationssystem besteht aus Akteuren, Netzwerken sowie gesetzlichen und informellen Regelungen, die zusammenwirken, um neue

Produkte zu entwickeln und diese erfolgreich in den Markt zu bringen. Das GIS-Konzept beschreibt, wie Innovationen in einer globalisierten Welt entstehen, verbreitet und wirtschaftlich bewertet werden. Es betont, dass Innovationsprozesse häufig nicht nur isoliert innerhalb eines Landes oder einer Region stattfinden, sondern in globalen Netzwerken, die Akteure aus verschiedenen Regionen und Industrien verbinden. Das GIS-Konzept hilft, die Dynamik globaler Innovationsprozesse besser zu verstehen. Es zeigt, dass die Art der Innovation und die wirtschaftliche Bewertung darüber entscheiden, wie Technologien entwickelt, verbreitet und genutzt werden. Für Politik und Unternehmen bedeutet dies, dass sowohl globale Standards als auch lokale Anpassungen wichtig sein können, um Innovationen erfolgreich in den Markt zu bringen. Der „Innovationsmodus“ beschreibt die Art und Weise, wie neue Technologien entwickelt werden. Hierbei werden zwei Hauptansätze unterschieden: „Wissenschaft, Technologie, Innovation“ und „Tun, Nutzen, Interagieren“. Im ersten Fall basieren neue Technologien auf wissenschaftlicher Forschung und analytischem Wissen. Dagegen beruhen neue Technologien im zweiten Fall verstärkt auf praktischer Erfahrung und dem Lernen durch Anwendung. Innovationen entstehen dabei durch iterative Prozesse, bei denen Anwender und Produzenten eng zusammenarbeiten. Das notwendige Wissen

⁵ Carlsson and Stankiewicz (1991).

⁶ Binz and Truffer (2017).

⁷ Siehe dazu auch die SWOT-Analyse in Kapitel 4.3.

⁸ Berge et al. (2015).

ist oft implizit und lokal verankert. Der „Bewertungsmodus“ beschreibt, wie der wirtschaftliche Wert einer Innovation ermittelt wird. Hierbei werden die zwei Haupttypen „standardisiert“ und „angepasst“ unterschieden. Im ersten Fall erfolgt die Bewertung anhand globaler Standards, die es ermöglichen, Innovationen international vergleichbar und skalierbar zu machen. Dies ermöglicht Massenproduktion und internationale Verbreitung. Im zweiten Fall erfolgt die Bewertung durch Anpassung an spezifische regionale oder lokale Marktbedingungen. Dies ermöglicht maßgeschneiderte Lösungen für spezifische Märkte. Ein wichtiges Charakteristikum ist die Heterogenität der Cleantech-Branche, d. h., die einzelnen Leitmärkte „funktionieren“ unterschiedlich. Um dies in der Analyse berücksichtigen zu können, werden die einzelnen Leitmärkte bzw. die Anwendungsbereiche der Cleantech-Branche in die vier Quadranten einer Matrix eingeteilt.⁹ Beispielhaft werden in Abbildung 2 einzelne Anwendungen eingeordnet. Eine umfassende Liste findet sich in Anhang 1. Zu beachten ist, dass sich im Lauf der Zeit auch Verschiebungen ergeben können.

Landespolitische Initiativen

Bereits zu Beginn der 2000er-Jahre begann die Landespolitik Baden-Württembergs saubere Technologien und Geschäftsmodelle zu fördern. Während der Schwerpunkt zunächst auf nachhaltigen Chancen im Bereich Anlagenbau und Umwelttechnik lag, weitete sich das Betätigungsfeld später in Richtung Effizienz sowie Klima- und Ressourcenschutz aus. Die landespolitischen Aktivitäten werden in der Regel unter dem Label „Greentech“ geführt, allerdings stimmen die berücksichtigten Leitmärkte mit den hier betrachteten weitgehend überein. Zu den landespolitischen Aktivitäten gehören Förderprogramme für Unternehmen, aber auch die Unterstützung von Forschungsinstituten sowie Hochschulen. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Förderung von themenspezifischen Netzwerken und Clustern. In den nachfolgenden Absätzen wird eine Auswahl verschiedener landespolitischer Aktivitäten aufgeführt. In Anhang 3 wurde eine Liste mit Verweisen auf weiterführende Informationen zusammengestellt.

Eine zentrale Akteurin für die landespolitischen Aktivitäten bildet die 2011 gegründete **Landesagentur Umwelttechnik BW**. Neben einer Reihe weiterer Initiativen koordiniert die Umwelttechnik BW auch die **Plattform GreenTech BW**¹⁰, deren Aufbau im Januar 2024 begann und deren Aufgabe es ist, baden-württembergische Kompetenzen auf dem Gebiet der Umwelttechnologien zu bündeln. Darüber hinaus versteht sich die Umwelttechnik BW mit ihrem Informations- und Beratungsangebot insbesondere auch als Anlaufstelle für kleine und mittlere Unternehmen des Landes.

Weitere wichtige Akteure sind die **Landesagentur e-mobil BW**¹¹, deren Aufgabe die Gestaltung des Wandels der Mobilität in Baden-Württemberg ist, sowie die **Regionale Kompetenzstelle Ressourceneffizienz KEFF+**. Darüber hinaus fördert die Landesregierung die Cleantech auf verschiedenen Ebenen. Neben Förderprogrammen für Unternehmen und Projekte gibt es Unterstützung bei der Netzwerkbildung, Informations- und Beratungsangebote sowie Veranstaltungen. Zu den allgemeinen Förderprogrammen, die auch für Unternehmen und Projekte aus dem Bereich Cleantech offen sind, gehören die Förderung von Innovationsprojekten durch das Förderprogramm **Invest BW** des **Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus**, das Programm **Unternehmen machen Klimaschutz** sowie die **begleitende Gründungsberatung (EXI-Beratungsgutscheine)**. Die Landesregierung fördert zudem gezielt Innovationen im Bereich GreenTech. Im Rahmen des **Förderaufrufs Invest BW „Greentech“** im Jahr 2023 wurden beispielsweise 34 Millionen Euro für Innovationsprojekte im GreenTech-Sektor bereitgestellt.¹²

Anlaufstellen für die Vernetzung mit anderen Akteuren bilden das **Clusterportal Baden-Württemberg** (nicht Cleantech-spezifisch), die **Plattform GreenTech BW** sowie die **GreenTech Allianz**¹³, die 2025 operativ starten soll. Letztergenannte hat zum Ziel, die GreenTech-Branche gezielt mit kleinen und mittleren Unternehmen sowie mit der Start-up-Szene der Plattform GreenTech BW zu vernetzen. Zielgruppen der Vernetzungsaktivitäten sind neben bestehenden Unternehmen insbesondere auch Start-ups, die durch spezifische Aktivitäten, wie den **Start-up BW Summit 2024**, oder das **Projekt GrüNetz** unterstützt wurden.

Ein umfassendes Informationsangebot richtet sich insbesondere auch an kleine und mittelständische Unternehmen in Baden-Württemberg. Hierzu gehören u. a. der **GreenTech BW Atlas**, der **Expertenatlas BW** sowie weitere Angebote der bereits oben genannten Akteure Umwelttechnik BW, e-mobil BW sowie KEFF+.

Auch regelmäßig stattfindende Veranstaltungen bieten die Möglichkeit zur Information und zur Vernetzung mit anderen Akteuren. Zu nennen sind hier der jährlich stattfindende **Ressourceneffizienz- und Kreislaufwirtschaftskongress**, der **Umwelttechnikpreis Baden-Württemberg** und der **Umweltpreis für Unternehmen Baden-Württemberg**, die alle zwei Jahre stattfinden.

Um den steigenden Fachkräftebedarf zu decken, ist eine Anpassung der Bildungsangebote erforderlich. Dies umfasst die Einführung spezialisierter Studiengänge für die Leitmärkte im Bereich Cleantech sowie die Förderung von

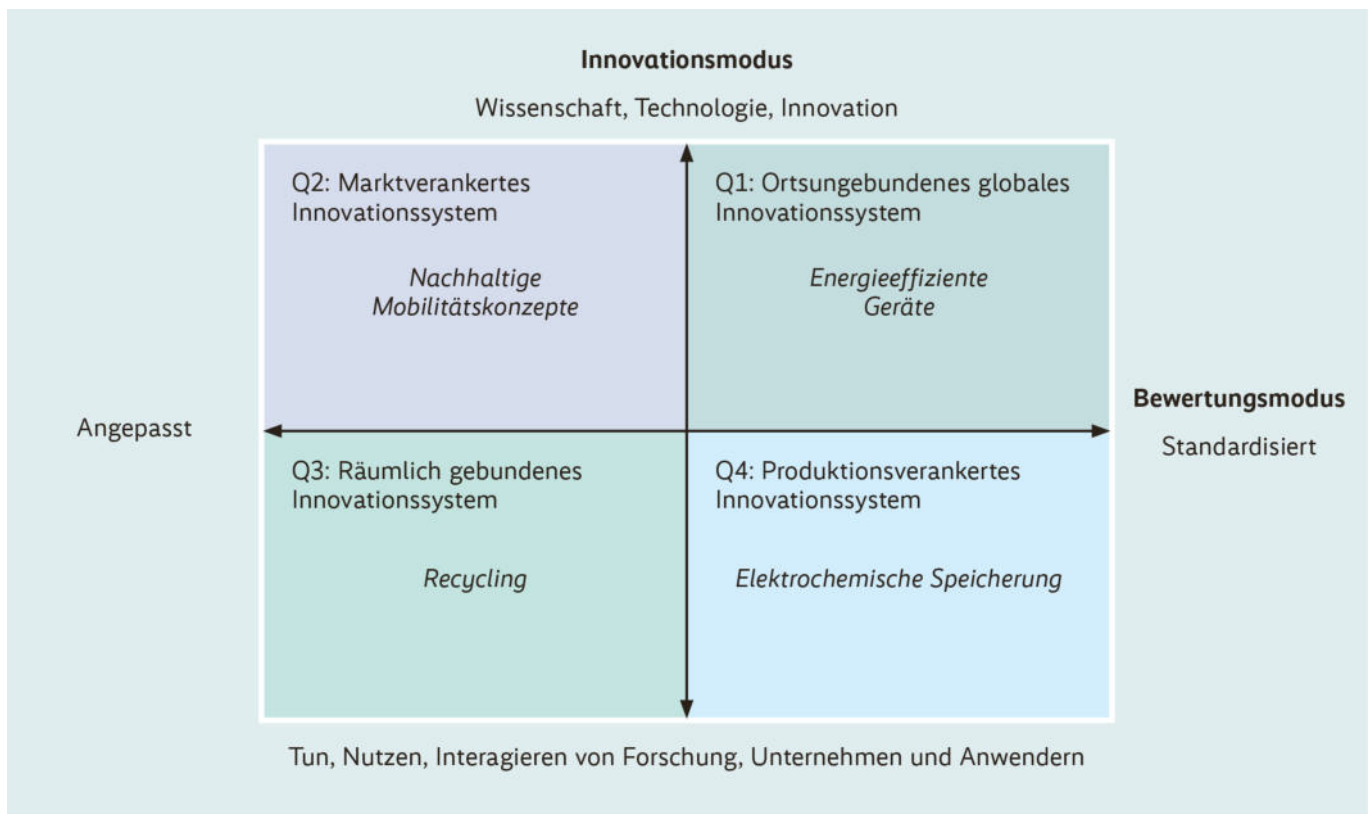
⁹ Siehe dazu Binz und Truffer (2017).

¹⁰ <https://www.umwelttechnik-bw.de/de/ueber-uns/projekte/plattform-greentech-bw>.

¹¹ e-mobil BW (2024).

¹² <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/land-foerdert-green-tech-innovationen-mit-rund-34-millionen-euro?highlight=invest%20bw>.

¹³ <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/umwelt-und-wirtschaft/ressourceneffizienz-und-greentech/greentech>.



Weiterbildungsprogrammen für bestehende Fachkräfte. Hierzu trägt die von der Landesregierung gestartete **Fachkräfteinitiative „FachkräfteLÄND“** bei, indem sie u. a. MINT-Studiengänge bewirbt, Maßnahmen zur Verringerung des Studienabbruchs initiiert oder aktiv wird, um Fachkräftepotenziale im Ausland zu erschließen.

Wissenschaftslandschaft

Wie bereits im vorherigen Abschnitt dargestellt, ist für die Gewinnung einer ausreichenden Anzahl an gut ausgebildeten Fachkräften für die Cleantech-Leitmärkte ein umfassendes Studien- und Ausbildungsangebot zu schaffen. Um einen Überblick über in Baden-Württemberg bereits bestehende Studienangebote zu gewinnen, wurde eine Recherche nach im Land angebotenen Bachelor- und Masterstudiengängen durchgeführt, die die Bereiche Abfallwirtschaft, Energiewirtschaft, erneuerbare Energien, erneuerbare Kraftstoffe/nachhaltige Mobilität, Klima- und Umweltmanagement, Klimaschutz, Kreislaufwirtschaft/Circular Economy, Nachhaltigkeit, Ressourcenschonung/Ressourcenwirtschaft, Umweltschutz sowie Umwelttechnik adressieren. Danach werden an Hochschulen und Universitäten im Land 108 Studiengänge in den genannten Bereichen angeboten. Neben Stuttgart konzentrieren sich Cleantech-Studiengänge vor allem in Karlsruhe, Aalen, Konstanz, Mannheim, Ulm, Rottenburg, Offenburg, Freiburg und Esslingen.

Die an den identifizierten Studiengängen beteiligten Institute weisen – ebenso wie weitere Hochschulinstitute – auch Forschungsaktivitäten im Bereich Cleantech auf.

Darüber hinaus befinden sich in Baden-Württemberg auch eine Reihe renommierter Forschungseinrichtungen mit Cleantech-relevanten Tätigkeitsbereichen. Insbesondere sind hier diverse Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR), der Max-Planck-Gesellschaft, des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) sowie der Innovationsallianz Baden-Württemberg (innBW) zu nennen (exemplarische Aufzählung ohne Anspruch auf Vollständigkeit):

- Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE (Freiburg),
- Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT (Pfinztal-Berghausen),
- DLR – Institut für Fahrzeugkonzepte (Stuttgart),
- DLR – Institut für Technische Thermodynamik (Stuttgart, Ulm),
- Max-Planck-Institut für Festkörperforschung (Stuttgart),
- Max-Planck-Institut für Intelligente Systeme (Stuttgart, Tübingen),
- Deutsche Institute für Textil- und Faserforschung DITF (Denkendorf),
- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg ZSW (Stuttgart, Ulm).

Stellenwert von Cleantech in Baden-Württemberg

Nachfolgend wird die Bedeutung der sechs Cleantech-Leitmärkte und ihrer Anwendungsbereiche für Baden-Württemberg genauer untersucht. Im ersten Abschnitt werden hierfür die (Brutto-)Wertschöpfung¹⁴ und die Beschäftigungszahlen analysiert, um die ökonomische Bedeutung der Cleantech-Leitmärkte aufzuzeigen. Im zweiten Abschnitt wird die Innovationskraft anhand der Forschungsleistung in Form von Patenten und Publikationen untersucht, die relevante Indikatoren für die Wettbewerbsfähigkeit und Zukunftsfähigkeit darstellen.

Die wirtschaftliche Bedeutung und das Engagement der Akteure des Landes im Bereich Cleantech spiegeln sich im Umfang der Wertschöpfung und der Anzahl von Beschäftigten in den sechs zentralen Leitmärkten sowie ihren jeweiligen Anwendungsbereichen wider, wie sie in Abbildung 3 und Abbildung 4 für das Jahr 2022 veranschaulicht werden. Diese Bereiche bilden die Grundlage für eine nachhaltige Transformation der Wirtschaft und verdeutlichen die Relevanz von Cleantech für die Zukunftsfähigkeit des Standorts Baden-Württemberg.

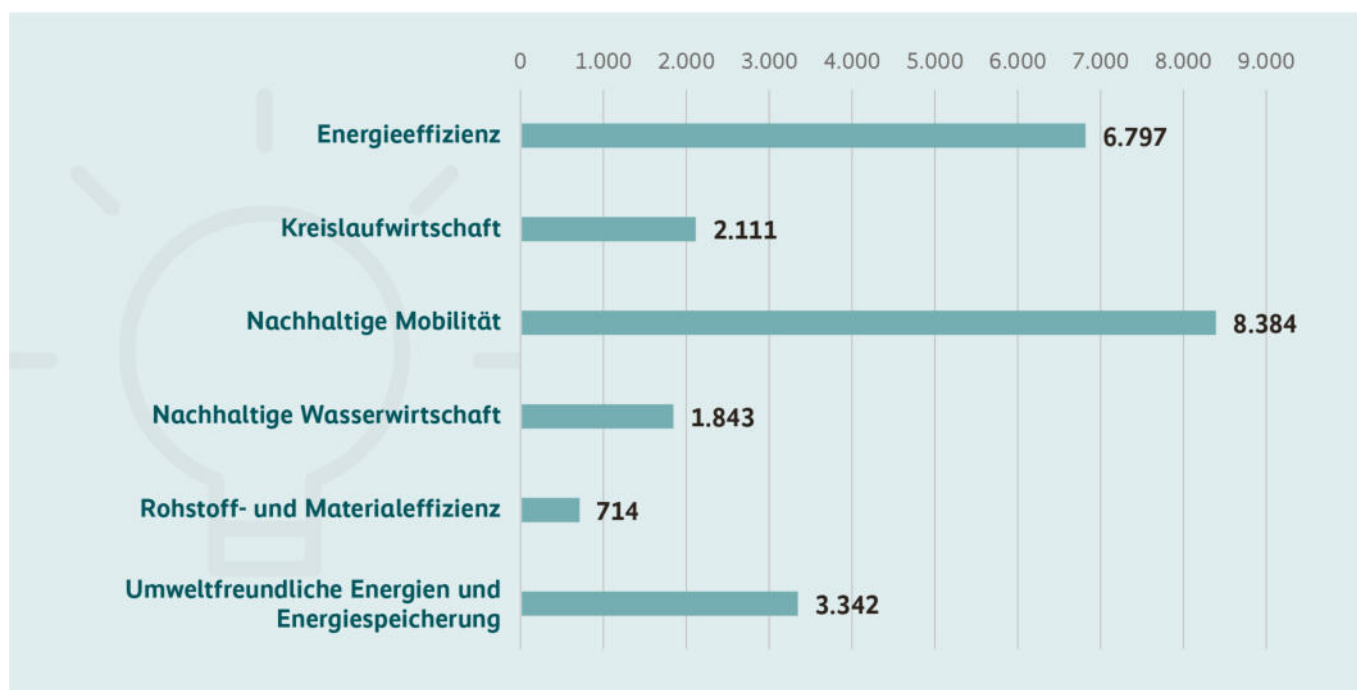
Beschäftigungsstärkster Sektor innerhalb der Cleantech-Leitmärkte Baden-Württembergs ist mit 95 500 Beschäftigten und einer Wertschöpfung von 6,8 Milliarden Euro der Leitmarkt *Energieeffizienz*. Die zentralen Anwendungsbereiche sind dabei energieeffiziente Gebäude und industriespezifische, energieeffiziente Produktionsverfahren. Die *Kreislaufwirtschaft* erzielt eine Wertschöpfung von 2,1 Milliarden Euro und beschäftigt knapp 20 000 Menschen. Der größte Beitrag kommt hier aus der Abfallverwertung, gefolgt von der Abfalldeponierung und -sammlung.

Mit einer Wertschöpfung von 8,4 Milliarden Euro und 58 000 Beschäftigten ist die *nachhaltige Mobilität* ein wesentlicher Pfeiler der Cleantech-Industrie in Baden-Württemberg und gleichzeitig der wertschöpfungsstärkste Leitmarkt. Dieser Leitmarkt wird klar durch den Bereich der alternativen Antriebstechnologien mit einer Wertschöpfung von 7,8 Milliarden Euro und 53 000 Beschäftigten dominiert. Die *nachhaltige Wasserwirtschaft* trägt mit einer Wertschöpfung von über 1,8 Milliarden Euro und 16 600 Beschäftigten ebenfalls substantiell zur Cleantech-Industrie bei. Der Schwerpunkt liegt auf der Wassergewinnung und -aufbereitung, die 1,3 Milliarden Euro zur Wertschöpfung und knapp 11 000 Arbeitsplätze beisteuert.

Wertschöpfung in den Cleantech-Leitmärkten im Jahr 2022¹⁵

Abb. 3

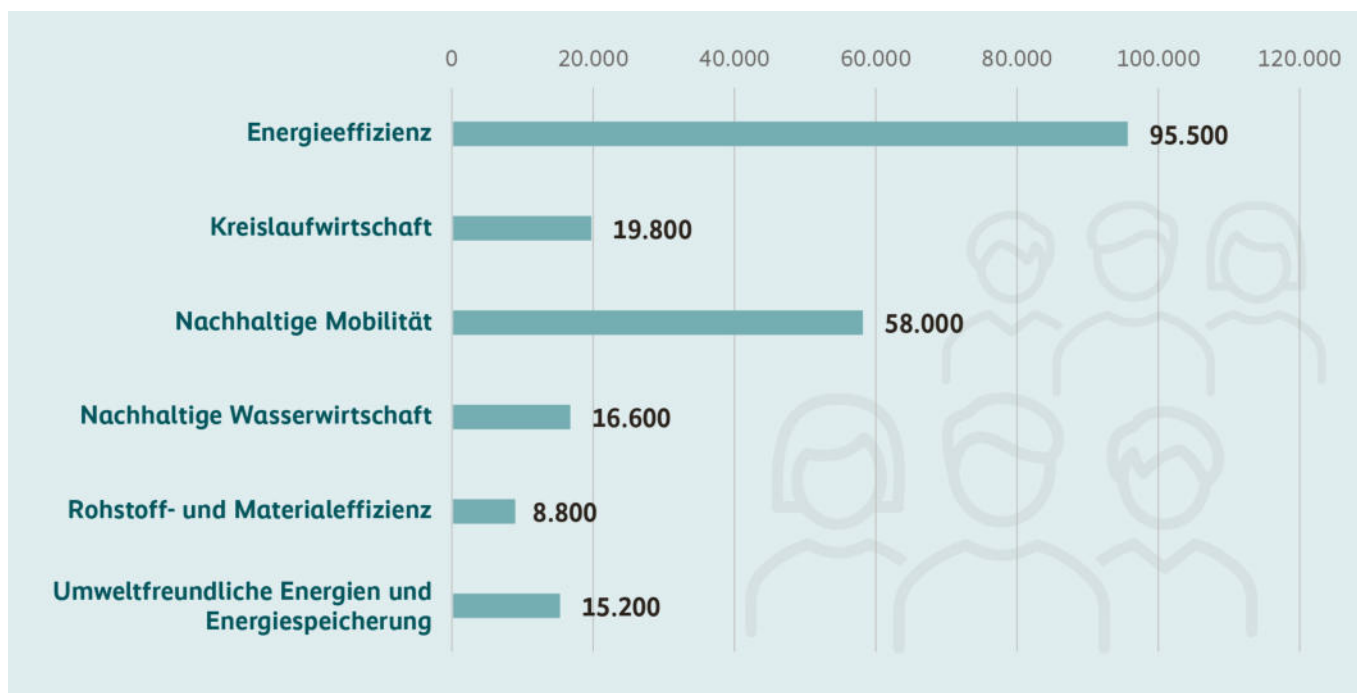
in Mio. EUR



¹⁴ Die Wertschöpfung beschreibt den volkswirtschaftlichen Mehrwert, den ein Wirtschaftszweig oder Unternehmen durch seine Produktion schafft. Sie ergibt sich aus dem Gesamtwert der erzeugten Güter und Dienstleistungen abzüglich der dafür eingesetzten Vorleistungen. Die Berechnungen zur Wertschöpfung und zur Beschäftigung basieren auf Daten des Statistischen Landesamts vom 28.6.24 (https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/BWHeft_mods_00047255).

¹⁵ ZSW (2024a). Eine detaillierte Darstellung von Wertschöpfung und Beschäftigung nach Anwendungsbereichen findet sich in Anhang 5 und Anhang 6.

Anzahl direkt Beschäftigter



Der Leitmarkt *Rohstoff- und Materialeffizienz* erreicht eine Wertschöpfung von 0,7 Milliarden Euro und beschäftigt 8800 Menschen. Beschäftigungsintensivste Anwendungsbereiche sind Querschnittstechnologien, materialeffiziente Verfahren und neue Materialien. *Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung* erwirtschaften schließlich eine Wertschöpfung von 3,3 Milliarden Euro und stellen 15 200 Arbeitsplätze¹⁷. Die Energiegewinnung aus erneuerbaren Quellen bildet mit 3 Milliarden Euro Wertschöpfung und 12 000 Beschäftigten den Hauptanteil. Speichertechnologien und effiziente Netze spielen eine ergänzende Rolle.

Während eine breite Zahl an Wirtschaftszweigen Anteile im Cleantech-Bereich aufweist, zeigen sich hier in Hinblick auf die Wertschöpfung zwei besonders dominante Bereiche. An erster Stelle rangiert der Wirtschaftszweig „Herstellung von Kraftfahrzeugen und -teilen“ (WZ-Kategorie 29), der mit einer Wertschöpfung von knapp 7,6 Milliarden Euro den größten Anteil aufweist. Zweitstärkster Wirtschaftszweig ist der Maschinenbau mit 3,5 Milliarden Euro, der allerdings, im Gegensatz zu der sehr auf den Leitmarkt der nachhaltigen Mobilität konzentrierten Kraftfahrzeugherstellung, in allen Leitmärkten zu finden ist und somit als eine der diesbezüglich vielseitigsten und flexibelsten Branchen angesehen werden kann.

In Summe umfasst Cleantech Baden-Württembergs im Jahr 2022 eine Wertschöpfung von 23,2 Milliarden Euro sowie eine Gesamtbeschäftigung von 214 000 Beschäftigten. Zum Vergleich: Das gesamte verarbeitende Gewerbe in Baden-Württemberg erreichte im selben Jahr eine Wertschöpfung von 159,3 Milliarden Euro. Damit verbunden war im Jahr 2022 eine Beschäftigung von über 1,5 Millionen Erwerbstätigen.¹⁸ Dies zeigt, dass die Cleantech-Leitmärkte Baden-Württembergs erheblich zur Wirtschaftskraft und Beschäftigung des Landes beitragen. Mit Blick auf die Entwicklung von 2012 bis 2022¹⁹ können mit einem mittleren jährlichen Wachstum der Wertschöpfung von 22 % bzw. 17 % insbesondere die Bereiche „Nachhaltige Mobilität“ sowie „Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung“ als die zentralen Wachstumsmärkte angesehen werden. Auch die Bereiche „Energieeffizienz“ sowie „Rohstoff- und Materialeffizienz“ weisen ein deutliches Wachstum der Wertschöpfung im oberen einstelligen Bereich auf, während die Bereiche „Kreislaufwirtschaft“ und „Nachhaltige Wasserwirtschaft“ zumindest moderate Steigerungen erkennen lassen. Insgesamt zeigt sich in allen Leitmärkten eine positive Tendenz, was die steigende Bedeutung des Cleantech-Bereichs unterstreicht.

¹⁶ ZSW (2024a) sowie Rentmeister et al. (2013).

¹⁷ Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich bei den ausgewiesenen Beschäftigten um die aus der Statistik abgeleiteten direkten Beschäftigten im Bereich Cleantech handelt. Unter zusätzlicher Berücksichtigung von indirekt Beschäftigten ist davon auszugehen, dass die Beschäftigtenzahlen signifikant höher liegen. Für indirekte Effekt siehe beispielsweise Ulrich (2023).

¹⁸ VGdL (2024).

¹⁹ Basierend auf einer vereinfachten Abschätzung für das Jahr 2012, basierend auf Buchner (2013); Rentmeister et al. (2013); ZSW (2024a).

Die Leitmärkte „Energieeffizienz“ sowie „Rohstoff- und Materialeffizienz“ im Fokus

Beim Streben nach der Reduktion von Treibhausgasemissionen, der Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien und dem Erreichen einer nachhaltigen Produktionsweise spielt die effiziente Nutzung von (Energie-) Ressourcen eine Schlüsselrolle. Wird nämlich zunächst die Effizienz eines Prozesses erhöht, erfordert die Reduktion bzw. Vermeidung des verbleibenden Energie- bzw. Ressourcenbedarfs deutlich weniger Aufwand. Zugleich wird die Abhängigkeit von ausländischer Rohstoffversorgung verringert. Vor diesem Hintergrund sind die beiden Leitmärkte **Energieeffizienz** sowie **Rohstoff- und Materialeffizienz** von besonderer Bedeutung für die angestrebte ökologische Transformation.

Zur **Energieeffizienzbranche** gehören beispielsweise die Optimierung industrieller Prozesse, energieeffiziente Gebäuden sowie die Digitalisierung des Energiemanagements (Smart Grids, KI-gestützte Steuerungen). Die **Rohstoff- und Materialeffizienz** wird beispielsweise durch neue Recyclingtechnologien, den verstärkten Einsatz nachwachsender Rohstoffe und ressourcenschonende Produktionsverfahren geprägt. Besonders vielversprechend sind organische Elektronik und Nanotechnologien, für die Wachstumsraten von bis zu 15,8 % pro Jahr erwartet werden.²⁰

Bezogen auf die Beschäftigung ist der Leitmarkt **Energieeffizienz** aktuell der größte der Cleantech-Leitmärkte in Baden-Württemberg, in Bezug auf die Wertschöpfung liegt er auf dem zweiten Rang (vgl. Abbildung 3 und Abbildung 4). 34 % der Wertschöpfung werden dort im Wirtschaftszweig Maschinenbau erbracht, 29 % in der Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie 27 % in der Herstellung von elektrischen Ausrüstungen. Damit entfällt der größte Teil der Wertschöpfung im Leitmarkt Energieeffizienz auf technologieaffine Wirtschaftszweige, die traditionell mit zu den Treibern innovativer Entwicklungen in der baden-württembergischen Unternehmenslandschaft gehören.

Steigende Recyclingquoten und Vorgaben der EU-Kreislaufwirtschaftsstrategie sorgen im Bereich Rohstoff- und Materialeffizienz für verstärkte Investitionen in ressourcenschonende Technologien. In Baden-Württemberg wird die Materialeffizienz beispielsweise durch Programme wie die „Ultraeffizienzfabrik“ und Innovationscluster wie die „Allianz Industrie 4.0“ gezielt unterstützt. Daneben bieten Förderangebote wie die „Innovationsgutscheine BW“ oder das „Förderprogramm Ressourceneffizienz“ speziell kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sowie Start-ups wichtige Impulse, um weitere Effizienzpotenziale zu erschließen und innovative Lösungen zu entwickeln.

Vor dem Hintergrund einer zu erwartenden weiteren Verschärfung von Effizienzzielen – sowohl auf EU- als auch auf Bundes- und Landesebene (z. B. EU-Energieeffizienzrichtlinie, Sanierungsziele im Gebäudebereich, Deutsche

Nachhaltigkeitsstrategie, steigende Recyclingquoten) – ist zukünftig ein deutliches Wachstum der Leitmärkte Energieeffizienz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz zu erwarten. Auf globaler Ebene umfasste der globale Leitmarkt Energieeffizienz im Jahr 2020 ein Volumen von 1.224 Milliarden Euro; bis zum Jahr 2030 wird mit einem Anstieg auf 2.246 Milliarden Euro gerechnet, was einem jährlichen Wachstum von 6,3 % entspricht. In Deutschland betrug das entsprechende Marktvolumen 117 Milliarden Euro im Jahr 2020 mit einer erwarteten jährlichen Wachstumsrate von 8,6 % bis 2030. Für den globalen Leitmarkt für Rohstoff- und Materialeffizienz wird mit einem Anstieg des Marktvolumens von 712 Milliarden Euro 2020 auf 1.588 Milliarden Euro im Jahr 2030 gerechnet, was einem Wachstum von 8,4 % pro Jahr entspricht. In Deutschland belief sich das Marktvolumen 2020 auf 78 Milliarden Euro mit einer erwarteten jährlichen Wachstumsrate von 7,1 %.²¹ Aufgrund der bestehenden Struktur beteiligter Wirtschaftszweige mit hoher Technologiekompetenz verfügt das Land über eine hervorragende Ausgangsposition, um am zu erwartenden internationalen Wachstum zu partizipieren. Dies ist umso überraschender, da der Innovationsfokus in Baden-Württemberg bislang nicht auf diesen beiden Leitmärkten Energieeffizienz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz liegt. Im Vergleich zu den anderen Leitmärkten weist Baden-Württemberg, basierend auf dem Indikator des offenbaren Technologievorteils, bislang in den Fokusleitmärkten kein besonderes Spezialisierungsmuster auf (vgl. hierzu auch Abschnitt 2.7).

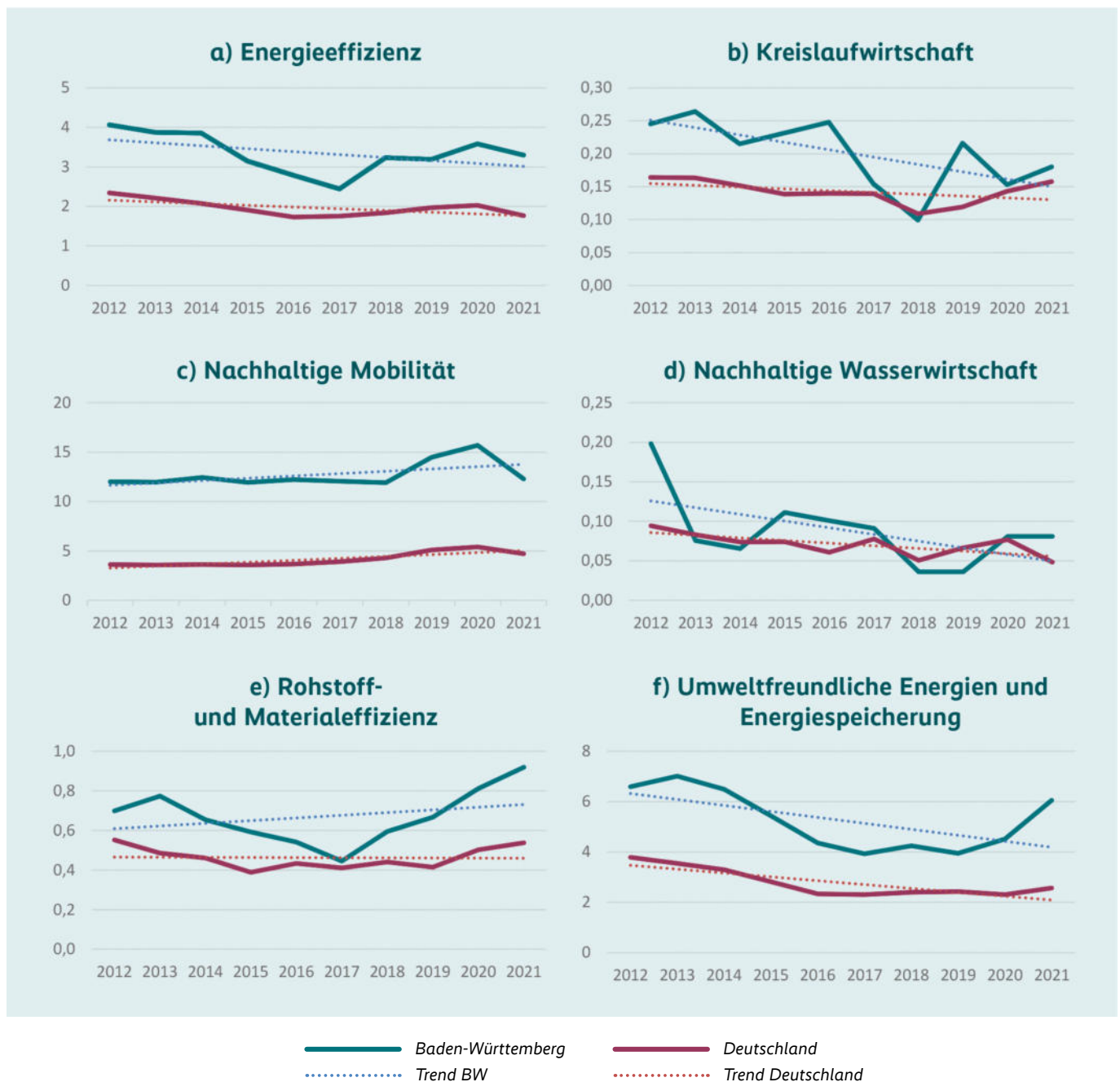
Forschungsleistung

Forschung und Entwicklung (F&E) sind eine wichtige Voraussetzung für innovative Produkte und damit auch den langfristigen Exporterfolg baden-württembergischer Unternehmen. Die Forschungsleistung im Bereich Cleantech bildet hierbei die Grundlage für transformative Innovationen und ist entscheidend für die Gestaltung einer klimaneutralen Zukunft. Zwei zentrale Indikatoren für die Messung der Innovationskraft im Cleantech-Bereich sind die Entwicklung und Dynamik wissenschaftlicher Publikations- und Patentierungstätigkeiten. Während Publikationen die wissenschaftliche Tiefe von Forschungseinrichtungen und Unternehmen dokumentieren, verdeutlichen Patente die Übertragung von Forschungsergebnissen in Anwendungen und marktfähige Technologien. Gemeinsam zeichnen diese beiden Indikatoren ein differenziertes Bild der Dynamik und des Fortschritts der Cleantech-Leitmärkte.

²¹ BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021).

Patentierungstätigkeiten in den Leitmärkten in Anzahl angemeldeter Patentfamilien pro 100 000 Einwohner²²

Abb. 5



Patentierungstätigkeit

Patente schützen Erfindungen, fördern technologischen Fortschritt und sichern Unternehmen Investitionen in Forschung und Entwicklung. Gleichzeitig bieten sie eine transparente und standardisierte Grundlage, um Trends ver-

schiedener Technologiefelder zu analysieren. Als Maßstab für Innovationskraft und strategisches Werkzeug zur Bewertung von Wettbewerbsfähigkeit und Forschungsausrichtung sind Patente unverzichtbar, um Fortschritte und Entwicklungen auf nationaler und internationaler Ebene sichtbar zu machen. Abbildung 5 gibt einen vergleichenden Überblick über die Entwicklung der Patentierungstätigkeit in den Leitmärkten für Baden-Württemberg im Vergleich zu Deutschland.

Für den Leitmarkt **a) Energieeffizienz** zeigt sich, dass Baden-Württemberg im nationalen Vergleich eine über den

²² Eigene Darstellung basierend auf der PATSTAT-Datenbank des Europäischen Patentamts (2024) sowie Dörr (2022). Die Daten beziehen sich auf einen Anteil von etwa 90 % der Cleantech-Patentfamilien, die basierend auf der Datenbasis bundesländerspezifisch zugeordnet werden konnten. Aufgrund von Verzögerungen in der Patentstatistik war zum Erstellungszeitpunkt der Studie nur die Ausweisung bis zum Jahr 2021 möglich.

gesamten Betrachtungszeitraum überdurchschnittlich hohe Innovationsleistung aufweist. Während bis zum Jahr 2017 eine eher rückläufige Tendenz zu erkennen war, kann seitdem eine deutliche Zunahme an Anmeldeaktivitäten festgestellt werden. Die Patentierungen in diesem Leitmarkt werden hierbei insbesondere getrieben durch Patente zu industriespezifischen, energieeffizienten Produktionsverfahren. Der Leitmarkt **b) Kreislaufwirtschaft** ist in Baden-Württemberg durch eine deutliche Fluktuation in der Patentiertätigkeit geprägt. Zwischen 2012 und 2018 ging die Zahl der jährlichen Patentfamilien um etwa 60 % zurück, seitdem zeichnet sich allerdings eine wieder positive Tendenz ab – ein Trend, der in abgeschwächter Form auch bundesweit zu beobachten ist. Die **Nachhaltige Mobilität (c)** offenbart ein anderes Bild: Hier blieb die Zahl der Patentfamilien im betrachteten Zeitraum in Baden-Württemberg relativ stabil. Der Bereich „Alternative Antriebs-technologien“ dominiert hier klar die Innovationslandschaft und unterstreicht die führende Position des Landes in der Elektromobilität und anderen innovativen Antriebslösungen. Ergänzend leisten auch „alternative Kraftstoffe“ sowie Infrastruktur und Verkehrssteuerung Beiträge zur Innovationsaktivität Baden-Württembergs, wenngleich diese mit etwa 20 % einen geringeren Anteil ausmachen. Im Leitmarkt **d) Nachhaltige Wasserwirtschaft** verzeichnet Baden-Württemberg eine relativ geringe, leicht abnehmende Innovationsaktivität, die im Gegensatz zu den anderen Leitmärkten in etwa vergleichbar mit der bundesweiten Patentierungstätigkeit ist. Die **Rohstoff- und Materialeffizienz (e)** zeigt in Baden-Württemberg seit 2017 eine stetig zunehmende Innovationsleistung, die sich erkennbar von der eher stabilen bundesweiten Entwicklung absetzt. Besonders im Bereich „Materialeffiziente Verfahren und Querschnittstechnologien“ ist das Land hier stark vertreten. Für den Leitmarkt **f) Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung** liegt die Patentiertätigkeit ebenfalls deutlich über dem bundesweiten Schnitt.

Die Analyse zeigt, dass Baden-Württemberg hinsichtlich seiner Patentierungsaktivitäten in allen Leitmärkten eine bedeutende Rolle spielt, und verdeutlicht die Schlüsselrolle Baden-Württembergs als ein wesentlicher Innovationsmotor Deutschlands. So war Baden-Württemberg im Bundesländervergleich für das Jahr 2021 in allen sechs Leitmärkten unter den Top 2. Als eine auffallende Besonderheit ist hierbei insbesondere die in nahezu allen Leitmärkten positive Tendenz in der Patentierhäufigkeit hervorzuheben.

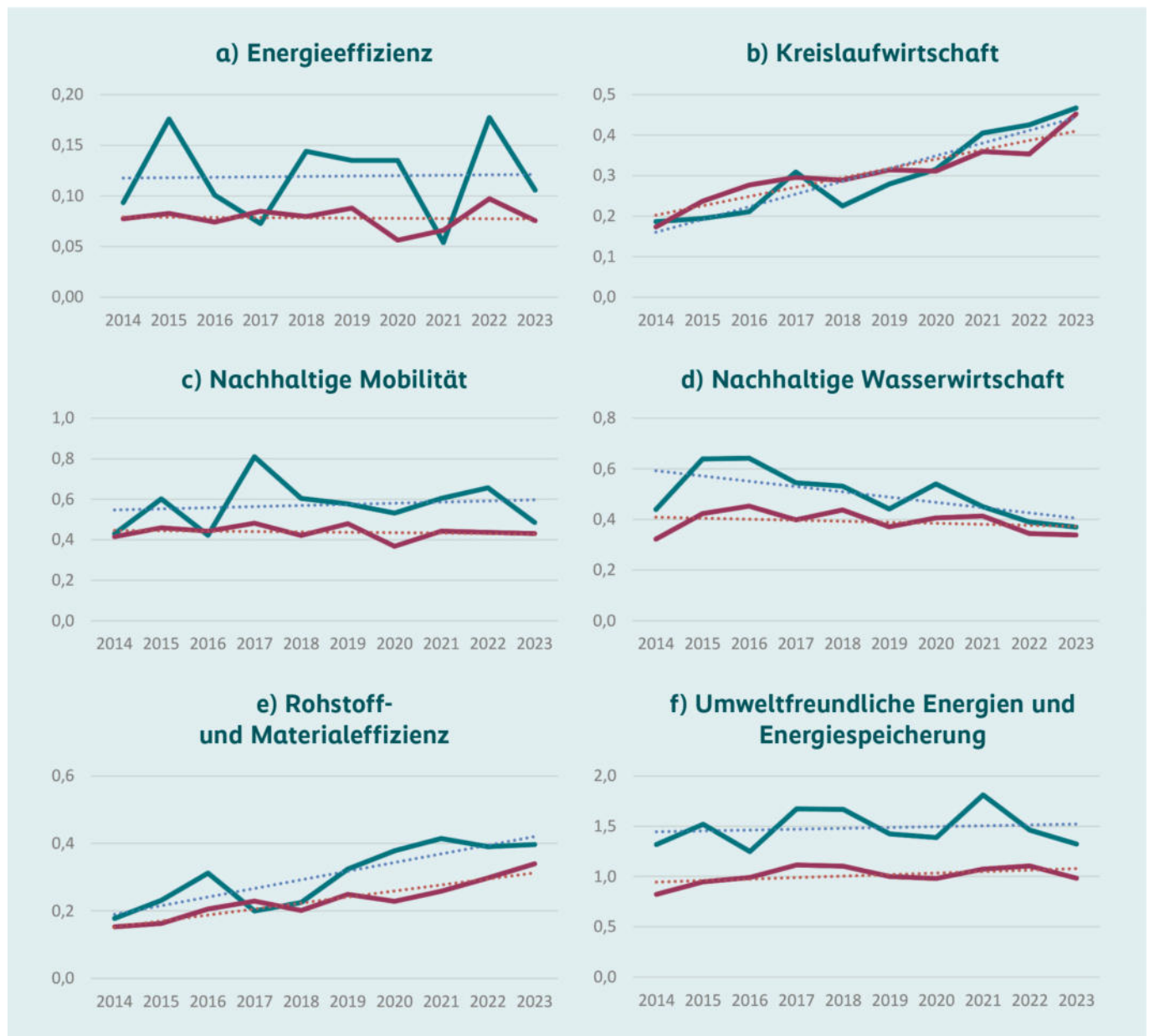
Publikationstätigkeit

Ein weiterer aussagekräftiger Indikator zur Messung der Forschungsleistung ist die Anzahl an Publikationen in Fachzeitschriften. Im Rahmen dieser Studie wurde eine Literaturanalyse basierend auf Daten der Scopus-Datenbank²³ durchgeführt. Dabei wurden gezielt Artikel in Fachzeitschriften in den relevanten Leitmärkten der Cleantech-Leitmärkte für die Jahre 2014 bis 2023 recherchiert, die von wissenschaftlichen Einrichtungen aus Baden-Württemberg und aus Deutschland insgesamt veröffentlicht wurden. Um die Publikationen zu identifizieren, wurden Kombinationen von Suchbegriffen entwickelt und für die Suche in Scopus genutzt. Die Daten zeigen Trends in den Forschungsaktivitäten Baden-Württembergs und im Vergleich zu den deutschlandweiten Publikationen. Das Land ist in einigen Leitmärkten bereits stark vertreten, besitzt in anderen Leitmärkten jedoch weiterhin Potenzial zur Stärkung der eigenen Wettbewerbsposition in der Wissenschaft.

Für die **Kreislaufwirtschaft** offenbart sich eine Steigerung für Baden-Württemberg in den letzten Jahren von 147 % (0,19 Publikation/100 000 Einwohner) im Jahr 2014 auf 0,47 im Jahr 2023 (Deutschland 2014: 0,17; 2023: 0,45), was auf deutlich ansteigende Forschungsaktivitäten im Leitmarkt hinweist. Im Bereich der **umweltfreundlichen Energien und Energiespeicherung** verlief die Entwicklung weniger dynamisch. Hier verzeichnete Baden-Württemberg 2023 genauso viele Publikationen wie 2014 (1,32/100 00 EW) nach einem Hochpunkt im Jahr 2021 (1,81), blieb jedoch deutlich vor der gesamtdeutschen Entwicklung von 0,98 im Jahr 2023. Im Bereich der Energieeffizienz gab es in Baden-Württemberg annähernd eine Seitwärtsbewegung (0,09 Publikationen im Jahr 2014 und 0,11 im Jahr 2023, Deutschland verblieb konstant auf einem Wert von 0,08). Etwas dynamischer entwickelte sich der Bereich **Mobilität** mit einem Wert von 0,43 im Jahr 2014 und einem Anstieg bis auf 0,66 im Jahr 2022. Zuletzt ging der Wert wieder etwas zurück auf 0,49 (Deutschland verblieb im gleichen Zeitraum nahezu konstant bei 0,42 bis 0,43). Als einziger Bereich war in der nachhaltigen **Wasserwirtschaft** im Untersuchungszeitraum ein Rückgang zu verzeichnen: von 0,44 im Jahr 2014 auf 0,37 im Jahr 2023. Positiv dynamischer entwickelte sich der Bereich **Rohstoff- und Materialeffizienz** von 0,18 im Jahr 2014 auf 0,40 im Jahr 2024.

In den meisten Cleantech-Leitmärkten liegt Baden-Württemberg zwar durchgängig über dem Bundesschnitt, aber der Vorsprung fällt je nach Bereich unterschiedlich groß aus und ist keineswegs in allen Fällen stabil. So zeigen etwa die Indikatoren zur nachhaltigen Wasserwirtschaft eine rückläufige Entwicklung, und auch bei Themen wie Energieeffizienz ist nur eine leichte Aufwärtstendenz zu erkennen. Obwohl Baden-Württemberg in einigen Feldern (z. B. Rohstoff-/Materialeffizienz oder Kreislaufwirtschaft)

²³ Elsevier (2024).

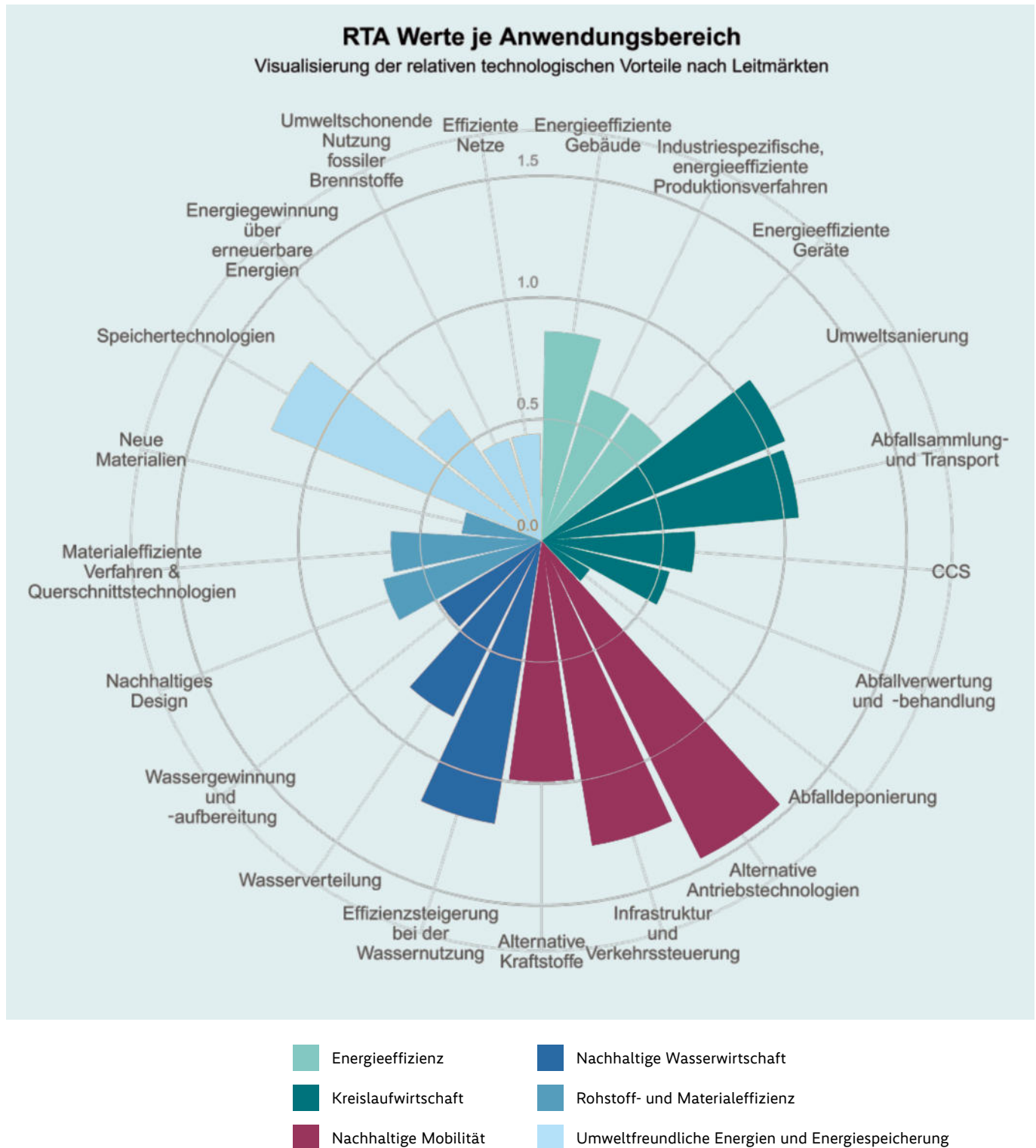


deutlich zulegt und seine Position gegenüber Gesamtdeutschland halten oder leicht ausbauen kann, bleibt der Abstand insgesamt begrenzt. Die Zahlen belegen somit eine solide Ausgangsbasis in Baden-Württemberg, jedoch keinen uneingeschränkten Vorsprung. Um den Anspruch auf eine führende Rolle in den Cleantech-Leitmärkten nachhaltig zu untermauern, ist eine weitere Stärkung der Forschungsaktivitäten in allen Bereichen nötig.

Spezialisierung

Mit Blick auf die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten im Land ist es hilfreich zu verstehen, in welchen Bereichen Baden-Württemberg im nationalen Vergleich technologische Vorteile und Spezialisierungen aufweist. Hierfür wurde für die einzelnen Anwendungsbereiche in den Leitmärkten das RTA-Maß (Revealed Technological Advantage – offenkundiger Technologievorteil) basierend auf den Patentaktivitäten berechnet.²⁵ Den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass Baden-Württemberg bei Themen wie alternativen Antriebstechnologien und Speichertechnologien besonders hohe

²⁴ ZSW basierend auf Scopus.



RTA-Werte erzielt und damit hinsichtlich seiner Patentaktivitäten überdurchschnittlich stark spezialisiert ist. Insgesamt zeigt Baden-Württemberg innerhalb von vier der sechs Leitmärkte eine erkennbare Spezialisierung ($RTA > 1$). In den Anwendungsbereichen der Leitmärkte Energieeffizienz sowie Rohstoff- und Materialeffizienz deuten die Ergebnisse hingegen auf eine vergleichsweise niedrige Spezialisierung hin.

²⁵ Das Maß zeigt, in welchen Cleantech-Bereichen Baden-Württemberg relativ zum nationalen Durchschnitt besonders spezialisiert ist. Der RTA berechnet sich, indem man den Anteil des Anwendungsbereichs an allen Cleantech-Patenten Baden-Württembergs zum Anteil dieses Anwendungsbereichs an allen Cleantech-Patenten in Deutschland ins Verhältnis setzt. Ein RTA-Wert über 1 signalisiert eine überdurchschnittliche Spezialisierung. Liegt der Wert hingegen unter 1, so ist die Spezialisierung geringer. Das bedeutet jedoch nicht, dass Bereiche mit einem niedrigeren RTA weniger wichtig wären – sie stehen lediglich im Verhältnis zu anderen Cleantech-Feldern bislang nicht so sehr im Fokus.

3

Potenziale von Cleantech in Baden-Württemberg

Im Rahmen der Potenzialanalyse erfolgt zunächst ein genauerer Blick auf die Industrielandschaft. Dazu wird die Struktur des baden-württembergischen verarbeitenden Gewerbes (Industrie) derjenigen der Cleantech-Leitmärkte des Landes gegenübergestellt, um Gemeinsamkeiten, aber auch Unterschiede herauszuarbeiten. Aufbauend auf globalen Studien zur Entwicklung des Cleantech-Markts, wird eine Einschätzung der Zukunftspotenziale für Baden-Württemberg vorgenommen. Im Anschluss wird untersucht, inwieweit die Forschungsaktivitäten im für Baden-Württemberg besonders wichtigen Maschinenbau- und Fahrzeugbau-Cluster²⁶ bereits in das Cleantech-Innovationsnetzwerk integriert sind und wie Unternehmen stärker für eine Beteiligung an diesem Netzwerk gewonnen werden können. Abschließend wird die Bedeutung von Standards in den Cleantech-Leitmärkten dargestellt.

Analyse der Industrielandschaft

Die internationalen Aktivitäten zur Stärkung des Cleantech-Bereichs sind neben Motiven des Klimaschutzes vor allem auch industriepolitisch getrieben. Ziel ist die Stärkung der jeweiligen nationalen industriellen Basis für eine langfristig wettbewerbsfähige Industrie. Die wirtschaftlichen Chancen, die sich durch Investitionen in die verschiedenen Cleantech-Technologiebereiche sowie der zugehörigen Infrastruktur ergeben, schlagen sich in einer Vielzahl nationaler Aktivitäten und Strategien nieder. Um die Stärken Baden-Württembergs für Cleantech besser verstehen zu können, wurde vor diesem Hintergrund die Branchenstruktur für die Produktion von Cleantech-Produkten untersucht und unter Berücksichtigung der Wirtschaftszweigstruktur Baden-Württembergs analysiert. Basis der Analyse bilden statistische Erhebungen zur Umsatz- und Wirtschaftszweigstruktur des Statistischen Landesamts BW sowie des Statistischen Bundesamts unter Nutzung der Cleantech-Einordnungen in Rentmeister et al. (2013).

Der Fokus liegt hier auf dem für Baden-Württemberg besonders wichtigen verarbeitenden Gewerbe (Industrie). Zunächst wurde geprüft, welche Wirtschaftszweige bei der Produktion von Cleantech beteiligt sind und welche Umsatzanteile in den jeweiligen Bereichen derzeit erzielt werden, d. h. das sog. Umsatzprofil der Cleantech-Leitmärkte

in Baden-Württemberg. Anschließend wurde das sich daraus ergebende baden-württembergische Cleantech-Profil der Industriestruktur Baden-Württembergs gegenübergestellt. Dieser Ansatz ermöglicht es, zu analysieren, inwiefern die Schwerpunkte der Industrie bereits mit den Cleantech-relevanten Wertschöpfungsstrukturen übereinstimmen und wo Anpassungs- und Entwicklungspotenziale liegen.

Das linke Kreisdiagramm in Abbildung 8 illustriert, dass der Umsatz durch Cleantech-Produkte in Baden-Württemberg im Wesentlichen in vier Wirtschaftszweigen erwirtschaftet wird. Mehr als die Hälfte des Umsatzes fällt im Wirtschaftszweig „Herstellung von Kraftwagen und -teilen“ an. Darüber hinaus tragen der Maschinenbau, die Herstellung von elektrischen Ausrüstungen sowie die Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen wesentlich zum Cleantech-Umsatz bei. Darüber hinaus ist die chemische Industrie in nennenswertem Umfang an der Produktion von Cleantech in Baden-Württemberg beteiligt. Die übrigen beteiligten Wirtschaftszweige im verarbeitenden Gewerbe besitzen Umsatzanteile von weniger als 2 %.

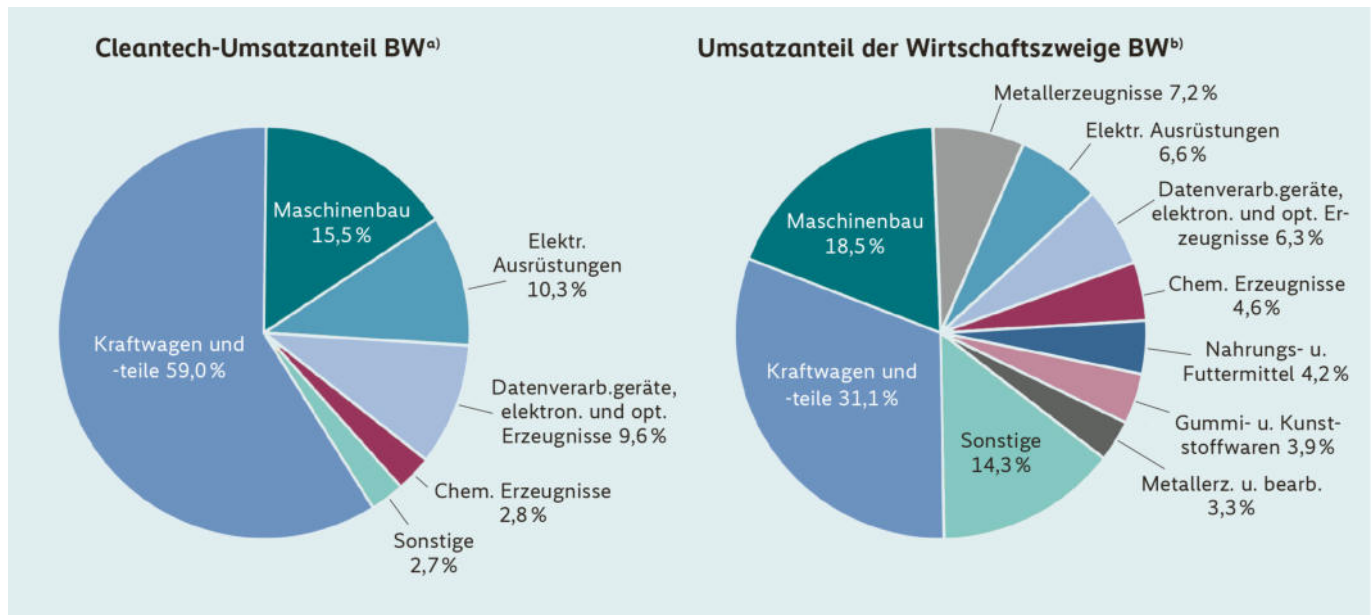
Stellt man das Umsatzprofil der baden-württembergischen Cleantech-Produktion der Wirtschaftszweigstruktur der Industrie in Baden-Württemberg gegenüber (vgl. rechtes Kreisdiagramm), wird deutlich, dass die Struktur des Cleantech-Umsatzes der allgemeinen Umsatzstruktur stark ähnelt. Grund hierfür ist, dass viele Produkte der umsatzstärksten Branchen – meist solche mit hohem Technologieanteil – in den Bereich Cleantech fallen bzw. im Cleantech-Bereich Anwendung finden. Auf die Herstellung von Kraftwagen und -teilen sowie Maschinenbau entfällt fast die Hälfte des Industrieumsatzes in Baden-Württemberg. Mit geringeren Anteilen vertreten sind die Herstellung von elektrischen Ausrüstungen, die Herstellung von Datenverarbeitungsgeräten, elektronischen und optischen Erzeugnissen sowie chemische Erzeugnisse. Der deutlich höhere Umsatzanteil des Sektors Kraftwagen und -teile am Cleantech-Umsatz ist auf die starke Gewichtung von Effizienz- und Emissionsvermeidungstechnologien in dieser Branche zurückzuführen.

Insgesamt besitzt Baden-Württemberg aufgrund seiner vielfältigen Branchenverteilung in der Industrie mit Fokus insbesondere auf Kraftwagen und -teile, Maschinenbau, Metallerzeugnisse und elektrische Ausrüstungen eine günstige Ausgangsposition zur Realisierung ökonomischer Potenziale im Bereich Cleantech. Da der internationale

²⁶ Der Begriff umfasst hier die gesamte Wertschöpfungskette der Automobilindustrie.

Gegenüberstellung des Cleantech-Industrieprofils in Baden-Württemberg mit der Wirtschaftszweigstruktur der gesamten Industrie in Baden-Württemberg

Abb. 8



Wirtschaftszweige mit einem Anteil von jeweils unter 2,5 % sind im Posten „Sonstige“ zusammengefasst.

a) Links: Cleantech-Umsatzanteil der baden-württembergischen Industrie-Wirtschaftszweige im Jahr 2022.

b) Umsatzanteil der Wirtschaftszweige der gesamten Industrie in Baden-Württemberg im Jahr 2022.

Innovationswettbewerb bereits in vollem Gange ist, erscheint es essenziell, die Cleantech-Bereiche in Baden-Württemberg weiter zu stärken. Hierfür gilt es nicht nur, die im Cleantech-Bereich bereits sehr stark vertretenen Wirtschaftszweige weiter zu unterstützen. Auch die im Vergleich zur Wirtschaftszweigstruktur Baden-Württembergs in den Cleantech-Leitmärkten noch nicht so umfangreich vertretenen Wirtschaftszweige wie die Chemieindustrie, die Herstellung von Metallerzeugnissen oder auch die Gummi- und Kunststoffwarenindustrie sollten bei ihrer nachhaltigen Transformation unterstützt werden, um die Diversifizierung und damit die Resilienz des Standortes zu fördern. Mit der umfassenderen Einbeziehung der Stärken der baden-württembergischen Wirtschaftszweigstruktur könnten die bestehenden ökonomischen Zukunftspotenziale auf dem Cleantech-Weltmarkt (siehe hierzu den nachfolgenden Abschnitt) besser abgeschöpft werden.

Abschätzung zukünftiger ökonomischer Potenziale

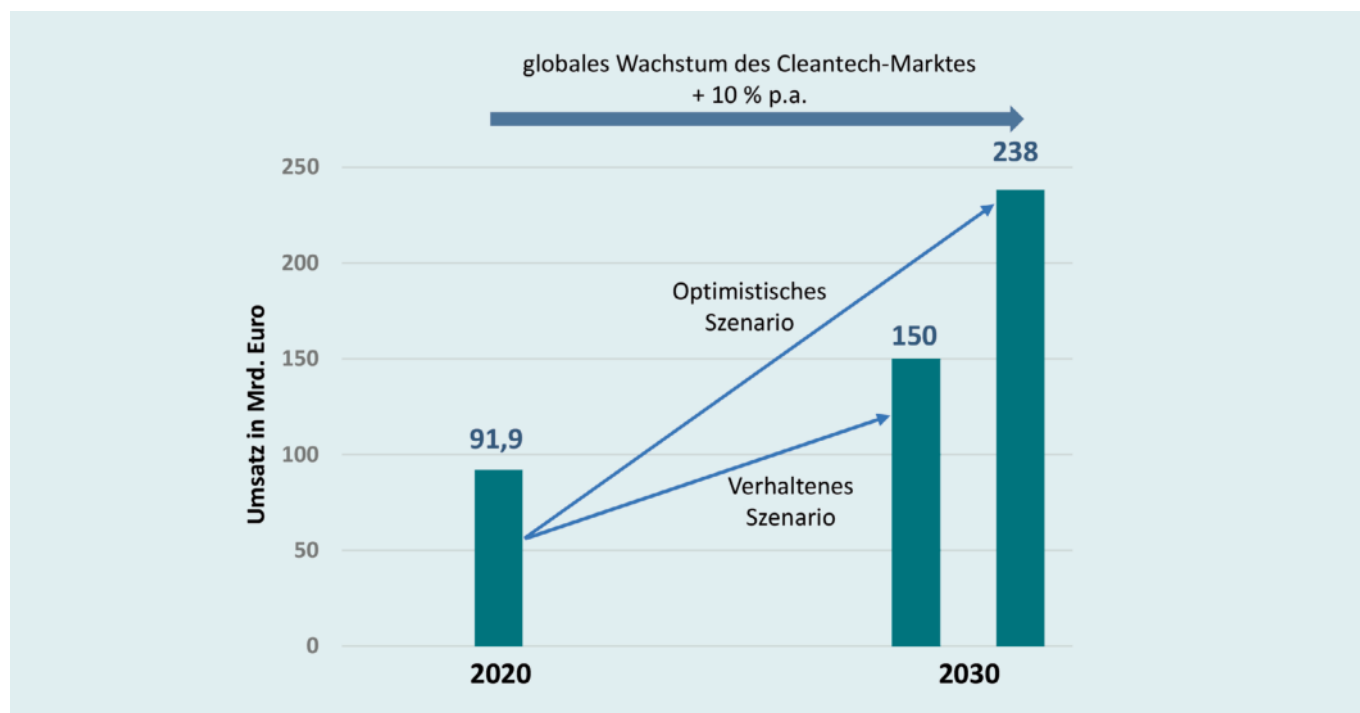
Die bisherigen Analysen im Rahmen der vorliegenden Studie haben veranschaulicht, dass die Cleantech-Leitmärkte bereits jetzt für Baden-Württemberg einen bedeutenden Anteil an der gesamten Wirtschaftsleistung des Landes besitzen und einen wichtigen Markt darstellen. Auch in der Forschungslandschaft spielt Cleantech eine bedeutende Rolle. Verschiedene Untersuchungen zeigen zudem auf, dass in den nächsten Jahren mit starkem Wachstum in den

Cleantech-Bereichen gerechnet werden kann.²⁷ Aufgrund der exportorientierten Wirtschaft in Baden-Württemberg stellt dies einerseits eine Chance für das Land dar, um von der globalen Entwicklung weiterhin zu profitieren. Andererseits dürfte zugleich durch zunehmende Konkurrenz auf dem Weltmarkt die internationale Wettbewerbsfähigkeit unter Druck geraten, da auch andere Regionen am Wachstum der Cleantech-Leitmärkte partizipieren möchten. Sich verändernde globale politische und gesellschaftliche Bedingungen könnten hier die exportorientierte Wirtschaft zusätzlich unter Druck geraten lassen, was sich letztlich in sinkenden Welthandelsanteilen niederschlagen würde (siehe insbesondere auch die SWOT-Analyse in Abschnitt 4.3). Auf Basis vorliegender Untersuchungen sowie den daraus resultierenden Chancen und Risiken werden nachfolgend zukünftige Potenziale für Baden-Württemberg im Bereich Cleantech abgeschätzt.

Basierend auf den Arbeiten für Abschnitt 2.5 konnte der Umsatz Baden-Württembergs in den Cleantech-Leitmärkten ermittelt werden. Dieser belief sich im Jahr 2020 auf 91,9 Mrd. Euro, was – bezogen auf das baden-württembergische BIP – einem Anteil von 18 % entspricht. Mehrere einschlägige Untersuchungen kommen nach der Analyse des globalen Cleantech-Markts zu der Einschätzung, dass bis 2030 ein Wachstum von +10 % p. a. angesetzt werden

²⁷ BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2021); Digital catapult (2024); Gackstatter et al. (2023).

Möglicher Szenarienraum zur Umsatzentwicklung der Cleantech-Leitmärkte in Baden-Württemberg je nach Entwicklung baden-württembergischer Welt-handelsanteile für Cleantech²⁹



kann. Unter der Voraussetzung, dass es der baden-württembergischen Wirtschaft gelingt, auch zukünftig die aktuelle Position und damit die aktuellen Welthandelsanteile auf dem Weltmarkt zu halten, könnte im Jahr 2030 der Umsatz im Bereich Cleantech in Baden-Württemberg im Rahmen eines optimistischen Szenarios auf rund 238 Milliarden Euro ansteigen. Sollte es aufgrund der zunehmenden Konkurrenz auf dem Weltmarkt und den gleichzeitig steigenden Transformationsanforderungen an die baden-württembergische Wirtschaft nicht gelingen, die starke Wettbewerbsposition auf den Cleantech-Märkten zu halten, so ist in einem verhaltenen Szenario mit sinkenden Welthandelsanteilen zu rechnen. Übertragen auf die Abschätzung des Cleantech-Marktpotenzials, wäre dies mit einer Halbierung des Welthandelsanteils bis 2030 verbunden. Das Umsatzpotenzial in den Cleantech-Leitmärkten für Baden-Württemberg im Jahr 2030 würde dann rund 150 Milliarden Euro betragen²⁸ (Abbildung 9).

Der aufgespannte Szenarienraum zwischen *verhaltener* und *optimistischer Szenariovariante* zeigt einerseits auf, dass im Fall einer zurückhaltenden Entwicklung des Cleantech-Bereichs für Baden-Württemberg Cleantech-Technologien

auch zukünftig eine relevante Rolle für das Land einnehmen werden. Sollte es jedoch durch verstärkte Aktivitäten durch das Land und die baden-württembergischen Unternehmen gelingen, die aktuelle Wettbewerbsposition zu halten und damit den optimistischen Wachstumspfad einzuschlagen, so kann Baden-Württemberg in Zukunft eine Vorreiterrolle in diesem Feld einnehmen und zunehmend noch stärker von nachhaltigen Technologien profitieren. Hierfür wird insbesondere auf die in Abschnitt 5 dargestellten Handlungsempfehlungen verwiesen.

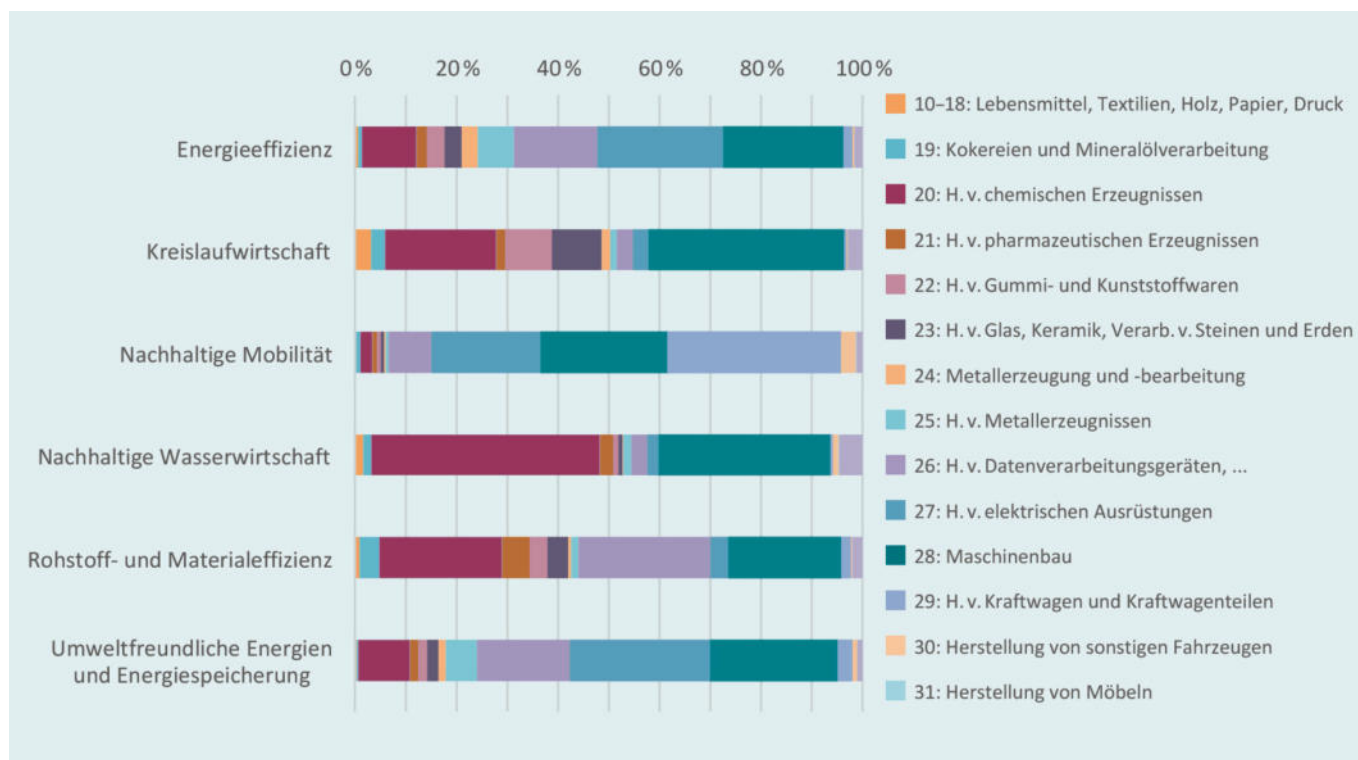
Synergiepotenziale

Aktivierung

Durch die Analyse der Beteiligung einzelner Wirtschaftszweige an Innovationsaktivitäten können sowohl etablierte Stärken als auch unerwartete Synergien für Cleantech in Baden-Württemberg hervorgehoben werden. Sie identifiziert innovative Wirtschaftszweige mit Zukunftspotenzial in Cleantech-Leitmärkten und liefert Ansätze, um bestehende Strukturen für neue Geschäftsfelder zu erschließen.

²⁸ Die Vorgehensweise zur Ermittlung zukünftiger Wachstumspotenziale für Baden-Württemberg wurden bereits in mehreren Studien des ZSW verwendet sowie mit Branchenexpert_innen diskutiert und validiert, z. B. zur Ermittlung der Umsatz- und Beschäftigungspotenziale für die baden-württembergische Industrie durch die Produktion von Elektrolysesystemen und -komponenten im Rahmen des Projekts „Elektrolyse made in Baden-Württemberg“. Eine Halbierung der Welthandelsanteile wurde in diesen Expertengesprächen als eher realistische Variante für die Entwicklung von zukünftigen ökonomischen Potenzialen erachtet.

²⁹ Aus methodischen Gründen musste für die Abschätzung der Umsatzpotenziale der Cleantech-Leitmärkte in Baden-Württemberg auf die Werte für das Jahr 2020 zurückgegriffen werden, da die den Szenarien zugrundeliegenden Referenzen die Entwicklung der Cleantech-Märkte von 2020 auf 2030 betrachten. Der aktuellste zur Verfügung stehende Umsatz der Cleantech-Leitmärkte in Baden-Württemberg liegt für das Jahr 2022 vor und beträgt knapp 119 Milliarden Euro.



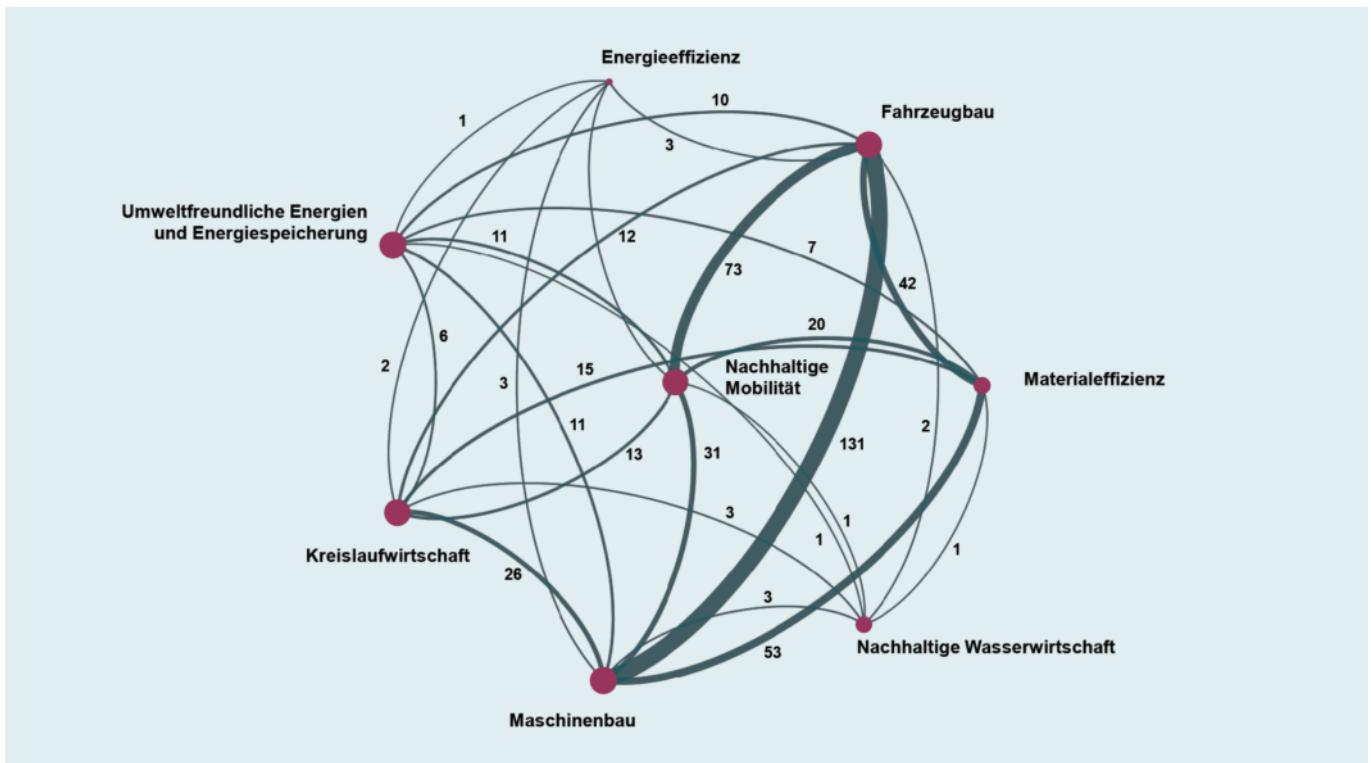
Quelle: Europäisches Patentamt (2024)

Aus Abbildung 10 wird ersichtlich, dass insbesondere der **Maschinenbau** einen breiten Einsatz in sämtlichen Leitmärkten zeigt und damit vielfältige Einsatzmöglichkeiten aufweist. Mit Ausnahme des Leitmarkts **Nachhaltige Mobilität** zeigt sich zudem auch der **Chemiebereich** in den Leitmärkten als äußerst gut einbindbar. Insbesondere in der **Nachhaltigen Wasserwirtschaft** spielt dieser Wirtschaftszweig eine bedeutende Rolle. **Elektronik** ist besonders bei **Energieeffizienz**, **Nachhaltiger Mobilität** und **Umweltfreundlichen Energien** vertreten. Mit Kompetenzen in **Digitalisierung und Sensorik** fungiert die Branche als zentraler Treiber für **smarte Technologien**. **Elektrische Ausrüstungen** sind stark im Bereich **Energieeffizienz** und **Umweltfreundlicher Energien** präsent. Die Branche bietet insbesondere Potenziale für **Energiemanagement** und **Speicherlösungen**. Branchen wie **Kunststoffverarbeitung** und **Glas/Keramik** sind überraschend aktiv in der **Kreislaufwirtschaft**. Sie könnten durch geschlossene Stoffkreisläufe, innovative Materialkonzepte, recycelbare Produkte sowie nachhaltige Produktdesigns neue Geschäftsfelder erschließen. **Metallerzeugnisse** zeigen vor allem im Leitmarkt **Energieeffizienz** relevante Aktivitäten. Diese Branche könnte beispielsweise durch die Entwicklung nachhaltiger und energieeffizienter Komponenten für **Gebäudetechnik** oder **Maschinenbau** stärker in den Cleantech-Bereich eingebunden werden.

Vernetzung

Aufgrund der steigenden Komplexität von Innovationsprozessen, die ein einzelnes Unternehmen oder eine Forschungseinrichtung allein kaum noch bewältigen kann, vollziehen sich Innovationsprozesse zunehmend in Netzwerkstrukturen. Innovationen erfordern häufig interdisziplinäres Wissen, den Zugriff auf vielfältige Ressourcen und die Fähigkeit, schnell auf Marktveränderungen zu reagieren. Zudem sind Märkte global vernetzt und Kundenanforderungen werden differenzierter. Diese Dynamik führt dazu, dass Unternehmen und Forschungseinrichtungen ihr Know-how erweitern und flexibel agieren müssen. Innovationsnetzwerke bieten hierbei den notwendigen Rahmen, um Wissen und Ressourcen zu teilen, Synergien zu nutzen und gemeinsam innovative Lösungen zu entwickeln.

Für Unternehmen aus traditionellen Branchen, etwa dem Maschinen- und Fahrzeugbau, ist die Einbindung in technologieübergreifende Innovationsnetzwerke förderlich, wenn sie in Cleantech-Leitmärkte diversifizieren wollen. Cleantech erfordert nicht nur technisches Verständnis, sondern auch Kenntnisse über regulatorische Rahmenbedingungen, Finanzierungsmodelle und Markttrends. Durch die Zusammenarbeit können Kompetenzen schneller aufgebaut und Markteintrittsbarrieren überwunden werden. Die Teilnahme an Innovationsnetzwerken ermöglicht es Unternehmen, frühzeitig von neuen Entwicklungen zu profitieren und sich wettbewerbsfähig zu positionieren. Forschungseinrichtungen wiederum können durch die Kooperation mit



Knoten kennzeichnen einen Leitmarkt oder Industriezweig, Linien stehen für Zusammenarbeit und technologische Verflechtung der Bereiche.

der Industrie ihre Forschungsergebnisse praxisnah anwenden und erhalten Zugang zu finanziellen Mitteln und Marktdaten. Insgesamt fördern Innovationsnetzwerke die Entstehung von Ökosystemen, in denen Innovationen umgesetzt werden können.

Dazu kommt: Erfolgreiche wirtschaftliche und technologische Transformationsprozesse verlaufen in der Regel nicht zufällig, sondern entlang von Aktivitäten, die sich mit bestehenden Fähigkeiten und Kompetenzen einer Region überschneiden. Je ähnlicher neue Aktivitäten den bestehenden Kompetenzen (sog. technologische und industrielle Verwandtschaft; englisch: Related Variety) sind, desto höher ist oftmals die Wahrscheinlichkeit, dass sie erfolgreich etabliert werden können. Der Grad der technologischen Verwandtschaft bezieht sich dabei auf die Ähnlichkeiten zwischen den technischen Anforderungen oder der Nutzung bestehender Technologien. Industrielle Verwandtschaft konzentriert sich auf Wertschöpfungsketten, in denen bestehende Industrien Wissen oder Ressourcen mit neuen Industrien teilen können.³⁰ Regionen mit einer hohen Konzentration von verwandten Aktivitäten haben eine bessere Ausgangslage, um neue Technologien und Industrien zu entwickeln. Der Erfolg neuer Industrien hängt deshalb auch von der Fähigkeit der Regionen ab, ihre vorhandenen Stärken zu nutzen und gezielt in verwandte Bereiche zu diversifizieren.

Wir analysieren die Verwandtschaft zwischen den in Baden-Württemberg besonders wichtigen Clustern Fahrzeugbau und Maschinenbau, indem wir untersuchen, wie intensiv diese über gemeinsame Unternehmen mit den Cleantech-Leitmärkten verbunden sind. Wir konzentrieren uns dabei auf den Forschungsbereich, der sowohl Unternehmen als auch Forschungseinrichtungen umfasst.³¹

Die Analyse (Abbildung 11) zeigt ein deutliches Bild der Vernetzung und damit Verwandtschaft zwischen den verschiedenen Leitmärkten. Die Netzwerkanalyse veranschaulicht, wie stark verschiedene Wirtschafts- und Technologiebereiche in Baden-Württemberg miteinander verbunden sind. In der Grafik wird dies durch Knoten (Punkte) und Verbindungen (Linien) dargestellt. Jeder Knoten steht für einen bestimmten Cleantech-Leitmarkt oder einen Industriezweig, während die Linien die Zusammenarbeit und technologische Verflechtung zwischen diesen Bereichen verdeutlichen. Die Analyse der Forschungsk Kooperationen ergibt, dass es in Baden-Württemberg enge Verbindungen zwischen den etablierten Kernindustrien des Landes – insbesondere Maschinenbau und Fahrzeugbau – und den Cleantech-Leitmärkten gibt. Die Grafik macht sichtbar, dass Unternehmen aus diesen Industriezweigen häufig

³⁰ Asheim et al. (2011); Hidalgo et al. (2018).

³¹ Datenbasis für die Untersuchung ist der Förderkatalog des Bundes unter Betrachtung des Landes Baden-Württemberg im Zeitraum 2018 bis 2022. Insgesamt konnten 1701 Projekte mit Cleantech-Bezug identifiziert und nach den Leitmärkten aufgeteilt werden. Verknüpfungen entstehen dann, wenn ein Akteur mindestens in zwei Projekten aktiv war, die unterschiedlichen Leitmärkten zuzuordnen sind.

nicht isoliert arbeiten, sondern durch gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten stark miteinander vernetzt sind.

Besonders ausgeprägte Verbindungen bestehen zwischen Fahrzeugbau und nachhaltiger Mobilität: Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus der Automobilbranche arbeiten intensiv an innovativen Lösungen für umweltfreundliche Antriebstechnologien. Ebenso zeigt sich eine starke Verzahnung zwischen Maschinenbau und Materialeffizienz – etwa bei der Entwicklung ressourcenschonender Fertigungstechnologien, effizienter Recyclingprozesse und digital unterstützter Produktionsmethoden. Je dicker eine Linie ist, desto intensiver sind die gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten zwischen den Bereichen. Dünner Linien deuten hingegen auf eine noch geringere, aber dennoch bestehende Zusammenarbeit hin. Die Vernetzung zeigt, dass Cleantech-Innovationen häufig nicht isoliert entstehen, sondern aus der engen Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft resultieren.

Bedeutung von Standards für Cleantech

Ein **technischer Standard** umfasst eine „Reihe von technischen Spezifikationen, Anforderungen, Leitlinien oder Merkmalen, die einheitlich verwendet werden können, um sicherzustellen, dass Materialien, Produkte, Verfahren und Dienstleistungen für ihren Zweck geeignet sind“.³⁵ Als Beispiele seien an dieser Stelle die Maße von Schiffscontainern, die Spurweite von Eisenbahnschienen, die Form von Steckdosen oder die Stromspannung genannt.³⁶ Standards können von Standardisierungseinrichtungen wie der ISO (International Organization for Standardization) festgelegt werden. Wenn eine bestimmte Spezifikation breite Marktakzeptanz gewinnt, wird sie oft zu einem *de facto* technischen Standard. Die Mehrheit der Standards wird jedoch durch Verhandlungen zwischen Unternehmen, Wissenschaftler_innen, Standardisierungsbehörden sowie staatlichen Stellen entwickelt. Dieser Prozess erfolgt häufig deliberativ (und manchmal gesetzlich vorgeschrieben) und wird als *De-jure*-Standard bezeichnet. Bei *De-facto*-Standards werden Produkte vor der Standardisierung auf den Markt gebracht, während bei *De-jure*-Standards die Standardisierung vor der Kommerzialisierung stattfindet. Technische Standards vereinfachen erheblich den Entwicklungs- und Designprozess von Systemkomponenten und fördern die Komplementarität von Teilsystemen, was die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien erleichtert.

Beispiele für Aktivierungen etablierter Unternehmen für Cleantech

Ein Beispiel für einen erfolgreichen Industriedialog zur Aktivierung etablierter Unternehmen für den Bereich Zukunftstechnologien stellt das Projekt **Elektrolyse made in Baden-Württemberg** dar, das vom Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Tourismus gefördert wurde.³² Im Rahmen des Vorhabens bestand für Unternehmen die Möglichkeit, sich über die aktuellen Entwicklungen im Kontext Elektrolyse zu informieren und sich dadurch ausführlich über die technologiespezifischen Anforderungen der Elektrolysesysteme und -komponenten bzw. Baugruppen sowie entsprechende Marktpotenziale beraten zu lassen. Über 70 vorwiegend baden-württembergische

Unternehmen haben sich an dem Industriedialog beteiligt. Der Industriedialog wird im Rahmen der Modellregion H₂-GeNeSis fortgeführt.

Ein vergleichbarer Industriedialog zur Aktivierung von Unternehmen für eine neue Zukunftstechnologie findet auch im Projekt **Direct Air Capture made in Baden-Württemberg** statt.³³ Hierbei werden interessierte Unternehmen hinsichtlich der technologischen Anforderungen an Bauteilen und Teilsystemen der Direct Air Capture Technologie beraten und qualifiziert. Zugleich soll die Produktentwicklung initiiert und eine Vernetzung von Unternehmen angeregt werden.

Als ein weiteres Beispiel kann die Initiative **Eureka** des DLR Projektträgers genannt werden.³⁴ Die europäische Initiative soll anwendungsorientierte und grenzüberschreitende Forschungs- und Entwicklungsprojekte anstoßen und damit die europäische Wettbewerbsfähigkeit auf dem Weltmarkt stärken. Schwerpunkte der Projektlandschaft, die insbesondere den Bereich Cleantech adressieren, sind u. a. Energie, Umwelttechnologien und Materialforschung. Ein Unterstützungsbüro berät Unternehmen und Forschungseinrichtungen bei der Antragstellung und Finanzierung von innovativen Projekten.

³² „Elektrolyse made in Baden-Württemberg“ (2023).

³³ „Direct air capture made in Baden-Württemberg“ (2024).

³⁴ Eureka – Die europäische Initiative für marktnahe Forschung und Entwicklung. <https://www.eureka.dlr.de/35> NSB (2018).

³⁵ Übersetzt nach NSB (2018).

³⁶ Seaman (2020).

Standards bieten damit eine Vielzahl von Vorteilen, darunter: Reduktion der Transaktionskosten durch bessere Anerkennung technischer Merkmale und Vermeidung von Käuferunzufriedenheit; physische Einsparungen durch vereinfachtes Design, Produktionsökonomien und leichtere Wartung; Vorteile für Käufer_innen durch Austauschbarkeit von Anbietern, bessere Gebrauchtmärkte und Ersatzteilversorgung sowie gesteigerten Wettbewerb unter Verkäufer_innen.³⁷ Standards können als Basisspezifikationen betrachtet werden, auf deren Grundlage andere Technologien oder Methoden entwickelt werden, was zu Lock-in-Effekten

und Pfadabhängigkeiten für zukünftige Produkte und technologische Entwicklungen führt. Die Festlegung von Standards kann von Nutzen sein, aber auch erhebliche Auswirkungen darauf haben, welche Technologien künftige Märkte dominieren werden. Damit können sie denjenigen, die standardisierte Technologien am besten beherrschen, erhebliche Vorteile verschaffen.³⁸ Standards spielen auch im Cleantech-Bereich eine wichtige Rolle, insbesondere im Rahmen einer globalen Innovationsstrategie. Durch die Etablierung von Kompatibilitätsstandards können hier Netzwerkeffekte realisiert werden.³⁹

Beispiele für Standards im Bereich Cleantech

Infrastruktur für nachhaltige Mobilität (z. B. Ladesäulen für Elektrofahrzeuge): Bei der Entwicklung von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge sind Standards notwendig, um eine einheitlich zugängliche Ladeinfrastruktur sicherzustellen. Diese Standards ermöglichen die Interoperabilität zwischen verschiedenen Fahrzeugtypen und Ladesystemen, was entscheidend für die Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen ist (Beispiel: Ladestecker und Kommunikation zwischen Fahrzeug und Ladesäule (de jure), Softwareprotokolle für Datenaustausch (de facto)).

Nachhaltige Mobilitätskonzepte (z. B. Carsharing, Fuhrparkmanagement): Standards zur Datenübertragung und -sicherheit sind hier entscheidend, um die

Systeme nahtlos in Verkehrsinfrastrukturen und Abrechnungssysteme zu integrieren. Diese Standards sorgen auch für die Interoperabilität zwischen verschiedenen Anbietern und Fahrzeugflotten (Beispiel: IT-Sicherheitsmanagement (de jure), offene Schnittstellen (de facto)).

Rezyklate und Kunststoffverarbeitung (z. B. DIN SPEC 91446): Standards zur Klassifizierung von Kunststoffrezyklaten sind entscheidend, um die Qualität und Verarbeitbarkeit recycelter Materialien sicherzustellen. Durch normierte Kategorien für Herkunft, Zusammensetzung und Reinheit werden industrielle Anwendungen erleichtert und die Akzeptanz von Rezyklaten in der Produktion wird gesteigert. Dies trägt dazu bei, Recyclingprozesse effizienter zu gestalten und die Kreislaufwirtschaft im Bereich der Kunststoffverarbeitung zu fördern (Beispiel: Klassifizierung von Kunststoffrezyklaten (de jure), Zertifizierungssystem (de facto)).

Gelingt es Unternehmen, frühzeitig Standards in neuen Technologiefeldern zu setzen, können diese als First Mover ihre Wettbewerbsstellung stärken. In der Vergangenheit waren hier vor allem Unternehmen aus den USA, Japan und Europa aktiv und konnten entsprechende Vorteile generieren. China hat dieses Feld nun ebenfalls entdeckt und wird selbst oder über chinesische Unternehmen aktiv.

Diese Entwicklung stellt eine zunehmende Herausforderung für deutsche oder baden-württembergische Unternehmen dar, gerade in neuen Technologiefeldern aus dem Bereich Cleantech. Denn sind Standards erst einmal festgelegt, entstehen für Unternehmen, die bislang außerhalb des Standards tätig waren, Mehrkosten.

³⁷ Dodgson (2008).

³⁸ Seaman (2020).

³⁹ Gregoire-Zawilski and Popp (2024).

Zukünftige Entwicklungen und Szenarien

Die verschiedenen Cleantech-Leitmärkte entwickeln sich sehr dynamisch. Um aktuelle Entwicklungspotenziale aufzuzeigen, werden in diesem Abschnitt technologische Trends und Innovationen dargestellt. Diese Entwicklungen spiegeln sich auch in veränderten Anforderungen an die benötigten Fachkräfte zur Herstellung von Cleantech-Produkten wider. Es wird deshalb erläutert, welche Qualifikationsanforderungen für die Cleantech-Leitmärkte bestehen und inwiefern Fort- und Weiterbildungsbedarf für den bestehenden Fachkräftepool existiert. Schließlich werden die Ergebnisse einer SWOT-Analyse zur Identifizierung der Stärken und Schwächen Baden-Württembergs für Cleantech dargestellt und es wird auf bestehende Chancen und Herausforderungen hingewiesen.

Technologische Trends und Innovationen

Die Skizzierung der technologischen Trends und Innovationen der Cleantech-Leitmärkte erfolgt anhand einer Patentanalyse. Dies wird ergänzt um eine Skizzierung der Rolle von Künstlicher Intelligenz. Die fortschreitende Entwicklung von KI-Anwendungen bietet auf der einen Seite Chancen für neue und weiterentwickelte Produkte im Bereich von Cleantech (und darüber hinaus). Auf der anderen Seite ändern sich Anforderungen in Innovations- und Anforderungsprozessen.

Innovationspotenziale in den Leitmärkten

Die Analyse wachstumsstarker Patentklassen in den Cleantech-Leitmärkten zeigt unterschiedliche technologische Schwerpunkte. Während nach wie vor etablierte Technologien weiterentwickelt werden, gewinnen innovative Ansätze zunehmend an Bedeutung.

Für den Leitmarkt der **Energieeffizienz** sind Brennstoffzellen weiterhin ein zentraler Innovationsbereich mit erkennbarem Wachstum, insbesondere in Hinblick auf Effizienz und Herstellung. Additive Fertigung ermöglicht neue Anwendungen, auch in der Energietechnik, während energieeffiziente Informations- und Kommunikationstechnologien die Digitalisierung vorantreiben.

Im Bereich der **Kreislaufwirtschaft** fallen die Wachstumsraten moderater aus, dennoch sind technologische Schwerpunkte erkennbar. Trennverfahren für das Recycling sind ein wachsender Bereich, der für effizientere Materialkreisläufe essenziell ist. Auch die Entwicklung neuer Zusammensetzungen für Beton deutet auf verstärkte Bestrebun-

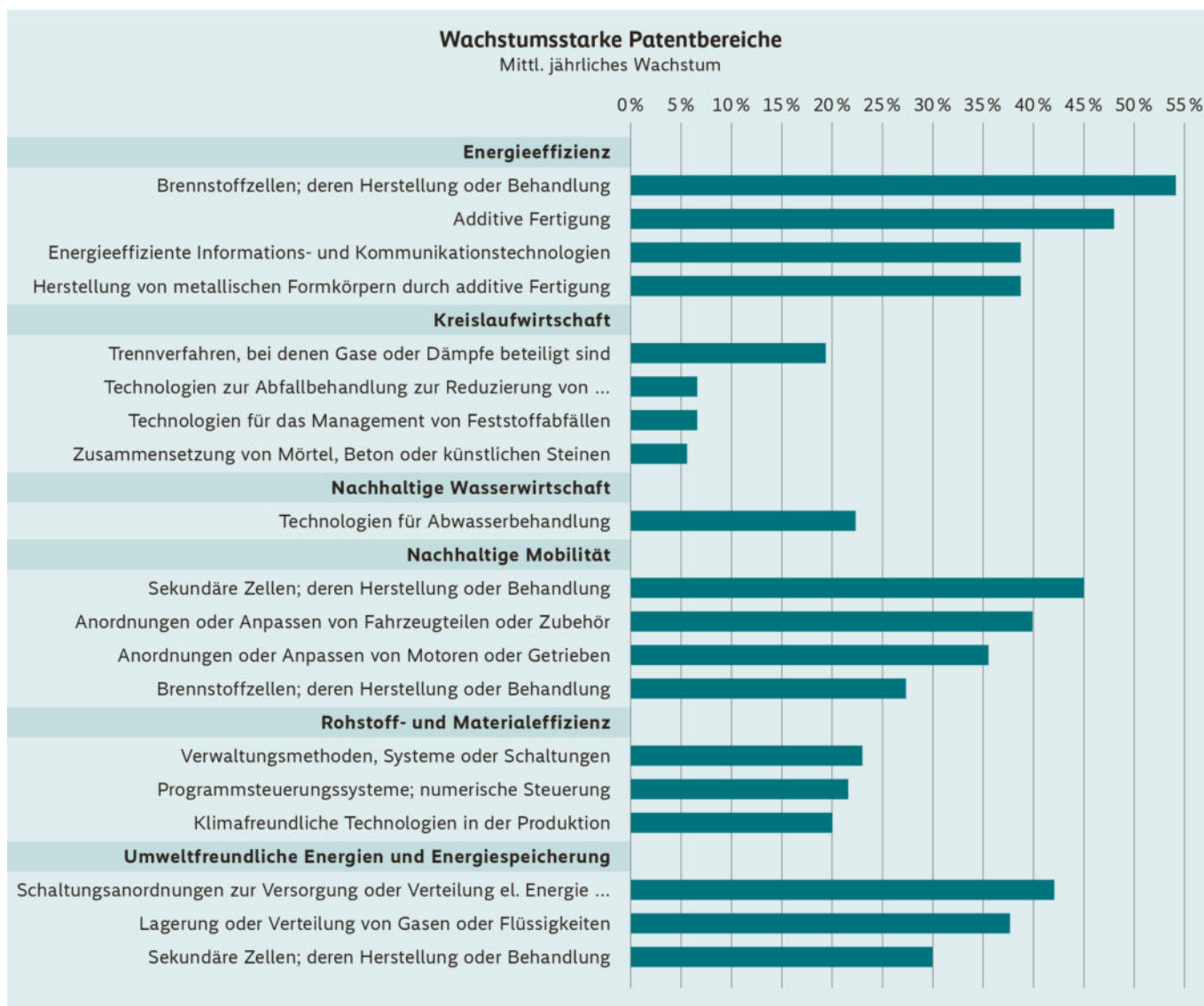
gen der Zementindustrie hin, die CO₂-Emissionen zu reduzieren und den Einsatz alternativer Materialien zu fördern. Technologien zur Abfallbehandlung und Feststoffabfallbewirtschaftung zeigen eine kontinuierliche Weiterentwicklung wesentlicher, etablierter Aspekte der Kreislaufwirtschaft.

Im Leitmarkt der **nachhaltigen Mobilität** ist ein breites Wachstum in unterschiedlichen Technologiebereichen erkennbar. So offenbaren sich einerseits mit einem mittleren Wachstum von 73 % starke Innovationsbestrebungen im Bereich stufenloser Getriebe (CVT, Continuously Variable Transmission), voraussichtlich im Kontext der Effizienzsteigerung bestehender und hybrider Antriebssysteme. Mit der Herstellung und Behandlung von wiederaufladbaren Batterien ist auch die Elektromobilität als wesentlicher Wachstumsbereich erkennbar. Brennstoffzellen und die Optimierung von Fahrzeugkomponenten sind ebenfalls durch ein relativ starkes Wachstum geprägt.

Bei der **Rohstoff- und Materialeffizienz** betonen insbesondere Entwicklungen in den Bereichen Verwaltungssysteme, Programmsteuerungssysteme und klimafreundliche Produktionstechnologien die wachsende Bedeutung der Digitalisierung und Ressourcenschonung in der Produktion. Im Leitmarkt **umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung** zeigen sich Wachstumstendenzen insbesondere in den Bereichen Energiespeicherung und -verteilung. Mit Schaltungsanordnungen zur Energieverteilung (mittleres Wachstum von 42 %) und Technologien zur Speicherung von Gasen und Flüssigkeiten (mittleres Wachstum von 38 %) stehen hier insbesondere Technologien im Fokus, die essenziell für die Energieinfrastruktur sind. Die Ergebnisse spiegeln eine Mischung aus kontinuierlicher Weiterentwicklung etablierter Technologien und Entwicklung innovativer Ansätze wider. Besonders dynamisch entwickeln sich dabei Technologien, die Effizienzgewinne oder eine Reduzierung von Emissionen ermöglichen.

Künstliche Intelligenz

Die Einsatzmöglichkeiten von Künstlicher Intelligenz (KI) im Bereich von Cleantech sind sehr vielfältig. Grundsätzlich lassen sich vier Bereiche voneinander unterscheiden: Produktentwicklung; Produkte und Systeme; Fertigung sowie Kundenservice. Durch ihre vielfältigen Anwendungsfelder ermöglicht KI sowohl Effizienzsteigerungen als auch die Entwicklung innovativer Lösungen. Nachfolgend werden Beispiele des Einsatzes von KI in den Cleantech-Leitmärkten skizziert:



Rohstoff- und Materialeffizienz

Optimierung von Produktionsprozessen: Mithilfe von maschinellem Lernen werden Materialverbrauchsmuster analysiert und Produktionsabläufe so angepasst, dass Abfall minimiert wird. Produktionsdaten werden durch Sensoren gesammelt und mit Reinforcement-Learning-Algorithmen optimiert. Digital Twins simulieren Produktionsprozesse, sodass Änderungen zunächst virtuell getestet werden können.

Materialforschung: KI identifiziert neue, nachhaltige Materialien, indem sie große Datenmengen aus Laborstudien analysiert und chemische Reaktionen simuliert. Machine-Learning-Algorithmen erkennen Materialkombinationen oder Eigenschaften, während Graph Neural Networks (GNNs) chemische Bindungen und Reaktionen modellieren.

Nachhaltige Wasserwirtschaft

Wasserverteilung: KI nutzt Sensor- und IoT-Daten, um Verteilungsnetze effizienter zu steuern, Verluste zu minimieren und den Wasserverbrauch präziser vorherzusagen. Sensoren erfassen in Echtzeit Daten wie Druck, Durchfluss und Verluste, während KI ineffiziente Bereiche oder Lecks erkennt und Optimierungsvorschläge generiert.

Nachhaltige Mobilität

Verkehrssteuerung: Verkehrsüberwachungssysteme analysieren mithilfe von Kameradaten (Computer Vision) z. B. Bewegungsmuster von Fahrzeugen in Echtzeit. Reinforcement-Learning-Modelle optimieren die Steuerung von Ampelschaltungen und Verkehrsflüssen, wodurch Staus und Emissionen reduziert werden.

Energieeffizienz

Energiemanagement: KI analysiert historische Energieverbrauchsdaten, erkennt Muster und Einsparpotenziale und

⁴¹ Eigene Darstellung basierend auf der PATSTAT-Datenbank Europäisches Patentamt (2024) sowie Dörr (2022).

reagiert frühzeitig auf Lastspitzen. Durch Anomalieerkennung können Verbrauchsabweichungen, beispielsweise durch Defekte, identifiziert werden.

Gebäudemanagement: Intelligente KI-Systeme steuern Energie in Gebäuden effizient, indem sie Heiz- und Kühlsysteme an Bewohnergewohnheiten und Außentemperaturen anpassen. Mithilfe dynamischer Steuerung der Heizkreisläufe lassen sich der Energieverbrauch optimieren und Kosten senken, ohne den Nutzerkomfort zu beeinträchtigen.

Kreislaufwirtschaft

Abfallmanagement: KI automatisiert Mülltrennung mithilfe von Computer Vision und steigert dadurch die Recyclingquote. Bildanalyse-Modelle (z. B. CNNs) klassifizieren Abfalltypen in Recyclingzentren, während KI-gesteuerte Roboterarme präzise sortieren. KI-Technologien, wie generatives Design und Simulationstools, ermöglichen es, nachhaltige und effizientere Produkte zu entwickeln. So können generative Algorithmen eingesetzt werden, um Produkte bereits in der Designphase für das Recycling zu optimieren.

Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung

Vorhersage von Energieerzeugung: KI prognostiziert präzise die Erzeugung aus erneuerbaren Quellen wie Wind und Sonne. Dazu analysieren KI-Modelle historische Wetterdaten, Satellitenbilder und Erzeugungsmuster, was die Netzstabilität verbessert.

Netzmanagement: Mithilfe von KI können Stromnetze effizient und flexibel gesteuert werden: Virtuelle Nachbildungen des Stromnetzes (Digital Twins) simulieren die Auswirkungen von Steuerungsmaßnahmen, bevor diese umgesetzt werden, während Reinforcement-Learning-Algorithmen lernen, Lasten dynamisch zu verteilen und flexibel auf Schwankungen zu reagieren. Zusätzlich ermöglichen Anomalieerkennungsmodelle die Identifizierung von Problemen wie plötzlichen Lastspitzen, Spannungsschwankungen oder Netzininstabilitäten.⁴²

Predictive Maintenance (vorausschauende Wartung): Die KI identifiziert frühzeitig potenzielle Fehler in Maschinen, um Ausfallzeiten zu minimieren, etwa bei der Wartung von Windkraftanlagen.⁴³

Die skizzierten vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von KI in allen Cleantech-Leitmärkten zeigen, dass KI-Technologien eine wichtige Rolle dabei spielen, um bei Cleantech Produkten technologisch wettbewerbsfähig zu sein. Viele KI-Anwendungen im Cleantech-Bereich entstehen gerade an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Start-ups und Forschungseinrichtungen spielen dabei eine zentrale Rolle. Der Einsatz von KI erfordert große Mengen hochwertiger Daten, teilweise in Echtzeit. Um Cleantech-

Technologien weiter zu optimieren, müssen Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Behörden gemeinsam an der Bereitstellung und Standardisierung von Daten arbeiten. Datenplattformen und gemeinsame KI-Trainingsdatensätze könnten die Anwendungsentwicklung in Cleantech erheblich beschleunigen. Der Einsatz von KI im Bereich Cleantech setzt qualifizierte Fachkräfte mit Kompetenzen in den Bereichen Datenanalyse, Machine Learning und nachhaltige Technologieentwicklung voraus. Der Fachkräftemangel könnte sich auch hier als limitierender Faktor erweisen, wenn nicht gezielt in Ausbildung und Weiterqualifikation investiert wird.

Qualifikationsanforderungen und Weiterbildungsbedarf

Trotz momentaner konjunktureller Schwäche der Weltwirtschaft klagen viele Unternehmen über Fachkräftemangel.⁴⁴ Das dynamische Wachstum der Cleantech-Leitmärkte führt zu einem steigenden Bedarf an Fachkräften und spezifischen Qualifikationen. Cleantech bietet das Potenzial, dass Arbeitskräfte, die bei der Herstellung sowie in Forschung und Entwicklung von Produkten in den etablierten Industrien keine passende Beschäftigung mehr finden, mit ihren Kompetenzen auf eine steigende Nachfrage nach Arbeitskräften bei Cleantech-Produkten stoßen. Dadurch lässt sich ein Teil des neuen Fachkräftebedarfs decken. Allerdings konkurrieren Unternehmen der Cleantech-Leitmärkte (teilweise) um dieselben Fachkräfte, sodass für sie die Verfügbarkeit von ausreichend Fachkräften eine besondere Herausforderung darstellt. Um dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken, hat die Fachkräfteallianz Baden-Württemberg Handlungsfelder identifiziert. Dazu zählen die Förderung der beruflichen Weiterbildung, die Integration von Menschen mit Migrationshintergrund und die gezielte Gewinnung internationaler Fachkräfte.⁴⁵

Besonders deutlich wird der Handlungsbedarf zur Gewinnung zusätzlicher Fachkräfte für die Cleantech-Leitmärkte, wenn der in Abschnitt 3.2 dargestellte Szenarienraum zur zukünftigen Entwicklung des Cleantech-Markts für die baden-württembergische Industrie zugrunde gelegt wird. Bei Betrachtung des verhaltenen Szenarios zur Realisierung bestehender Potenziale auf dem Weltmarkt für Cleantech-Technologien ist von einer Steigerung von 214 000 Beschäftigten im Jahr 2022 auf bis zu 270 000 Beschäftigten bis 2030 auszugehen. Kann aufgrund einer starken Position auf dem Weltmarkt das optimistische Szenario realisiert werden, ist ein nochmals deutlich verstärktes Wachstum der Beschäftigung auf 392 000 Beschäftigten zu erwarten. Neben einer entsprechenden internationalen Wettbewerbsfähigkeit der baden-württembergischen Wirtschaft ist zur

⁴² ZSW (2024b).

⁴³ Siemens (2024).

⁴⁴ Die Fachkräfteengpassanalyse der Bundesagentur für Arbeit weist 200 Engpassberufe aus, aus Bundesagentur für Arbeit (2024).

⁴⁵ AgenturQ – Agentur zur Förderung der beruflichen Weiterbildung in der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e. V. (2024); Fachkräfteallianz Baden-Württemberg (2016, 2022).

Leitmarkt	Kompetenzen	Relevante Berufsbilder
Energieeffizienz	Energiemanagement: Optimierung von Energieflüssen in Produktionsprozessen. Gebäudeenergieeffizienz: Planung energieeffizienter Gebäude. Smart Systems: Einsatz von IoT zur Steuerung energieeffizienter Geräte. Wirtschaftlichkeitsanalysen: Bewertung von Energieeinsparpotenzialen.	Energieberater/-in; Ingenieur/-in für Gebäudetechnik; Fachkraft für Energiemanagement; IoT-Entwickler/-in für Energieeffizienz; Wirtschaftsingenieur/-in mit Fokus auf Energieeffizienz
Kreislaufwirtschaft	Abfallmanagement: Prozesse zur Trennung, Wiederverwertung und Entsorgung. Recyclingtechnologien: Innovationen zur Wiederverwertung von Materialien. Prozessdesign: Entwicklung effizienter Kreisläufe. Umweltrecht: Kenntnisse in gesetzlichen Vorgaben und Normen.	Recyclingingenieur/-in; Umwelttechniker/-in; Prozessentwickler/-in für Kreisläufe; Fachkraft für Abfall- und Kreislaufwirtschaft; Umweltjurist/-in
Nachhaltige Mobilität	Elektrotechnik: Entwicklung und Optimierung alternativer Antriebssysteme. Infrastrukturplanung: Design von Ladesäulen- und Verkehrsnetzen. Softwareentwicklung: Steuerung und Vernetzung von Mobilitätslösungen. Umwelttechnik: Bewertung von CO ₂ -Emissionen und Umweltverträglichkeit.	Fahrzeugingenieur/-in mit Schwerpunkt Elektromobilität; Verkehrsplaner/-in; Softwareentwickler/-in für Mobilitätsanwendungen; Mechatroniker/-in für alternative Antriebe; Infrastrukturmanager/-in
Nachhaltige Wasserwirtschaft	Wassertechnologie: Expertise in Wasseraufbereitung und -management. Hydrologie: Verständnis von Wasserkreisläufen und -ressourcen. Digitalisierung: Automatisierung und Steuerung von Wasserinfrastrukturen. Projektmanagement: Planung und Umsetzung von Infrastrukturprojekten im Wasserbereich.	Ingenieur/-in für Wasser- und Umwelttechnik; Hydrologe/-in; Prozesssteuerer/-in in Wasseraufbereitungsanlagen; GIS-Spezialist/-in für Wasserressourcenmanagement; Bauingenieur/-in für Infrastrukturprojekte
Rohstoff- und Materialeffizienz	Materialwissenschaften: Entwicklung und Anwendung neuer, nachhaltiger Materialien. Prozessoptimierung: Implementierung effizienter Produktionsverfahren (Industrie 5.0). Umweltmanagement: Kenntnisse in umweltfreundlichen Fertigungsprozessen und nachhaltigem Design. Datenanalyse: Einsatz von Künstlicher Intelligenz zur Effizienzsteigerung in der Produktion.	Materialwissenschaftler/-in; Ingenieur/-in für Produktions- und Verfahrenstechnik; Nachhaltigkeitsmanager/-in; Prozessoptimierer/-in; Produktdesigner/-in mit Fokus auf Nachhaltigkeit
Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung	Erneuerbare Energien: Planung und Implementierung von Fotovoltaik-, Wind- und Wasserkraftanlagen. Speichertechnologie: Entwicklung von Batterie- und Wasserstoffspeichern. Netztechnik: Kenntnisse über intelligente und effiziente Netze. Energiewirtschaft: Analyse von Markttrends und Energiepreismodellen.	Ingenieur/-in für erneuerbare Energien Elektroingenieur/-in für Speichertechnologien; Netzplaner/-in für intelligente Stromnetze; Projektmanager/-in für Energieprojekte; Energiewirtschaftler/-in

Abschöpfung der ökonomischen Potenziale auf den Cleantech-Leitmärkten die Sicherstellung von ausreichend Fachkräften somit eminent.

Tabelle 1 gibt einen beispielhaften Überblick über Kompetenzen und die zugehörigen Berufsbilder, die in den sechs

Leitmärkten nachgefragt werden.⁴⁶ Neben den skizzierten Kompetenzen und Berufsbildern spielen Querschnittkompetenzen aus dem Bereich Digitalisierung und Künstliche Intelligenz eine wichtige Rolle.

⁴⁶ Basierend auf Bauer et al. (2021).

SWOT-Analyse der Cleantech-Leitmärkte

Um die Stärken und potenziellen Risiken für Baden-Württemberg hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Cleantech-Technologiefelder ermitteln zu können, wurde im Rahmen des Projekts eine interdisziplinäre SWOT-Analyse durchgeführt. Die SWOT-Analyse zeigt ein vielschichtiges Bild aus verschiedenen Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken, die für Baden-Württemberg bzw. die baden-württembergische Wirtschaft und Industrie identifiziert wurden. Dabei lassen sich zentrale Themenfelder zusammenfassen, die die zukünftige Entwicklung der Leitmärkte maßgeblich beeinflussen können:

Wirtschaftliche und technologische Grundlagen: Baden-Württemberg profitiert von einer starken Wirtschafts- und Wissenschaftslandschaft mit international sichtbaren Weltmarktführern, innovativen Clustern und Netzwerken, integrierten Wertschöpfungsketten mit großer Fertigungstiefe sowie hohen Ausgaben für Forschung und Entwicklung. Diese solide Basis bietet Chancen für die Entwicklung neuer Technologien und die Integration von Innovationen wie KI in Cleantech-Anwendungen. Gleichzeitig stellen hohe Kosten für Forschung und Entwicklung sowie lange Entwicklungszyklen eine Herausforderung dar, insbesondere für KMUs, die oft Schwierigkeiten beim Zugang zu Investitionsmitteln haben. Zudem bleibt der Technologietransfer zwischen Forschung und Wirtschaft eine Herausforderung. Obwohl Baden-Württemberg über eine starke Forschungslandschaft verfügt, gelingt es nicht immer, innovative Ideen effizient in marktreife Produkte umzusetzen. Dies betrifft insbesondere Start-ups und KMUs, denen häufig die Ressourcen für den Übergang von der Forschung zur Kommerzialisierung fehlen. Eine besondere Stärke Baden-Württembergs ist jedoch die Ansiedlung von Forschungseinrichtungen, die an der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und industrieller Anwendung tätig sind.

Fachkräfte und Bildungslandschaft: Die gut ausgebildeten Fachkräfte in Baden-Württemberg bilden eine bedeutende Stärke der Cleantech-Leitmärkte. Allerdings könnte der demografische Wandel diese Stärke langfristig beeinträchtigen. Zudem gibt es immer mehr junge Menschen, die ohne Berufsabschluss dastehen. Die Zuwanderung von Fachkräften und die Weiterentwicklung von Bildungsprogrammen bieten Potenziale zur Schließung von Fachkräftelücken. Zudem ist es relevant, Fachpersonal, das in Bereichen beschäftigt ist, die zukünftig weniger Bedeutung für die Wirtschaft haben dürften, für neue Technologiefelder weiter- bzw. fortzubilden. Zugleich besteht eine Konkurrenz um Fachpersonal zwischen den verschiedenen Cleantech-Leitmärkten.

Regulierungs- und Förderlandschaft: Auf europäischer Ebene stellt der European Green Deal die übergeordnete europäische Strategie auf dem Weg zur Klimaneutralität dar. Der Net Zero Industry Act fungiert als ihre industriepolitische Umsetzung, indem dieser Investitionen anregen und bessere Bedingungen für den Cleantech-Markt in Euro-

pa schaffen soll. Der Clean Industrial Deal baut darauf auf und setzt die Rahmenbedingungen, um Klimaschutz und Wettbewerbsfähigkeit der Industrie gleichermaßen zu stärken. Zusammen bieten die verschiedenen EU-Regulierungen Anreize zur Förderung nachhaltiger Technologien. Die politische Unterstützung, etwa durch Programme wie Invest BW, schafft günstige Rahmenbedingungen für Innovationen. Gleichwohl behindern uneinheitliche Regulierungen, komplexe Genehmigungsverfahren sowie komplizierte und langwierige Fördermechanismen innerhalb der EU, Deutschlands und auch des Landes Baden-Württemberg die Markteinführung von Cleantech-Produkten. Der langsame Ausbau erneuerbarer Energien durch langwierige Planungs- und Genehmigungsprozesse bleibt ein bedeutendes Risiko. Zudem ist Risikokapital in Deutschland beispielsweise im Vergleich zu den USA relativ schlecht verfügbar. Der europäische Markt bietet darüber hinaus häufig nicht ausreichend Eigenkapitalfinanzierung, was die Skalierung innovativer Technologien hemmt.⁴⁷

Markchancen und internationale Wettbewerbsfähigkeit: Die wachsende internationale Nachfrage nach nachhaltigen Technologien bietet erhebliche Markchancen, was die Transformation der baden-württembergischen Wirtschaft zur Klimaneutralität erleichtern könnte (siehe Abschnitt 3). Gleichzeitig stellen massive Investitionen in Cleantech durch Länder wie die USA und China eine Bedrohung für die europäische Wirtschaft dar. Die beiden Länder setzen dabei auf starke staatliche Förderung – China in besonderem Maße auf sehr günstige Finanzierungsbedingungen. Zugleich investiert insbesondere China immer stärker in die Setzung von Standards (siehe zu den Standards auch Kapitel 3.4).⁴⁸ Diese aggressive Marktstrategie in Verbindung mit zunehmendem Protektionismus kann europäische Anbieter in ihrer Wettbewerbsfähigkeit einschränken. Der globale Wettbewerb und die sich verändernden Rahmenbedingungen auf dem Weltmarkt erfordern deshalb eine stärkere Koordination von Fördermaßnahmen innerhalb der EU, um die europäische Wettbewerbsfähigkeit und damit gleichzeitig auch die Position Baden-Württembergs als Cleantech-Standort zu sichern (siehe zu den Fördermaßnahmen des Landes Kapitel 2.3).

Strukturwandel und Ressourcenabhängigkeit: Der Wandel im Produktportfolio hin zu klimaneutralen Produkten, etwa der Umstieg von Verbrennungsmotoren auf Elektromobilität, erfordert umfassende Investitionen in Anlagen sowie Forschung und Entwicklung etablierter Unternehmen bei gleichzeitig geringer werdendem Marktvolumen bisheriger gewinnbringender Produkte. Dessen ungeachtet ist das Personal über Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen für die neuen Technologien zu qualifizieren. Risiken bestehen zudem hinsichtlich der Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen für die Herstellung nachhaltiger Produkte wie Lithium und Seltenen Erden, die zum größten Teil außerhalb

⁴⁷ European Investment Bank (2024).

⁴⁸ Seaman (2020).

der EU gewonnen werden müssen. Die Sicherstellung resilienter Lieferketten und die Reduktion der Rohstoffabhängigkeit sind entscheidend für den langfristigen Erfolg. Hierfür kommt dem Stellenwert von Rohstoffrecycling, der verstärkten Nutzung von rezykliertem Material und damit der Kreislaufführung von Rohstoffen eine steigende Bedeutung zu.

Akzeptanz und gesellschaftliche Rahmenbedingungen:

Die gesellschaftliche Akzeptanz für neue Technologien wie erneuerbare Energien und Elektromobilität ist entscheidend für die Umsetzung von Cleantech-Strategien. Widerstände gegen den Ausbau von Windkraft oder auch hemmende regulatorische Barrieren in der Kreislaufwirtschaft können die Transformation bremsen und damit die Realisierung des ökonomischen Potenzials durch Cleantech schwächen. So wurden in Baden-Württemberg im Jahr 2024 lediglich acht neue Windenergieanlagen installiert (bis Anfang Dezember 2024).⁴⁹ Gleichzeitig bergen geopolitische Entwicklungen wie Deglobalisierung und Protektionismus Risiken für die internationale Vernetzung und den Handel mit Cleantech-Technologien.

Start-ups: Start-ups⁵⁰ spielen eine bedeutende Rolle als Innovations- und Transformationsmotoren in der Cleantech-Entwicklung. Sie stehen für die praktische Übertragung neuer Technologien und Geschäftsmodelle in den Markt, übernehmen eine wichtige Funktion im Technologietransfer und beschleunigen die nachhaltige Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft. Cleantech-Start-ups zeichnen sich gerade im Vergleich zu konventionellen Gründungen durch eine stärkere Anbindung an Hochschulen und Forschungseinrichtungen aus. Diese Nähe bietet eine besondere Chance für Transfer und Kooperation, da so innovative Ideen aus der Wissenschaft schneller in den Markt gelangen. Zugleich kooperieren Cleantech-Start-ups häufiger mit etablierten Unternehmen, insbesondere im verarbeitenden Gewerbe und Hightech-Bereich, was zu schnelleren Innovationszyklen und einer effizienteren Skalierung beiträgt. Auch in Baden-Württemberg besteht ein vielfältiges Spektrum an jungen Unternehmen. Gleichwohl zeigen aktuelle Daten, dass das Bundesland im Vergleich zum Bundesschnitt noch Potenzial ungenutzt lässt: Zwischen 2018 und 2023 waren in Baden-Württemberg durchschnittlich 25 % der Start-ups „grün“ – damit liegt das Land zusammen mit Hamburg deutschlandweit am Ende der Rangliste. Die Spitzenreiter sind hier das Saarland und Mecklenburg-Vorpommern mit einem Anteil von 37 % bzw. 33 %. Zudem entfallen durchschnittlich nur 11 % der deutschen Cleantech-Start-ups auf Baden-Württemberg. Eine zentrale Her-

ausforderung für grüne Start-ups in Baden-Württemberg ist der erschwerte Zugang zu Wachstumskapital. Zwar sind Business Angels präsent, doch Venture-Capital-Finanzierungen werden seltener angestrebt und noch seltener realisiert als im Bundesschnitt. Angesichts der Kapitalintensität vieler Cleantech-Technologien hemmt dies das Wachstumspotenzial. Gleichzeitig zeigt der Green Start-up Monitor 2024, dass knapp über die Hälfte der grünen Start-ups sehr wohl ein schnelles Wachstum und hohe Marktanteile anstreben – sie wollen demnach ein „Scaling up“, stoßen aber auf Kapitallücken und in Teilen auch auf weniger ambitionierte regionale Investitionsbereitschaft.⁵¹

Zukünftige Entwicklung von Stärken und Schwächen der Cleantech-Leitmärkte in Baden-Württemberg

Die Cleantech-Leitmärkte in Baden-Württemberg verfügen über zahlreiche Stärken, darunter gut ausgebildete Fachkräfte und eine leistungsstarke Forschungslandschaft. Diese könnten jedoch in Zukunft unter Druck geraten. So stellt der demografische Wandel eine potenzielle Schwäche dar, da die Verfügbarkeit qualifizierter Arbeitskräfte langfristig sinken könnte. Gleichzeitig konkurrieren Cleantech-Unternehmen mit anderen zukunftsorientierten Branchen, was den Fachkräftemangel zusätzlich verschärfen könnte. Zusätzlich verschärft sich die Situation durch viele Schulabbrecher und Personen ohne Bildungsabschluss, die den potenziellen Bewerberpool weiter verkleinern.

Neue Technologien wie grüne Wasserstoffanwendungen, fortschrittliche Energiespeicher und die Integration von Künstlicher Intelligenz eröffnen erhebliche Potenziale für die Leitmärkte. Gleichzeitig ist jedoch zu beobachten, dass politische Schwerpunktsetzungen – etwa eine verstärkte Förderung von Kernenergie oder Kernfusion – zu einer Umverteilung von Ressourcen führen könnten. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass Investitionen und Forschungsaktivitäten, die ursprünglich für andere Cleantech-Technologien vorgesehen waren, in konkurrierende Technologien gelenkt werden. Dies kann zu Unsicherheiten im Investitionsumfeld beitragen und die Dynamik in bestimmten Bereichen der Cleantech-Entwicklung dämpfen. Zudem könnten Investitionen in die „Kernenergie der nächsten Generation“ als Signal wahrgenommen werden, zentralisierte Energiequellen zu bevorzugen, anstatt auf dezentrale, erneuerbare Energien zu setzen. Dieser Fokus könnte den Ausbau der Windkraft oder anderer nachhaltiger Energiequellen hemmen, was gerade in Baden-Württemberg mit seinem hohen Energiebedarf eine potenzielle Schwäche darstellt.

⁴⁹ LUBW (2024).

⁵⁰ „Start-ups sind junge innovative Unternehmen mit Wachstumsambitionen: Sie zeichnen sich durch ein innovatives Geschäftsmodell, ein innovatives Produkt oder eine innovative Dienstleistung aus. Außerdem haben sie Skalierungspotenzial, das heißt das Potenzial zu wachsen und sich zu entwickeln.“ (Deutscher Bundestag (2022))

⁵¹ Borderstep Institut (2024).

Stärken (intern)

- Starke Industrie mit vielen „Hidden Champions“ (Mittelstand) und breiter Maschinenbau-/Auto-Tradition als Sprungbrett für Cleantech.
- Exzellente Forschungslandschaft und hohe F&E-Investitionen (Unis, Institute, Cluster) unterstützen Innovationen.
- Gut ausgebildete Fachkräfte (duales System, Ingenieurtradition) und Kooperationskultur.
- Eng verzahnte Zuliefernetzwerke und Cluster fördern schnellen Wissens- und Technologietransfer.

Schwächen (intern)

- Fachkräftemangel in Schlüsselbereichen (IT, KI, GreenTech).
- Digitalisierungslücken und teils zu hohe F&E-Kosten, speziell für KMU.
- Langwieriger Transfer von Forschung in die Marktanwendung (Bürokratie, Finanzierungsprobleme).
- Lock-in-Effekte (starke Fokussierung auf bestehende Branchen, wenig Offenheit für Neues).

Chancen (extern)

- Wachsende Weltmarktnachfrage nach nachhaltigen Technologien (Klimawandel, Ressourcenschonung).
- Politischer Rückenwind (z. B. European Green Deal, Net Zero Industry Act, Clean Industrial Deal), der Investitionen in Cleantech ankurbelt.
- Zuwanderung als Option zur Linderung des Fachkräftemangels.
- KI und Digitalisierung als Hebel, um Effizienz und Produktivität in Cleantech-Prozessen zu steigern.

Risiken (extern)

- Intensiver internationaler Wettbewerb (USA, China) und Protektionismus gefährden Absatzmärkte.
- Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen (z. B. Seltene Erden, Lithium).
- Langwierige Genehmigungsverfahren und Investitionsrückstände (Infrastruktur), die neue Projekte ausbremsen.
- Mögliche Abnahme des gesellschaftlichen Klimaschutzwillens und Akzeptanzproblemen z. B. bei Windkraft oder E-Mobilität.

Eine ausführlichere Darstellung der SWOT-Analyse findet sich in Anhang 7 sowie die Indikatoren in Anhang 4.

5

Handlungsempfehlungen

Auf Basis der in den vorherigen Kapiteln erarbeiteten Ergebnisse werden nachfolgend Handlungsempfehlungen sowohl für die Landespolitik als auch für Unternehmen abgeleitet, die Hinweise zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Landes in den Cleantech-Leitmärkten geben sollen.

Strategische Empfehlungen für die Landespolitik

Baden-Württemberg steht vor der Herausforderung, seiner Wirtschaft in Zeiten der ökologischen Transformation durch eine aktive Industrie- und Forschungspolitik neue Impulse verleihen zu müssen. Diese Impulse sollten bestehende Wirtschaftsstrukturen anreizen, um etablierte und erfolgreiche Prozesse in nachhaltigere Produkte zu überführen und gesellschaftlichen Rückhalt für die klimaneutrale Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft langfristig zu sichern. Die Analyse des Profils der Cleantech-Leitmärkte in Baden-Württemberg am Beispiel des verarbeitenden Gewerbes hat gezeigt, dass diese das Potenzial für nachhaltiges Wachstum, die Sicherung von Arbeitsplätzen und die Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit bieten. Aufgrund der Heterogenität der einzelnen Leitmärkte ist es wichtig, neben generellen Handlungsempfehlungen auch spezifische Strategien⁵² zu berücksichtigen, die passgenau für die verschiedenen Leitmärkte sind.

Generelle bzw. Innovationssystem-unabhängige Handlungsempfehlungen:

Endogene Potenziale heben: Die baden-württembergische Wirtschaft besitzt vielfältige, im globalen Wettbewerb herausragende Kompetenzen, die eine hohe Relevanz für Cleantech-Anwendungen besitzen. Diese gilt es über **Landesinitiativen** (beispielsweise „Elektrolyse Made in BW“) aufzudecken, damit Unternehmen die Potenziale neuer Wachstumsfelder entdecken können. **Netzwerke** wie Greentech BW oder die Clusterinitiative Clean Tech der Region Stuttgart, die den Wissensaustausch zwischen Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen fördern, sollten **weiter mit notwendigen Finanz- und Sachmitteln unterstützt** werden. Förderprogramme für Unternehmen, die mit anderen Unternehmen oder For-

schungseinrichtungen sektorübergreifend kooperieren, können die Zusammenarbeit zwischen weniger verbundenen Leitmärkten stärken. Die Landespolitik sollte ihre Förderaktivitäten so ausrichten, dass die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen aus den traditionellen Industrieclustern (z. B. Kraftfahrzeug- oder Maschinenbau) und den Cleantech-Leitmärkten in Richtung Transformation unterstützt wird. Zudem sollte die Landespolitik die bestehende Förderlandschaft vereinfachen und gezielt koordinieren, um Unternehmen den Zugang zu relevanten Cleantech-Förderprogrammen zu erleichtern. Dabei sollte die Landespolitik gezielt darauf hinwirken, Fördermittel aus dem europäischen „Clean Industrial Deal“ ins Land zu holen, um Transformationsprojekte in der Industrie zu unterstützen und die Wettbewerbsfähigkeit der regionalen Cleantech-Branche zu stärken. Durch (finanzielle) Unterstützung von Projekten, die mehrere Leitmärkte verbinden, können Innovationen an den Schnittstellen gefördert, neue Geschäftsfelder erschlossen und Unternehmen für eine Diversifizierung aktiviert werden. Des Weiteren sollte das Land seine Unternehmen zum einen dazu befähigen, selbst bei der Setzung technischer Standards aktiv werden zu können. Zum anderen ist es gleichzeitig von Bedeutung, baden-württembergische Unternehmen bei der Adaptierung von (internationalen) Standards zu fördern.

Start-ups und KMU unterstützen sowie Risikokapitalinvestitionen anreizen: Eine zentrale Herausforderung bleibt die Sicherstellung der Finanzierung für Cleantech-Innovationen, insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU). Die Bereitstellung von Zuschüssen, Darlehen und Risikokapital oder Bürgschaften speziell für Start-ups und KMU schafft Chancen für zukünftiges Wachstum und sollte stärker **auf die Belange von Cleantech-Unternehmen ausgerichtet** werden. Dazu gehört auch die Förderung von **Pilotanlagen**, um die Skalierung vom „Labor“ zur Serie zu schaffen. Damit einhergehend können **Kofinanzierungsprogramme** umgesetzt werden, um private Investitionen in Cleantech-Start-ups zu fördern. Außerdem beschleunigen Technologietransferprogramme die Marktreife von Cleantech-Innovationen. Zugleich sollte das Land den Aufbau oder die **Beteiligung an speziellen Cleantech-/Green-Impact-Fonds unterstützen**, um frühe und wachstumsorientierte Finanzierungen für Cleantech-Start-ups zu erleichtern. Öffentliche Co-Investments können privates Kapital mobilisieren und das wahrgenommene Risiko reduzieren. Dazu gehört, dass jede Förderung an die Einhaltung von Kriterien „guter Arbeit“ (z. B. Tarifverträge) gekoppelt wird,

⁵² Siehe Anhang 2.

damit nachhaltige Innovationen auch sozial verantwortlich umgesetzt werden können. Aber nicht nur finanzielle Anreize sind für die Unterstützung von Start-ups und KMU relevant. Gründer_innen in Baden-Württemberg identifizieren politische und administrative Strukturen als wesentliche Stellschrauben. Insbesondere die **Beschleunigung, Verein-fachung und Digitalisierung von Verwaltungsprozessen** sowie die Öffnung öffentlicher Vergabeverfahren für **Start-ups** sind Schlüsselfaktoren, um den Gründungs- und Wachstumsprozess effektiver zu gestalten. Für die Über-führung wissenschaftlicher Erkenntnisse in Cleantech-orientierte Start-ups sollte die Landespolitik zudem **Grün-dungsinitiativen⁵³ mit Cleantech-Schwerpunkt** ausbauen.

KI-Einsatz bei Cleantech intensivieren: Der Einsatz von Künstlicher Intelligenz hilft, Cleantech-Potenziale schneller zu erschließen. Dabei bieten sich verschiedene Ansatz-punkte zur Förderung an. Zum einen sind **Förderprogram-me für KI-gestützte Cleantech-Lösungen** zu entwickeln und auszubauen, insbesondere für Start-ups und KMU. Weiterhin sind **Dateninfrastrukturen und Plattformen für Cleantech-KI-Anwendungen** aufzubauen, um den Aus-tausch und die Nutzung von Echtzeitdaten zu erleichtern. Die **Vernetzung zwischen Unternehmen, Forschung und Start-ups** ist zu stärken, um den Transfer von KI-Technolo-gien in die Praxis zu beschleunigen. Schließlich trägt die **Förderung von Aus- und Weiterbildungsprogrammen für KI und Nachhaltigkeit** zur Linderung des Fachkräftemangels in diesem Bereich bei.

Verbesserung der Qualifikationen und Kompetenzen: Qua-lifiziertes Fachpersonal ist ein Schlüssel für eine dynami-sche Entwicklung der Cleantech-Leitmärkte. Deshalb soll-ten **(Weiter- bzw. Fort-)Bildungsprogramme** insbesondere für Fachkräfte in „konventionellen“ Technologiebereichen unterstützt werden. Ergänzend bietet sich die **Entwicklung weiterer spezialisierter Studiengänge und praxisorien-tierter Ausbildungswege** im Cleantech-Bereich an, die auf die bereits bestehenden Cleantech-Strukturen in der For-schungslandschaft aufbauen. Verbunden mit den Fort- und Weiterbildungsaktivitäten sollte der Übergang von Arbeitskräften in die **Cleantech-Leitmärkte** unterstützt und erleichtert werden.

Fachkräftegewinnung: Vor dem Hintergrund des demogra-fischen Wandels könnte es zukünftig erforderlich sein, auf internationales Fachpersonal zurückzugreifen, um den Fachkräftebedarf zu decken. Hierfür wäre es sinnvoll, die Zuwanderung qualifizierter Fachkräfte durch **effizientere Anerkennungsverfahren und die Förderung einer positi-ven Willkommenskultur** zu unterstützen. Zugleich sind Personen ohne oder mit einem niedrigen Bildungsab-schluss stärker für Cleantech-Technologien zu qualifizieren, um weiteres Personal akquirieren zu können. Die Transfor-mation zu klimaneutralem Wirtschaften wird nur mit aus-reichend gut ausgebildeten Beschäftigten möglich sein.

Aufgrund steigender Komplexität relevanter Technologien sind daher kontinuierlich Bildungs- bzw. Fördermaßnah-men durchzuführen.

Sichtbarmachung von Erfolgsgeschichten und Setzung eines neuen Narrativs: Durch **Kommunikation von Best-Practice-Beispielen** erfolgreicher Cleantech-Start-ups aus Baden-Württemberg sollte ein positives Signal an poten-zielle Gründer_innen sowie Investor_innen gesendet werden.⁵⁴ Dies kann den Einstieg weiterer Unternehmen in die Cleantech-Märkte erleichtern. Zusammen mit der bes-seren Sichtbarkeit von Erfolgsbeispielen ist es von Vorteil, wenn ein neues **Narrativ von Baden-Württemberg als „Innovationsregion für eine klimaneutrale Zukunft“** ent-wickelt werden kann – ein Land, das dank seines speziali-sierten Mittelstands, seiner Forschungslandschaft, seiner Technologiekompetenz und seiner Beschäftigten zum glo-balen Vorreiter für intelligente, ressourceneffiziente und kli-maschonende Produkte, Prozesse und Dienstleistungen aufsteigt. Das Land wird zum Vorbild dafür, wie historisch gewachsene technische Exzellenz in moderne, nachhaltige Innovationen übersetzt werden kann – zum Nutzen von Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt gleichermaßen.

Baden-Württemberg kann durch seine hohe Technologie-kompetenz vom erwarteten globalen Marktwachstum (von 712 auf 1.588 Milliarden Euro bis 2030) im Bereich Rohstoff- und Materialeffizienz besonders profitieren. Um jedoch die bestehende Lücke in der Spezialisierung zu schließen, sollte die Landespolitik gezielt auf Innovationsförderung, Clusterbildung und Transferprogramme setzen. Damit lässt sich das enorme Wachstumspotenzial erschließen und gleichzeitig die technologische Führungsposition stärken.

Strategien für Unternehmen

Die digitale und ökologische Transformation setzt nicht nur die Politik unter Handlungsdruck, sondern auch unmittel-bar die Unternehmen und Industrie-Cluster in Baden-Würt-temberg. Cleantech bietet Chancen für nachhaltiges Wachstum, Innovation und Wettbewerbsfähigkeit. Durch gezielte Strategien können die Unternehmen neue Märkte erschließen, innovative Geschäftsmodelle entwickeln und Investitionen anziehen.

Generelle bzw. Innovationssystem-unabhängige Handlungsempfehlungen:

Prozyklisches Agieren vermeiden und endogene Potenziale heben: Es besteht insbesondere in Krisenzeiten die Gefahr eines prozyklischen Handelns, d. h., Unternehmen fahren in Zeiten schwächelnder Konjunktur bzw. abnehmender Um-satzerfolge ihre Investitionen in neue Technologien zurück und konzentrieren sich auf ihr „Kerngeschäft“. Dies kann

⁵³ Zum Beispiel <https://start-green.net/> oder <https://www.startupbw.de/fokusthe-men/greentech>.

⁵⁴ PWC (2023).

dazu führen, dass die für den langfristigen Unternehmenserfolg erforderliche Basis, insbesondere vor dem Hintergrund der ökologischen Transformation und zunehmender Konkurrenz auf den Cleantech-Weltmärkten, nicht rechtzeitig gelegt wird. Unternehmen sollten deshalb **Nachhaltigkeit vielmehr als integralen Bestandteil ihrer Strategie betrachten**. Emissions- und Nachhaltigkeitsziele eröffnen neue Geschäftsfelder, in denen komplexe Produktkenntnisse und hohe Qualitätsstandards gefragt sind – Bereiche, in denen der baden-württembergische Mittelstand traditionell stark ist. Es bietet sich daher an, insbesondere in diejenigen Cleantech-Bereiche mit wertschöpfungsintensiven Anwendungsbereichen zu investieren. Dabei sollten **bestehende Kompetenzen und Ressourcen genutzt werden, um in verwandte Cleantech-Bereiche zu diversifizieren**. Dies erleichtert den Einstieg in neue Märkte und reduziert das Risiko von Fehlinvestitionen. Ermöglicht werden könnte dies bspw. durch die **Förderung einer Kultur der Offenheit für neue Ideen, Risikobereitschaft und schnelle Entscheidungsprozesse** sowie durch **unternehmensinterne Innovations- oder /Technologie-Scouts**. Dies erleichtert die Implementierung von Innovationen und die Anpassung an sich schnell verändernde Marktbedingungen. Um die Investitionsrisiken durch den Einstieg in neue Geschäftsfelder zu reduzieren, kann die **Bildung von Konsortien oder Joint Ventures** in Betracht gezogen werden.

Anreize für Investitionen schaffen: Unternehmen sollten verstärkt Geschäftsmodelle entwickeln, die für Investoren attraktive risikoadjustierte Renditemöglichkeiten bieten. Dies kann durch innovative Produkte, effiziente Prozesse und Zugang zu wachsenden Märkten erreicht werden. Durch **klare Kommunikation über Unternehmensziele, finanzielle Performance und Nachhaltigkeitsstrategien** können Unternehmen das Vertrauen von Investoren gewinnen und den Zugang zu günstigerem Kapital für Investitionen in den Cleantech-Bereich erleichtern.

Aufbau themenspezifischer Netzwerke: Unternehmen sollten aktiv an der Entwicklung von Standards partizipieren, um Unsicherheiten zu reduzieren, Kompatibilitäten zu fördern und die Integration von Hardware- und Softwareprodukten in zukünftige Ökosysteme zu erleichtern. Zudem können so Lock-in-Effekte und damit u. U. verbundener zusätzlicher Kapitaleinsatz vermieden werden. Durch die **Zusammenarbeit in Netzwerken** können Mittelständler Effizienzgewinne realisieren und ihre Position im globalen Wettbewerb stärken. Erleichtert werden könnte dies über eine **verstärkte Vernetzung mit Forschungseinrichtungen und Universitäten**. Die Kooperation mit akademischen Institutionen ermöglicht den Zugang zu neuesten Forschungsergebnissen und technologischem Know-how. Dies kann durch gemeinsame Projekte, Beteiligung an Forschungsnetzwerken oder Unterstützung von Innovationszentren erfolgen.

Kooperation mit Start-ups: Durch die Zusammenarbeit mit oder die Integration von Start-ups können etablierte Unternehmen ihr industrielles Fachwissen mit digitalen Kompetenzen, innovativen Ideen und agilen Arbeitsmethoden verbinden. Darüber hinaus geht es darum, Mitarbeitende zu ermutigen, unternehmerisch zu denken und neue Ideen einzubringen (Intrapreneurship).

Gezielte Weiterbildung und Umschulung: Investitionen in die Qualifikation der Belegschaft sind entscheidend, um neue Technologien und Prozesse erfolgreich implementieren zu können. Zusammen mit Partnern aus Bildungsnetzwerken sollten Fort- und Weiterbildungsprogramme aufgebaut und umgesetzt werden, um das Fachpersonal auf die für den Cleantech-Bereich erforderlichen Kompetenzen zu schulen.

Fazit und Ausblick

Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus Baden-Württemberg haben die Chance, eine führende Rolle in den Cleantech-Leitmärkten einzunehmen. Durch proaktives Handeln, Kooperation und Innovation können sie nicht nur zum Klimaschutz beitragen, sondern auch ihre Wettbewerbsfähigkeit erhöhen und neue Märkte erschließen. Die Umsetzung der genannten Handlungsempfehlungen erfordert öffentliche und private Investitionen und eine offene Haltung gegenüber Veränderungen. Auch die Politik kann ihren Teil dazu beitragen und durch eine aktive Industrie- und Forschungspolitik die notwendigen Voraussetzungen schaffen, um das hohe Niveau der Industrieproduktion im Land zu erhalten.⁵⁵

Die Unterstützung von Unternehmen, die in den Cleantech-Leitmärkten aktiv sind, durch die Landespolitik erfolgt überwiegend im Rahmen allgemeiner Innovationsförderung. Abgesehen von einzelnen gezielten Initiativen wie der Plattform Greentech BW gibt es bislang keine speziell auf Cleantech zugeschnittenen Förderprogramme auf Landesebene. Diese allgemeine Förderung ist einerseits aufgrund der Querschnittsnatur von Cleantech verständlich, andererseits führt sie dazu, dass spezifische Herausforderungen der Cleantech-Branche nicht immer adäquat adressiert werden. Blickt man in den aktuellen Haushalt für 2025/2026, so finden sich zwar verschiedene Budgetlinien (z. B. im Rahmen des EFRE-Programms oder von „Invest BW“), in denen Cleantech-Projekte förderfähig sind, allerdings fehlt eine eindeutig auf Cleantech zugeschnittene und klar abgegrenzte Förderlinie.⁵⁶

Bisher fehlte es in Baden-Württemberg an einer übergreifenden Cleantech-Strategie, die technologie- und sektorspezifische Ziele, Maßnahmen und Finanzierungsinstrumente bündelt. Zwar existieren zahlreiche allgemeine Innovationsförderprogramme, von denen rund 24 % auch Cleantech-relevante Themen adressieren. Diese strukturübergreifende Förderlandschaft bietet Cleantech-Unternehmen grundsätzlich Zugang zu öffentlicher Förderung. Eine gezielte, auf Cleantech zugeschnittene Koordination und Priorisierung war jedoch bislang nicht erkennbar, was zahlreiche Herausforderungen mit sich bringt, beispielsweise

kaum gezielte Finanzierung für Cleantech-Start-ups: Während es allgemeine Innovationskredite gibt, fehlen noch Cleantech-spezifische Fonds, die gezielt auf Cleantech Innovationen ausgerichtet sind.

Fehlende sektorübergreifende Integration: Cleantech betrifft viele Industrien (Maschinenbau, Automobilindustrie, Bauwesen), doch es gibt bislang wenig abgestimmte, sektorübergreifende Fördermechanismen, die den Übergang zu innovativer Cleantech erleichtern.

Mit der Innovations- und Zukunftsagenda 2024⁵⁷ setzt das Land nun erstmals politische Impulse für eine explizite Greentech-Förderung. Dazu gehören der Aufbau der Plattform GreenTech BW, die Bildung einer Greentech-Allianz sowie strategische Aussagen zur Förderung grüner Schlüsseltechnologien in den Bereichen Batterien, Wasserstoff, Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie. Diese Umsetzung befindet sich jedoch noch in einem frühen Stadium.

Im Vergleich zu international vorangehenden Ländern wie Dänemark⁵⁸ oder nationalen Vorreitern wie Nordrhein-Westfalen⁵⁹, wo Cleantech-spezifische Strategien mit eigenen Förderlinien, Koordinierungsstrukturen und Innovationsclustern etabliert wurden, besteht in Baden-Württemberg weiterhin Nachholbedarf bei der strategischen Steuerung, Bündelung und Operationalisierung von Cleantech-Fördermaßnahmen.

Baden-Württemberg verfügt über starke Industrien wie den Maschinenbau, die Automobilindustrie und die Materialwissenschaften. Diese bieten eine technologische Grundlage für den Ausbau von Cleantech-Technologien wie Batterietechnologie, Recycling, nachhaltige Mobilität und Energiespeicherung. Die nachhaltige Mobilität kann auf bestehenden Kompetenzen in der Automobilproduktion und Materialwissenschaft aufbauen. Bereiche, die keine oder nur geringe Verwandtschaft zu bestehenden Kompetenzen haben (z. B. spezielle Umwelttechnologien), benöti-

⁵⁵ Baden-Württemberg Anteil Industrie an der Bruttowertschöpfung 32 %, Bundeschnitt 22 %.

⁵⁶ Für Existenzgründungen, Start-ups und Unternehmensnachfolge weist der Haushalt Mittel unter Kapitel 0710 aus („Mittelstandsförderung“). Dort sind beispielsweise 17,1 Mio. EUR für 2024, 20,4 Mio. EUR für 2025 und 17,2 Mio. EUR für 2026 vorgesehen.

⁵⁷ https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Bilder/Pressemitteilungen_und_Slider/The_L%C3%84ND_of_Innovation_-_die_Innovations-_und_Zukunftsagend.pdf.

⁵⁸ Dänemark verfolgt Cleantech nicht als Querschnittsthema, sondern als industrielles Kernfeld – mit entsprechender Umsetzungsarchitektur. Zum Beispiel <https://www.energycluster.dk/wp-content/uploads/2021/02/5afe9a987d3bd.pdf>.

⁵⁹ NRW hat Cleantech als Teil einer sektorübergreifenden Industriepolitik mit entsprechender Umsetzung verankert. Zum Beispiel <https://www.energy4climate.nrw/industrie-produktion/in4climatenrw>.

gen stärkere staatliche Unterstützung und Investitionen, um erfolgreich aufgebaut werden zu können. Durch die Integration von CCS-, CCU- und CDR-Verfahren⁶⁰ in bestehende Produktionsabläufe können Unternehmen nicht nur ihre Klimabilanz verbessern, sondern durch die Bereitstellung entsprechender Anlagen und -komponenten auch neue Geschäftsmodelle und Märkte erschließen. Eine konsequente Nutzung von CO₂ als Ressource würde überdies dazu beitragen, geschlossene Kohlenstoffkreisläufe und eine echte Kreislaufwirtschaft zu etablieren, in der Rohstoffe effizienter genutzt und Emissionen dauerhaft reduziert werden.

Die Transformation in Richtung Cleantech erfordert, dass die vorhandenen Arbeitskräfte weitergebildet bzw. umgeschult werden, um neue Technologien implementieren zu können. Programme für die Weiterbildung von Fachkräften aus traditionellen Industrien (z. B. Automobilbau) in zukunftsorientierte Cleantech-Bereiche können zur Sicherung langfristigen Erfolgs und Wohlstands beitragen. Zudem muss der Fachkräftemangel aktiv angegangen werden. Die Einführung spezialisierter Studiengänge im Bereich Cleantech sowie die Förderung interdisziplinärer Aus- und Weiterbildungsprogramme können den Bedarf an qualifiziertem Personal decken. Gleichzeitig sollten Maßnahmen ergriffen werden, um internationale Fachkräfte gezielt anzuwerben und bestehende Arbeitnehmende durch Umschulungen für Cleantech-relevante Bereiche zu qualifizieren.

Baden-Württemberg sollte bestehende Netzwerke stärken und mit Cleantech-Initiativen verknüpfen. Durch den Ausbau von Innovationsnetzwerken, die Nutzung internationaler Marktchancen und die Reduzierung regulatorischer Hindernisse kann die Wirtschaft langfristig wettbewerbsfähig bleiben und einen entscheidenden Beitrag zur nachhaltigen Transformation leisten. Innovationsökosysteme sollten auf- und ausgebaut werden. Diese umfassen Unternehmen, Forschung, aber auch unterstützende Netzwerke und Plattformen.

Ein weiterer Schwerpunkt sollte die Harmonisierung von Regelungsrahmen innerhalb der EU sein, um Barrieren im Binnenmarkt zu reduzieren. Einheitliche Regularien und beschleunigte Genehmigungsverfahren können dazu beitragen, die Markteinführung von Cleantech-Produkten zu erleichtern.

Die Förderung von Forschung und Entwicklung bleibt ein wesentlicher Hebel, um Baden-Württemberg als Innovationsstandort zu stärken. Öffentliche Investitionen in Schlüsseltechnologien wie Wasserstoff, Energiespeicherung und auch Digitalisierung sollten erhöht werden. Die Förderung von Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft durch Cluster-Initiativen kann den Technologietransfer und die Kommerzialisierung innovativer Ideen beschleunigen.

⁶⁰ CCS = Carbon Capture and Storage; CCU = Carbon Capture and Use; CDR = Carbon Dioxide Removal.

7 Literatur

AgenturQ – Agentur zur Förderung der beruflichen Weiterbildung, in der Metall- und Elektroindustrie Baden-Württemberg e. V., 2024. Future Skills 2030 Kompetenzen für den Standort Baden-Württemberg. URL: https://www.agenturq.de/wp-content/uploads/2024/05/2406282_Future-Skills-AQ-digital.pdf (heruntergeladen am 1.2.2025)

Asheim, B. T., Boschma, R., Cooke, P., 2011. Constructing regional advantage: Platform policies based on related variety and differentiated knowledge bases. *Regional studies* 45, 893–904.

Bauer, S., Thobe, I., Wolter, M. I., Helmrach, R., Schandock, M., Janser, M., Zika, G., Röttger, C., Liesen, A., Mohaupt, F., 2021. Qualifikationen und Berufe für den Übergang in eine Green Economy. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/ui06_2021_qualifikationen_und_berufe_greenecconomy_abschlussbericht_0.pdf (heruntergeladen am 5.12.2024)

Bergek, A., Hekkert, M., Jacobsson, S., Markard, J., Sandén, B., Truffer, B., 2015. Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental innovation and societal transitions* 16, 51–64.

Bielinski, J., Brandt, A., Windels, T., 2024. Exzellenz kommt nicht von alleine – Öffentliche Investitionsbedarfe und deren Finanzierung in Baden-Württemberg. URL: https://bw.dgb.de/dgb-bw-fileadmin/dateien/Dokumente/BroschC3%BCren/Investitionsstudie/DGB_BW_Studie_Investitionen_web.pdf (heruntergeladen am 3.2.2025)

Binz, C., Truffer, B., 2020. The governance of global innovation systems: Putting knowledge in context. *Knowledge for governance* 397–414.

Binz, C., Truffer, B., 2017. Global Innovation Systems—A conceptual framework for innovation dynamics in transnational contexts. *Research policy* 46, 1284–1298.

BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2021. GreenTech made in Germany 2021, Umwelttechnik-Atlas für Deutschland.

Borderstep Institut, 2024. Green Startup Monitor 2024. URL: <https://www.borderstep.de/wp-content/uploads/2024/03/Green-Startup-Monitor-2024.pdf> (heruntergeladen am 5.12.2024)

Buchner, A. E., 2013. Environmental Accounts: Environmental Goods and Services Sector. Final Report of EGSS project July 2012–2004.

Bundesagentur für Arbeit, 2024. Fachkräfteengpassanalyse. URL: <https://statistik.arbeitsagentur.de/DE/Navigation/Statistiken/Themen-im-Fokus/Fachkraeftebedarf/Fachkraeftebedarf-Nav.html> (heruntergeladen am 5.12.2024)

Carlsson, B., Stankiewicz, R., 1991. On the nature, function and composition of technological systems. *J Evol Econ* 1, 93–118. <https://doi.org/10.1007/BF01224915>

Deutscher Bundestag, 2022. Start-up-Strategie der Bundesregierung.

Direct air capture made in Baden-Württemberg, 2024. URL: <https://www.dac-bw.de> (heruntergeladen am 5.12.2024)

Dodgson, M., 2008. The Management of Technological Innovation: Strategy and Practice. Oxford University Press. URL: https://books.google.de/books?hl=de&lr=&id=348SDAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR15&dq=the+management+of+technological+innovation&ots=itpdmYp5p6&sig=t_w_Nflpc2pyvXvREK-w5ol2_p8 (heruntergeladen am 25.10.2024)

Dör, J. O., 2022. Mapping Technologies to Business Models. An Application to Clean Technologies and Entrepreneurship. An Application to Clean Technologies and Entrepreneurship ZEW Discussion Paper Nr. 22-057, 2022 22–57.

Elektrolyse made in Baden-Württemberg, 2023. URL: <https://www.bw-elektrolyse.de/> (heruntergeladen am 5.12.2024)

Elsevier, 2024. Scopus: Publikationsdatenbank. URL: <https://www.elsevier.com/de-de/products/scopus>

Europäisches Patentamt, 2024. Patstat.

European Commission, 2024. The Net-Zero Industry Act: Accelerating the transition to climate neutrality. URL: https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/net-zero-industry-act_en (heruntergeladen am 1.12.2024)

European Investment Bank, 2024. Financing and commercialisation of cleantech innovation. URL: <https://link.epo.org/web/publications/studies/en-financing-and-commercialisation-of-cleantech-innovation-study.pdf> (heruntergeladen am 5.12.2024)

Fachkräfteallianz Baden-Württemberg, 2022. Vereinbarung der Fachkräfteallianz Baden-Württemberg vom 10. Februar 2022. URL: https://wm.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Vereinbarung_der_Fachkraefteallianz_BW_vom_10.02.2022.pdf (heruntergeladen am 1.2.2025)

Fachkräfteallianz Baden-Württemberg, 2016. Vereinbarung der Fachkräfteallianz Baden-Württemberg vom 10. Oktober 2016. URL: https://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-wm/intern/Dateien_Downloads/Arbeit/Fachkraefte/Vereinbarung_Fachkraefteallianz_10.10.2016.pdf (heruntergeladen am 5.12.2024)

Gackstatter, S., Ammermann, H., Lehmann, J., 2023. Greentech offers new opportunities for all industrial players. URL: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Green-tech-offers-new-opportunities-for-all-industrial-players.html> (heruntergeladen am 5.12.2024)

Gregoire-Zawilski, M., Popp, D., 2024. Do technology standards induce innovation in environmental technologies when coordination is important? *Research policy* 53, 104888.

Hidalgo, C. A., Balland, P.-A., Boschma, R., Delgado, M., Feldman, M., Frenken, K., Glaeser, E., He, C., Kogler, D. F., Morrison, A., Neffke, F., Rigby, D., Stern, S., Zheng, S., Zhu, S., 2018. The Principle of Relatedness, in: Morales, A. J., Gershenson, C., Braha, D., Minai, A. A., Bar-Yam, Y. (Eds.), *Unifying Themes in Complex Systems IX*, Springer Proceedings in Complexity. Springer International Publishing, Cham, pp. 451–457. https://doi.org/10.1007/978-3-319-96661-8_46

LUBW, 2024. Dashboard Windenergieausbau. Landesanstalt für Umwelt. URL: <https://umweltdaten.lubw.baden-wuerttemberg.de/w/windenergieausbau> (heruntergeladen am 6.12.2024)

Muench, S., Stoermer, E., Jensen, K., Asikainen, T., Salvi, M., Scapolo, F., 2022. European Commission: Joint Research Centre: Towards a green and digital future. URL: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/977331> (heruntergeladen am 5.12.2024)

NSB, 2018. Technical Standards, Invention, Innovation, and Economic Growth. National Science Board – Science & Engineering Indicators 2018. URL: <https://www.nsf.gov/statistics/2018/nsb20181/assets/1178/technical-standards-invention-innovation-and-economic-growth.pdf> (heruntergeladen am 6.12.2024)

PWC, 2023. Deutscher Startup Monitor 2023: Regionalauskopplung Baden-Württemberg. URL: <https://www.pwc.de/de/standorte/stuttgart/dsm-bawue-2023.pdf> (heruntergeladen am 1.12.2024)

Rentmeister, H., Übelacker, S., Kleinschmidt, L., Schmickler, P., Ammon, M., Olbrecht, T., 2013. Cleantech-Standortgutachten 2013 Chancen und Perspektiven für Ostdeutschland.

Seaman, J., 2020. China and the new geopolitics of technical standardization. *Notes de l'Ifri* 34, 20–21.

Setser, B., 2024. Will China Take Over the Global Auto Industry? URL: <https://www.cfr.org/blog/will-china-take-over-global-auto-industry> (heruntergeladen am 5.12.2024)

Siemens, 2024. Generative künstliche Intelligenz hebt Predictive Maintenance von Siemens auf die nächste Stufe. URL: <https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/generative-kuenstliche-intelligenz-hebt-predictive-maintenance-von-siemens-auf-die> (heruntergeladen am 5.12.2024)

Statistisches Landesamt, 2024. https://www.statistischebibliothek.de/mir/receive/BWHeft_mods_00047255

tagesschau.de, 2024. Woher kriegen Mittelständler Geld zum Investieren? URL: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/hidden-champions-investoren-eigenkapitalforum-100.htm> (heruntergeladen am 1.12.2024)

Ulrich, P., 2023. Erneuerbar beschäftigt in den Bundesländern: Bericht zur aktualisierten Abschätzung der Bruttobeschäftigung 2021 in den Bundesländern. GWS Research Report, No. 2023/03.

UN, 2023. Technology and innovation report 2023. URL: <https://unctad.org/tir2023> (heruntergeladen am 6.12.2024)

VGD_L, 2024. Bruttoinlandsprodukt, Bruttowertschöpfung in den Ländern der Bundesrepublik Deutschland 1991 bis 2023 (Reihe 1 Band 1). Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Länder. URL: <https://www.statistikportal.de/de/vgrdl/ergebnisse-laendebene/bruttoinlandsprodukt-bruttowertschoepfung%alle-ergebnisse> (heruntergeladen am 9.12.2024)

Windhagen, E., Petersen, G., Diedrich, D., Evers, M., Mohr, N., Herring, D., 2021. Deutschland 2030 – Kreative Erneuerung. o. O.: McKinsey & Company.

ZSW, 2024a. Eigene Berechnungen auf Basis von Daten des Statistischen Landesamts BW und des Statistischen Bundesamts.

ZSW, 2024b. Interview mit KI Expert_innen.

8

Anhänge

Einordnung der Leitmärkte in Globales Innovationssystem

Anhang 1

Leitmarkt	Anwendungsbereich	Technologielinie	Innovationsmodus	Bewertungsmodus	Globales Innovationssystem (GIS)
Kreislaufwirtschaft			Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
Umweltfreundliche Energien und Energiespeicherung	Energiegewinnung über erneuerbare Energien	Fotovoltaik	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Standardisiert	Ortsungebunden
		Solarthermie	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
		Windkraft	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
		Biomasse	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
		Geothermie	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
		Wasserkraft	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
		Klärgas	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
	Umweltschonende Nutzung fossiler Brennstoffe		Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
	Speichertechnologien	Mechanische Speicherung	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
		Elektronische Speicherung	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Standardisiert	Ortsungebunden
		Elektrochemische Speicherung	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Thermische Speicherung	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
		Nah- und Fernwärmenetze	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
Energieeffizienz	Industriespezifische, energieeffiziente Produktionsverfahren	Automatisierungs- und Steuerungstechnik	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Standardisiert	Ortsungebunden
		Effiziente Antriebstechnik	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Wärmerückgewinnung	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
	Energieeffiziente Geräte	Elektrogeräte	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Standardisiert	Ortsungebunden
		IKT	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Standardisiert	Ortsungebunden
		Beleuchtung	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Standardisiert	Ortsungebunden

Leitmarkt	Anwendungsbereich	Technologielinie	Innovationsmodus	Bewertungsmodus	Globales Innovationssystem (GIS)
Energieeffizienz	Energieeffiziente Gebäude	Technische Gebäudeausstattung	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
	Energieeffiziente Gebäude	Gebäudehülle (Dämmung und Fenster)	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
Nachhaltige Mobilität	Alternative Kraftstoffe	Biokraftstoffe	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
	Alternative Antriebs-technologien	Hybridantrieb	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Elektroantrieb	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Brennstoffzellenantrieb	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
		Effizienzsteigerungen bei Verbrennungsmotoren	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Umweltschonendes Fahrzeugdesign	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
	Infrastruktur und Verkehrssteuerung	Intelligente Verkehrssteuerung	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
		Stromtankstellen	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Erdgastankstellen	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Carsharing	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
	Nachhaltige Mobilitätskonzepte	Überwachung des Grundwassers	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
		Wasseraufbereitung	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
Nachhaltige Wasserwirtschaft	Wassergewinnung und -aufbereitung	Komponenten des Wasserverteilungssystems	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
	Wasserverteilung	Wassereffizienztechnologien im Haushalt	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Wassereffizienztechnologien in Industrie und Gewerbe	Tun, Nutzen, Interagieren	Angepasst	Räumlich gebunden
	Effizienzsteigerung bei der Wassernutzung	Biotechnologie	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert
		Nanotechnik	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Standardisiert	Ortsungebunden
Rohstoff- und Materialeffizienz	Querschnittstechnologien	Verbundwerkstoffe	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Standardisiert	Ortsungebunden
		Biokunststoffe	Tun, Nutzen, Interagieren	Standardisiert	Produktionsverankert
		Ökodesign	Wissenschaft, Technologie, Innovation	Angepasst	Marktverankert

Quelle: ZSW, eigene Bewertung

Handlungsempfehlungen nach Typus des Innovationssystems für die Landespolitik:⁶¹

Ortsungebundenes globales Innovationssystem: Entscheidend für die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit in den Cleantech-Märkten ist der Zugang zu globalen Wissens- und Wertschöpfungsnetzwerken, beispielsweise durch günstige Kredite oder globale Standards. Staatliche Maßnahmen zur Stärkung lokaler Industrien können jedoch schnell Spillover-Effekte an internationale Wettbewerber erzeugen (siehe Fotovoltaik-Industrie). Dies erfordert ein politisches Handeln über regionale und nationale Grenzen hinweg sowie internationale Koordinationsmechanismen, um die räumlich ungleich verteilten Kosten und Nutzen besser zu steuern. Die Politik kann Unternehmen bei der **Teilnahme an globalen Netzwerken und Konsortien** unterstützen, um Zugang zu internationalem Wissen und Märkten zu erhalten. Außerdem sollte die **digitale Infrastruktur** gestärkt werden, um die Teilnahme am globalen Innovationssystem zu ermöglichen.

Marktverankertes Innovationssystem: Die Politik sollte verstärkt auch darauf abzielen, durch **gezielte Nachfragerförderung** (z. B. über die Formulierung entsprechender Standards bei der öffentlichen Beschaffung) Nischenmärkte zu schaffen und so frühe Markterfolge zu ermöglichen. Dadurch können Cleantech-Anbieter ihre Lösungen an spezifische, lokal geprägte Anforderungen anpassen. Die Politik kann dabei helfen, **hohe Qualitätsstandards zu etablieren**, Marktnischen zu definieren und so innovative Firmen zu stärken, die ihre Position vom anspruchsvollen Heimatmarkt aus auf internationale Märkte ausdehnen können.

Räumlich gebundenes Innovationssystem: Die zentrale Herausforderung für politisches Handeln besteht darin, an einem Standort ein enges Zusammenspiel von Herstellern und Nutzern von Cleantech zu ermöglichen, die gemeinsam an der Entwicklung neuer Produkte arbeiten. Entscheidend ist, dass alle Akteure langfristig in der Region angesiedelt werden, Zugang zu Kapital und Nischenmärkten erhalten und auf bereits vorhandene, verwandte technologische Kompetenzen aufbauen können. Dazu beitragen kann die **Förderung von Technologieparks und Inkubatoren**, um regionale Innovationsökosysteme zu stärken, sowie die nahtlose Zusammenarbeit mit der lokalen Politik zur Umsetzung von Pilotprojekten und zur Anpassung an regionale Bedürfnisse.

Produktionsverankertes Innovationssystem: Hier kommt es weniger auf lokale Märkte an, sondern vielmehr auf die Ansammlung von technologischem Know-how und einer dichten Wissensbasis innerhalb von Clustern und regionalen Innovationssystemen. Die Politik sollte daher auf den **Ausbau von Netzwerken zwischen Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen** setzen, um informellen Wissenstransfer und praxisnahe Qualifizierung zu fördern. Auch die **Förderung spezialisierter Aus- und Weiterbildungsangebote, Clusterorganisationen sowie die Unterstützung globaler Marktanbindung durch Infrastruktur und Dienstleistungen** sind wichtig. Förderlich ist zudem die Unterstützung beim Aufbau oder der Erweiterung von Produktionsstätten, um Unternehmen zu motivieren, in Baden-Württemberg zu investieren, sowie Unterstützung bei der Implementierung von Industrie-5.0-Lösungen, um Effizienz und Flexibilität der Produktion zu erhöhen.

Handlungsempfehlungen nach Typus des Innovationssystems für Unternehmen:⁶²

Ortsungebundenes globales Innovationssystem: Da relevantes Wissen und Technologien weltweit verteilt sind, sollten Unternehmen gezielt **internationale F&E-Partnerschaften eingehen, globale Lieferketten nutzen und sich in internationale Standardisierungsgremien einbringen**. Durch die aktive Beteiligung an internationalen Netzwerken können Unternehmen Zugang zu neuem Wissen und potenziellen Partnern erhalten. Unternehmen sollten offene Innovationsprozesse nutzen, um externe Ideen und Technologien zu integrieren. Zusätzlich sollten ihre Angebote digitalisiert und global skalierbare Lösungen angeboten werden. Dies ermöglicht den Zugang zu internationalen Märkten ohne geografische Einschränkungen.

Marktverankertes Innovationssystem: Unternehmen, die im marktverankerten Innovationssystem verortet sind, sollten auf anspruchsvolle, qualitativ hochwertige Nischenmärkte setzen, in denen Kundenerwartungen hoch sind. Der **Aufbau von Referenzprojekten und Pilotanwendungen vor Ort** kann als Sprungbrett für den internationalen Markt dienen. Durch eine **enge Zusammenarbeit mit öffentlichen Beschaffern oder frühen Anwendern** können Unternehmen Nachfragesignale frühzeitig erkennen und gezielt innovative Lösungen dafür entwickeln. Die Fähigkeit, globale Technologien auf die besonderen regulatorischen und kulturellen An-

⁶¹ Basierend auf Binz and Truffer (2020).

⁶² Basierend auf Binz and Truffer (2020).

forderungen eines spezifischen Marktes anzupassen, verschafft Unternehmen einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil.

Räumlich gebundenes Innovationssystem: Unternehmen sollten **gezielt Partnerschaften mit lokalen Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Zulieferern und Kunden aufbauen**. Die gemeinsame Entwicklung neuer Produkte oder Verfahren in räumlicher Nähe begünstigt schnelle Lernprozesse und inkrementelle Verbesserungen. Die historisch gewachsenen Kompetenzen, technologischen Fähigkeiten und kulturellen Besonderheiten einer Region können als Ausgangspunkt dienen, um sich über wiederholte Produktverbesserungen und enge Kundenbeziehungen langfristige Wettbewerbsvorteile zu sichern. Langfristig orientierte Investoren, die regionale Entwicklungsstrategien unterstützen, helfen dabei, risikoreiche Innovationsprozesse zu finanzieren und Experimentierräume zu schaffen.

Produktionsverankertes Innovationssystem: Unternehmen sollten **in regionale Cluster, Netzwerke und Brancheninitiativen investieren**, um Wissens- und Technologietransfer zu erleichtern und Zugang zu hoch spezialisierten Zulieferern und Forschungseinrichtungen zu erhalten. Der **Aufbau von Kompetenzen im eigenen Mitarbeiterstamm** (z. B. durch duale Ausbildung, Fachkurse, Kooperationen mit Fachhochschulen) ist entscheidend, um stetige Prozess- und Produktverbesserungen zu ermöglichen. Langjährige Partnerschaften mit lokalen Lieferanten, Dienstleistern und Bildungseinrichtungen schaffen Vertrauen, Stabilität und eine gemeinsame Wissensbasis, die die Innovationsfähigkeit im Zeitverlauf sichert. Dazu gehört auch die Implementierung von Industrie 5.0 mit dem Einsatz von Automatisierung, Robotik und Datenanalysen (KI), um Effizienz und Qualität zu steigern.

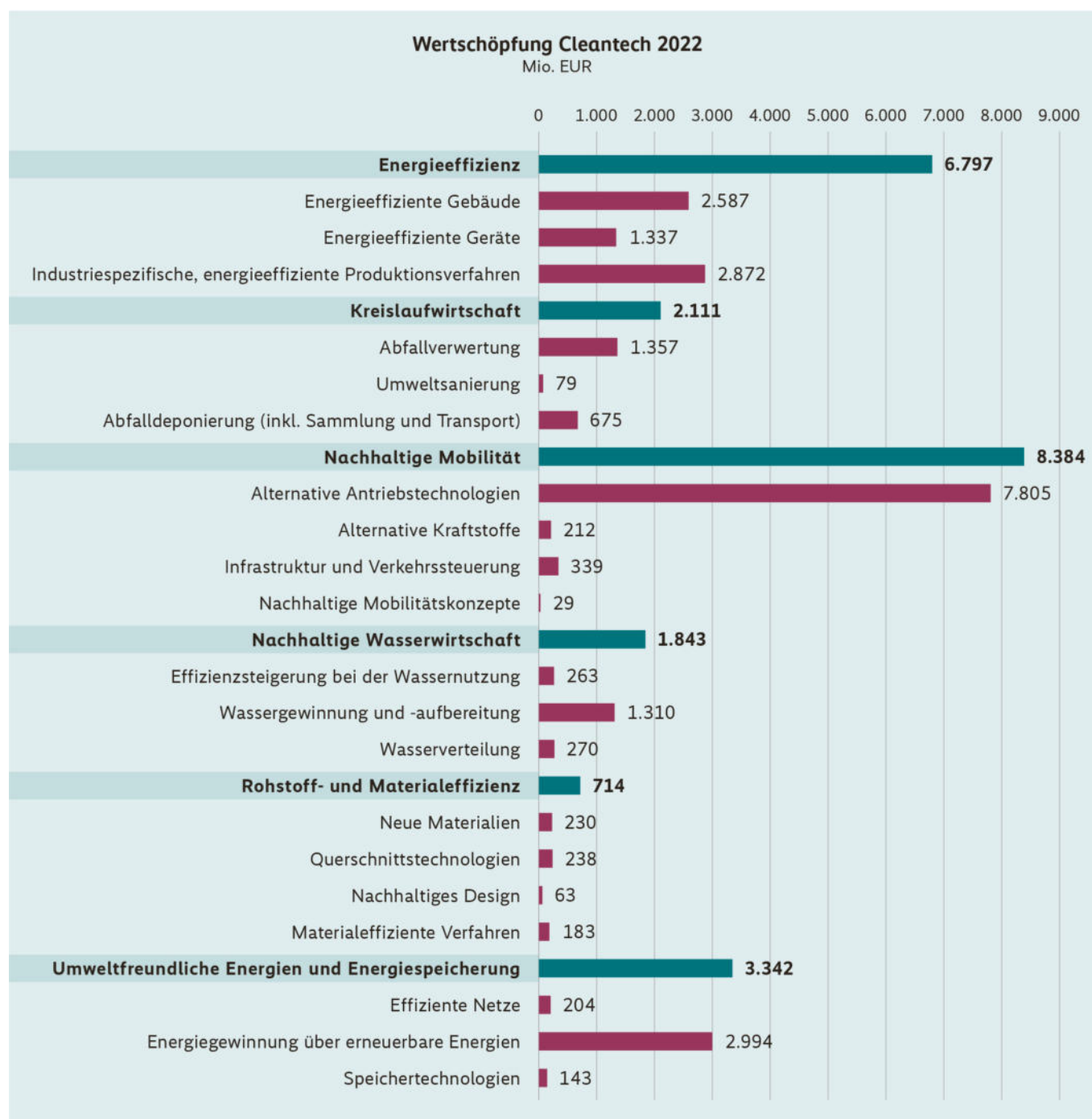
Landespolitische Aktivitäten im Bereich Cleantech

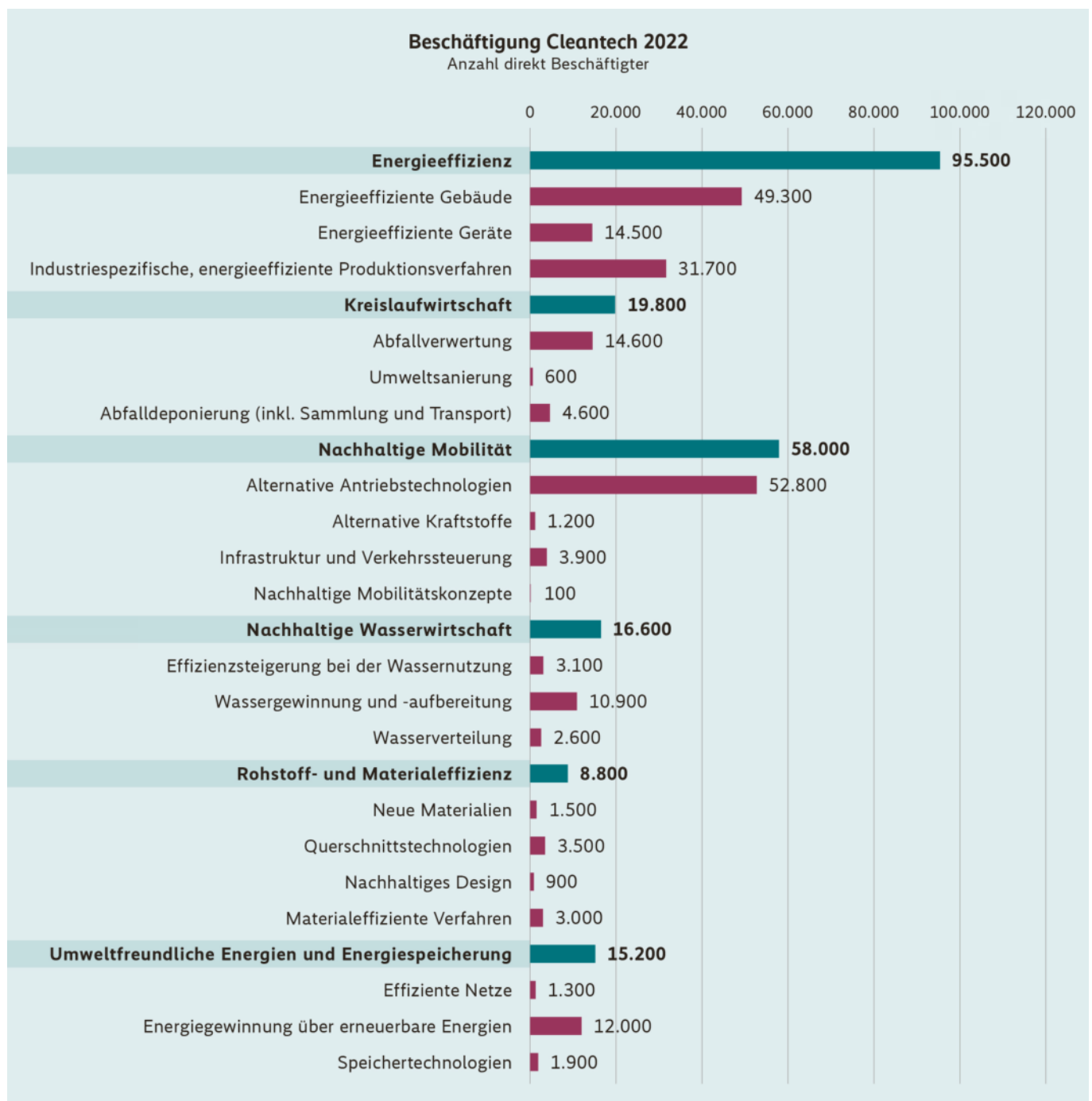
Anhang 3

Plattform GreenTech BW	https://greentech-bw.de
Landesagentur e-mobil BW	https://www.e-mobilbw.de/
Regionale Kompetenzstelle Ressourceneffizienz KEFF+	https://www.keffplus-bw.de/de
Förderprogramm „Unternehmen machen Klimaschutz“	https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/umwelt-und-wirtschaft/angebote-fuer-unternehmen/foerderprogramm-unternehmen-machen-klimaschutz
Begleitende Gründungsberatung (EXI-Beratungsgutscheine)	https://www.startupbw.de/beratung-qualifizierung/beratungsangebote
Förderaufruf Invest BW „Greentech“	https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilung/pid/wirtschaftsministerium-foerdert-green-tech-innovationen-im-land-mit-rund-34-mio-euro
Clusterportal Baden-Württemberg	https://www.clusterportal-bw.de/
GreenTech Allianz	https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/umwelt-und-wirtschaft/ressourceneffizienz-und-greentech/greentech
Start-up BW Summit 2024	https://wm.baden-wuerttemberg.de/de/service/media/mid/start-up-bw-summit-2024
Projekt GrünNetz	https://www.umwelttechnik-bw.de/de/gruenetz
GreenTech BW Atlas	https://greentech-bw.de/de/atlas
Expertenatlas BW	https://www.expertenatlas-bw.de/de
Umwelttechnikpreis Baden-Württemberg	https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/umwelt-und-wirtschaft/angebote-fuer-unternehmen/umwelttechnikpreis-bw
Umweltpreis für Unternehmen Baden-Württemberg	https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/umwelt-und-wirtschaft/angebote-fuer-unternehmen/umweltpreis-fuer-unternehmen
Fachkräfteinitiative „FachkräfteLÄND“	https://sozialministerium.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/landesregierung-startet-initiative-fachkraeftelaend

Quelle: eigene Zusammenstellung, Stand: Dezember 2024

→ Wirtschaftliche Kapazitäten:
o Industrielle Basis in Schlüsselbranchen (z. B. Maschinenbau, Automobilindustrie)
o Synergien mit alten Stärken (z. B. Kompetenzen aus Automobilindustrie)
o Spezialisierung in Cleantech-Leitmärkten
o (Abhängigkeit von) Ressourcen
→ Innovationskraft:
o Forschungsleistung (Publikationen, Patente)
o F&E-Ausgaben (privat und öffentlich)
o Bestehende Industriecluster und Netzwerke
o Technologietransfer
→ Infrastruktur:
o Grundinfrastruktur (Strom, Wasserstoff, erneuerbare Energien)
→ Arbeitsmarkt:
o Fachkräfte und Bildungslandschaft
o Demografische Trends
→ Politische Unterstützung/Regulierung:
o Förderlandschaft und Industriepolitik
o (Erwartetes) politisches Umfeld
o EU- und Bundesmaßnahmen
→ Technologie:
o Position in Querschnittstechnologien (Digitalisierung, KI)
o Stärken bei neuen technologischen Entwicklungen (z. B. CCS, CCU, DAC, Elektrolyse)
→ Standards:
o Entwicklung und Implementierung von Standards
→ Strukturelle Herausforderungen:
o Heterogenität der Cleantech-Branche
→ Finanzierung:
o Investitionen in F&E und Cleantech-Projekte
o Verfügbarkeit von Gründerkapital/Venture Capital
→ Abwanderungsrisiko:
o Beispiel: Hohe Energiekosten könnten Unternehmen zur Abwanderung bewegen.
→ Gesellschaftliche Akzeptanz:
o Widerstände gegen neue Technologien und Infrastrukturen
o Akzeptanz für Transformationsprojekte
→ Marktpotenziale:
o Nachfrage nach nachhaltigen Lösungen weltweit
o Exportentwicklung in neuen Märkten
→ Endogenes Potenzial:
o Nutzung spezifischer regionaler Stärken für Cleantech-Innovationen
→ Wettbewerb:
o Starker globaler Wettbewerb (USA, China)
→ Ausgründungen (im Bereich Cleantech) und Start-ups

Abbildung 13: Wertschöpfung in den Cleantech-Leitmärkten und zugehörigen Anwendungsbereichen im Jahr 2022⁶³⁶³ ZSW (2024a).

Abbildung 14: Beschäftigung in den Cleantech-Leitmärkten und zugehörigen Anwendungsbereichen im Jahr 2022⁶⁴⁶⁴ ZSW (2024a) sowie Rentmeister et al. (2013).

Stärken (intern)

- Hohe Dichte an Weltmarktführern im Mittelstand
- Traditionelle Industrien, etwa Maschinenbau und Automobilbau, bieten solide Grundlage für Entwicklung von Cleantech (Maschinenbau als Querschnittsbranche)
- Landespolitische Förderprogramme wie Invest BW unterstützen Cleantech-Initiativen und Start-ups
- Starke Zuliefernetzwerke und etablierte Cluster und Netzwerke, z. B. GreenTechPlattform
- Internationale Vernetzung, Exportorientierung und teilweise hohe Welthandelsanteile
- Internationales Renommee durch Spezialisierung
- Forschungsleistung und Transferinstitute
- Hohe öffentliche und private Ausgaben für F&E
- Im internationalen Vergleich gut ausgebildete Fachkräfte (z. B. durch duale Ausbildung)
- Ausgeprägtes Bewusstsein bzgl. Unterstützung bestehender Unternehmenslandschaft/-struktur sowie Innovationsförderung
- In der Vergangenheit hohes Maß an sozialem Frieden, u. a. durch Mitbestimmung der Arbeitnehmerseite
- Arbeitnehmervertretung als Treiber für Erschließung neuer Geschäftsfelder (Co-Management)

Schwächen (intern)

- Mangel an qualifizierten Fachkräften
- Hohe F&E-Kosten und lange Entwicklungszyklen belasten insbesondere KMU, die oft Schwierigkeiten beim Zugang zu Investitionsmitteln haben
- Unterschiedliche Standards und Genehmigungsverfahren innerhalb der EU erschweren die Markteinführung von Cleantech-Produkten
- Der Übergang von Forschung zu marktreifen Produkten ist oft ineffizient, insbesondere für KMU und Start-ups
- Teilweise Verslossenheit gegenüber neuen Kooperationen und neuen technologischen Entwicklungen (Lock-ins)
- KMUs teilweise überspezialisiert und mit geringeren Investitionen in F&E
- Rückstand im Bereich Digitalisierung im Vergleich zu anderen Industrienationen wie USA, China, Südkorea (Twin-Transition⁶⁵)
- Kostennachteile bei der Produktion
- Mangelnde Bekanntheit von mittelständischen Unternehmen/Weltmarktführern⁶⁷

Chancen (extern)

- Wachsende internationale Nachfrage nach nachhaltigen Technologien
- KI kann in Cleantech-Anwendungen wie Predictive Maintenance, Recycling und Energieeffizienz signifikante Verbesserungen bringen
- Potenziale für weitere Vernetzung und dadurch Aktivierung traditioneller Branchen („Related Variety“)
- Zuwanderung von Fachkräften als Möglichkeit, Fachkräftelücken zu schließen (erfordert ggf. Aus-/Weiterbildung)
- Politische Rahmenbedingungen wie der European Green Deal
- Umsetzung des Net Zero Industry Act auf europäischer Ebene⁶⁵
- Konkurrenz USA/China kann europäischen Zusammenhalt stärken mit positiver Auswirkung auf europäischen Markt
- Beibehaltung europäischer Klimaziele

Risiken (extern)

- China und die USA investieren massiv in Cleantech und könnten europäische Anbieter verdrängen
- Unzureichend koordinierte Fördermaßnahmen innerhalb der EU könnten die Wettbewerbsfähigkeit Baden-Württembergs beeinträchtigen
- Abhängigkeit von kritischen Rohstoffen wie Lithium und Seltenen Erden birgt Risiken für Cleantech-Produktion
- Cleantech-Technologien benötigen oft lange Zeit, um sich in etablierten Märkten durchzusetzen.
- (Im Vergleich) langsamer (EE-)Ausbau durch Bürokratie, Genehmigungsverfahren etc.
- Investitionsrückstau in bestehender Infrastruktur (z. B. Straße, Schiene, Strom, Datennetze)⁶⁸
- Wandel im Produktportfolio macht Fort- und Weiterbildung erforderlich (Bsp. Verbrenner-Aus und Ersatz durch E-Antrieb)
- Veränderungen im politischen/gesellschaftlichen Klima macht evtl. Zuwanderung unattraktiv bzw. kann auf Fachkräfte abschreckend wirken
- Deglobalisierung und Protektionismus („America first“)
- Regulatorische Rahmen z. B. für Kreislaufwirtschaft (z. B. Einstufung von Material als Abfall schränkt Verwertungsmöglichkeiten ein, auch bzgl. Nutzung von CO₂)
- Schwierigkeiten der Finanzierung neuer Geschäftsbereiche; evtl. auch Regulierung (Basel etc.)
- Ungünstige Rahmenbedingungen (z. B. hohe Energiekosten) könnten Unternehmen zur Abwanderung bewegen
- Fehlende Akzeptanz, z. B. in Bezug auf den Ausbau Windkraft und E-Mobilität sowie generell bzgl. neuer Technologien; weniger bei Effizienzmaßnahmen (in Unternehmen)
- International nachlassende Motivation für Klimaschutzmaßnahmen (COP29)

⁶⁵ European Commission (2024).

⁶⁶ Muench et al. (2022).

⁶⁷ tagesschau.de (2024).

⁶⁸ Bielinski, et al. (2024).

Über die Autorinnen und Autoren

Dr. oec. Tobias Buchmann, Wirtschaftswissenschaftler, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Patrick Wolf, M.Sc., Wirtschaftsingenieur, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Dipl.-Wirt.-Ing. Maike Schmidt, Wirtschaftsingenieurin, Leiterin des Fachgebiets Systemanalyse am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Dr. Ing. Peter Bickel, Wirtschaftsingenieur, stv. Leiter Fachgebiet Systemanalyse am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Dipl.-Volksw. Andreas Püttner, Volkswirt, wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg

Zukunftsfähig durch Cleantech

Die baden-württembergische Wirtschaft steht vor großen Umbrüchen – getrieben von der digitalen und ökologischen Transformation sowie dem Wandel in der Automobilindustrie. Um diesen Wandel erfolgreich zu meistern, muss Baden-Württemberg die Transformation mit einer klugen und aktiven Modernisierungspolitik begleiten. Der klimaneutrale Umbau der Wirtschaft eröffnet die Chance, neue Innovationen, Industrien und Standards zu schaffen und dem Land einen nachhaltigen Wohlstand zu sichern. Im Zentrum steht dabei *Cleantech*: saubere, nachhaltige Technologien und Verfahren, die nicht nur den CO₂-Ausstoß verringern, sondern neue Märkte, gute Arbeit und industrielle Stärke von morgen sichern. Der deutsche *Cleantech*-Markt wächst laut dem Bundesumweltministerium stärker als der internationale Markt. Die vorliegende Studie gibt eine Antwort darauf, welche nachhaltigen Zukunftsperspektiven es für Wirtschaft und Beschäftigte in Baden-Württemberg gibt und wie dafür jetzt gehandelt werden muss.

Mehr Informationen
finden Sie hier:

➤ fes.de

➤ bw.dgb.de

