

Zusammenfassung

Schlüsseltechnologien und technologische Zukunftsfelder in Ostdeutschland

Bestandsaufnahme und Potenziale

Prognos AG, Fraunhofer IMW

Auftraggeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz



Schlüsseltechnologien besitzen das Potential, signifikante Veränderungen in den gesellschaftlichen, sozioökonomischen und politischen Aspekten des Lebens hervorzubringen. Sie verändern den Charakter von Prozessen und Produkten und damit die Wertschöpfung in zahlreichen wirtschaftlichen Sektoren. Für die Politik und die Gesellschaft stellen sie Chancen und Herausforderungen dar, indem einerseits frühzeitig Entscheidungen getroffen werden müssen, in welche Technologien Forschungsmittel investiert werden sollten, um eigene Kompetenzen zu entwickeln. Andererseits sollte ebenso frühzeitig die gesamte Innovationsprozess- bzw. Wertschöpfungskette in den Blick genommen werden, um die Relevanz für bestehende und zukünftige Unternehmen aufzuzeigen. Gerade in Regionen, die sich umfassenden Transformationsprozessen ausgesetzt sehen, und auch im Kontext der Diskussion um die technologische Souveränität Deutschlands und Europas gewinnen diese Aufgaben eine herausragende Bedeutung. Schlüsseltechnologien beschleunigen und prägen entscheidend den Wandel, indem sie die Grundlage für zahlreiche Applikationen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern bereitstellen. Dies reicht von neuen Batterietechnologien über das Internet of Things und Mikroelektronik, Big Data-Technologien und -Anwendungen bis hin zu Forschungsfeldern mit einem hohen disruptiven Potential wie der Quantentechnologie. Folglich bilden die Kenntnis und Anwendung solcher Schlüsseltechnologien eine wichtige Grundlage für die Innovationskraft und die zukünftige Wettbewerbsfähigkeit Ostdeutschlands.

Die Studie gibt einen Überblick über ausgewählte Schlüsseltechnologien, in denen ostdeutsche Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen engagiert sind, und die nach einer ersten Einschätzung eine hohe Relevanz für den Standort besitzen. Mit der Analyse von Forschungsfeldern, Akteuren und Entwicklungspotentialen geht auch eine Einschätzung ihrer Wettbewerbsfähigkeit einher. Auf dieser Grundlage wurden unter Einbeziehung von Expertinnen und Experten Handlungsfelder identifiziert und Handlungsoptionen aufgezeigt, mit denen die Wirtschaftspolitik für Ostdeutschland der gestiegenen Bedeutung der Schlüsseltechnologien Rechnung tragen kann.

Definition

Unterschiedliche Definitionen betreffen das Konzept von Schlüsseltechnologien, wie z.B. die Ansätze von Key Enabling Technologies, Advanced Technologies for Industry oder General Purpose Technologies. Der Begriff Schlüsseltechnologie umfasst technologische, innovationsökonomische, marktseitige oder systemische Merkmale. Als Schlüsseltechnologien werden Technologien oder technologische Bereiche verstanden, die als **Treiber für Innovationen** fungieren und die Grundlage für neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in unterschiedlichen Wirtschaftssektoren bilden, die darüber hinaus **weite gesamtgesellschaftliche Auswirkungen** haben können. Eine zentrale Eigenschaft von Schlüsseltechnologien ist dabei ihre **Bedeutung für andere Technologien**, insofern dass diese Technologien die Innovationen in anderen technologischen Bereichen hervorbringen oder beschleunigen. Schlüsseltechnologien zeichnen sich durch ihr **disruptives Potential** aus, sie leiten langfristige wirtschaftliche Wachstumszyklen ein, bringen Markterfolge und **Wettbewerbsvorteile** mit sich und zeichnen sich durch eine **breite Anwendbarkeit** aus.

Methodisches Vorgehen

Auf Basis von Patent- und Publikationsanalysen, der Auswertung von teil-anonymisierten Förderdaten von BMBF und BMWK sowie mehreren Workshops, Round Tables und Interviews mit Expertinnen und Experten ließ sich die Beteiligung von Akteuren aus Ostdeutschland an der Entwicklung an gegenwärtigen und zukünftigen Schlüsseltechnologien herausarbeiten. Diese Befunde wurden genutzt,

um mithilfe angewandter Methoden der Zukunftsforschung Entwicklungspfade dieser Technologien zu erarbeiten. Darüber hinaus wurden Expertenhearings geführt, mit den Zielen, Lücken der Recherchen zu schließen und praxisrelevante Handlungsempfehlungen und -optionen abzuleiten. Die Hearings mit den Expertinnen und Experten verdeutlichten, dass die Verteilung von Akteuren und Forschungsfeldern in den Schlüsseltechnologien in Ostdeutschland regional ungleichmäßig entwickelt ist. Die Entwicklung von Schwerpunkten und Spezialisierungen greift häufig lange Linien der Entwicklung von Standortprofilen und Forschungsschwerpunkten auf und reflektiert damit den politischen, sozioökonomischen und historischen Kontext. Zum Beispiel werden einzelne Technologien, wie die Photonik, durch zurückliegende Spezialisierungen in den Bereichen der Optik, der damit verbundenen Infrastruktur mit einzelnen Großunternehmen und stark entwickelten Industrien und Kooperationsbeziehungen geprägt. Einflussfaktoren für aktuelle Spezialisierungsprofile liegen aber auch außerhalb dieser ökonomischen Betrachtung. Die aktuelle demografische Situation, der Brain Drain der vergangenen Jahre oder eine unterentwickelte digitale Infrastruktur beeinflussen die Entwicklung von Schlüsseltechnologien.

Notwendige Gestaltung der Rahmenbedingungen zur Stärkung des ostdeutschen Innovationssystems

Vor der Kurzdarstellung der Einzelbefunde geben wir an dieser Stelle einen Überblick zu drei zentralen Herausforderungen, die sich dem Innovationsökosystem Ostdeutschlands insgesamt stellen. Diese wurden im Rahmen der Analysen gemeinsam mit Expertinnen und Experten als zentrale Stellhebel der Innovationspolitik identifiziert.

Auch in den Schlüsseltechnologien hängt die Weiterentwicklung entscheidend von einer zukunftsorientierten Gestaltung der folgenden Faktoren ab:

- die **Stärkung einer Gründungskultur**
- der **Aufbau regionaler Ökosysteme** sowie
- die **Erhöhung des Transfers** zwischen der Wissenschaft und Unternehmen

Zur Stärkung der Gründungskultur sollte die Bereitschaft, persönlich ökonomische Risiken einzugehen, insbesondere bei jungen Menschen, erhöht werden. Dafür sollte ein Umfeld geschaffen werden, das auch ein etwaiges Scheitern eines Unternehmens abfängt und nicht langfristig existenzbedrohend für die Gründungspersonen wirkt. In dieses Umfeld ist auch die notwendige höhere **Wertschätzung des Unternehmertums** als eine gesellschaftspolitische Aufgabe einzugliedern. Ein weiterer wichtiger Aspekt zur Stärkung der Gründungskultur betrifft eine höhere **Agilität der Verwaltung** insbesondere in Bezug auf unterschiedliche Genehmigungsverfahren. Generell bedingt die **Förderung von Gründungen** in Schlüsseltechnologien in Ostdeutschland vor allem eine Verbesserung politisch-struktureller Rahmenbedingungen auf Bundes- und Länderebene. Vor allem die Diversität von Gründern, Offenheit und Vernetzung zwischen Technologien und Regionen sowie der Zugang zu privatem Wagniskapital sind zentrale Punkte, die berücksichtigt werden müssen.

Die **Übersetzung der Forschungsstärken Ostdeutschlands in Wertschöpfung** vor Ort kann durch gezielte Maßnahmen, wie beispielsweise durch die Zusammenführung von Akteursgruppen aus Wissenschaft und Industrie, insbesondere die Miteinbeziehung von KMU oder durch Coaching von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an den Hochschulen zu unternehmensrelevanten Themen, gestärkt werden. Um den **Transfer** von Forschungsergebnissen im wissenschaftlichen Anreiz- und Karrieresystem zu verankern, sollte er **als messbare Leistungsgröße** und Faktor in die Hochschulpaktförderung eingeführt werden.

Zum Ausbau von regionalen Ökosystemen in den Schlüsseltechnologien sollte in den nächsten Jahren die **Schaffung von Hotspots für Start-ups** nach dem Vorbild von Berlin oder Leipzig in den Fokus rücken. Dazu sollten verstärkt regionale Förderprogramme finanziert und mit Maßnahmen von Bund

und Ländern koordiniert werden. Einen weiteren Stellhebel bildet der flächendeckende **Ausbau der digitalen Infrastruktur** in den nächsten fünf Jahren, sodass auch ländliche Regionen an einem schnellen Datenaustausch als Voraussetzung für die Erbringung von Dienstleistungen und die Steuerung von Prozessen partizipieren können. Ähnlich verhält es sich mit der Verkehrsinfrastruktur – es sollte gewährleistet werden, dass regionale Zentren auch mit öffentlichen Verkehrsmitteln gut erreichbar sind.

Als weiteren wichtigen Meilenstein zur Erreichung des Zukunftsbilds wird die Verbesserung und Intensivierung des Transfers zwischen Wissenschaft und Unternehmen erachtet. Problematisch erscheint hier, dass KMU zu wenig von der differenzierten und leistungsfähigen Forschungslandschaft profitieren. Daher sollte die Durchlässigkeit zwischen Forschung und Praxis erhöht werden. Die **Ausweitung der ostdeutschen Wachstumsinseln** durch Ansiedlung von produzierenden Großunternehmen der Hightech-Branchen kann als erster Schritt gesehen werden, um den ländlichen Raum zu erschließen und zu stabilisieren. In den letzten Jahren ist zudem ein Trend zu „Giga-Sites“, großen Ansiedlungsprojekten in den Schlüsseltechnologien, wie Tesla oder Intel zu erkennen. Die Präsenz von modern ausgestatteten Hochschulen und eine steigende Attraktivität der Regionen auch für junge Fachkräfte wirken als deutliche Standortvorteile, da sie angesiedelten Unternehmen einen Zugang zu wertvollem Humankapital versprechen. **Infrastrukturinvestitionen** sind hierbei nötig, um die Erreichbarkeit von Ansiedlungsflächen zu gewährleisten. **Länderübergreifende Initiativen** sollten die Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft und Politik in Ökosystemen stärken. Je stärker Forschungszentren Teil der Investorenwerbung werden, umso stärker ist auch die Forschungsförderung als Standortvorteil relevant. Daher sollte eine angebotsorientierte regionale Flächenentwicklung unterstützt werden.

Überblick zu den analysierten Schlüsseltechnologien

Im Folgenden skizzieren wir die Befunde zur den ausgewählten vierzehn Technologien, die in sechs übergeordnete Bereiche gegliedert wurden:

- Energie (Batterietechnologien, Wasserstoff)
- optische Technologien und Mikrosystemtechnik (Mikroelektronik, Quantentechnologien, Photonik)
- ressourcensparende Technologien (Recycling, Neue Werkstoffe)
- Mobilität und neue Antriebstechnologien (Batterietechnologien, Neue Werkstoffe, Wasserstofftechnologien)
- intelligente Produktion / Industrie 4.0 (Internet of Things, künstliche Intelligenz, Big Data, Blockchain, Robotics, Augmented/Virtual Reality)
- Technologie für Gesundheit (Biotechnologien).

Technologieprofile

Aus der Gesamtanalyse leiten sich folgende Technologieprofile ab:

1. **Augmented/Virtual Reality (AR/VR):** Augmented-Reality-Geräte überlagern digitale Informationen oder Objekte mit der aktuellen Sicht einer Person auf die Realität. Auf diese Weise kann der Nutzer bzw. die Nutzerin diese Umgebung sehen und gleichzeitig den AR-Inhalt wahrnehmen. Neben dem Gaming sind für den Standort Ostdeutschland vor allem Anwendungen in der Industrie (Industrial Robot, Factory Automation) und insbesondere in der Fort- und Weiterbildung (Simulation/Surgical Training etc.) von Bedeutung. Bei den wissenschaftlichen Publikationen ist in

Ostdeutschland seit 2015 ein deutlich steigender Trend zu beobachten, der die weltweite Dynamik sogar überschreitet. Rund 410 Unternehmen produzieren in Ostdeutschland Technologien im Bereich von AR/VR. Die größte Anzahl von Firmen ist in Berlin angesiedelt, was auch durch die Patentaktivitäten bestätigt wird. Die geografische Aufteilung zeigt neben Berlin zwei weitere Konzentrationen: Viele der Forschungseinrichtungen sitzen in Dresden oder in Mittelsachsen. Kleinere Forschungsschwerpunkte sind in Rostock (Mecklenburg-Vorpommern) sowie in Magdeburg (Sachsen-Anhalt) und in Jena (Thüringen) angesiedelt.

2. **Batterietechnologien** sind Technologien, die die Speicherung elektrischer Energie auf Grundlage elektrochemischer Prozesse ermöglichen. Der Forschungsschwerpunkt in Ostdeutschland liegt dabei größtenteils in den Bereichen von Lithium-Ionen-Batterien, Natrium-Ionen-Batterien (Sodium-Ion) und Lithium-Schwefel-Batterien. Zu betonen sind die Schnittstellen der Forschung zur Materialforschung und der Nanotechnologie. Dies zeigt sich z.B. darin, dass Begriffe wie *Nanotubes*, *Nanosheets* oder *Nanorod* häufig in Publikationen der Batterieforschung verwendet werden und damit auf die hohe Interdisziplinarität der Forschung verweisen. Hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Forschungseinrichtungen in Ostdeutschland sind Berlin und Dresden als Forschungshubs zu erkennen. Kleinere Forschungskonzentrationen sind zudem in der Region um Leipzig, in Chemnitz, Magdeburg und Potsdam angesiedelt. Die Publikationsdynamik in den ostdeutschen Ländern übertrifft die durchschnittliche Dynamik der weltweiten Publikationen und liegt nur knapp unter der Dynamik der chinesischen Forschung. Dies deutet darauf hin, dass sich hier eine technologische Keimzelle der Forschung mit einem hohen Zukunftspotential entwickelt. Auf der Unternehmensseite ist die Mehrheit der insgesamt 212 ostdeutschen Unternehmen im Raum Berlin angesiedelt, gefolgt von Dresden. Kleinere Unternehmenskonzentrationen sind zudem in Chemnitz, Zwickau und Kamenz (alles Sachsen) zu finden. Forschung konzentriert sich aktuell noch auf den Bereich der Wissenschaft: Unternehmen außerhalb Ostdeutschlands sind an mehr als der doppelten Zahl von Patentfamilien beteiligt als die in Ostdeutschland ansässigen Unternehmen. Obwohl hierbei Patentanmeldungen unter Beteiligung ostdeutscher Erfinderinnen und Erfinder gezählt wurden, werden diese überwiegend von Unternehmen aus den alten Bundesländern angemeldet. Dies verdeutlicht die Herausforderungen des ostdeutschen Innovationssystems, dass die ansässigen Unternehmen zumeist Niederlassungen sind, welche keine eigenen Forschungsaktivitäten ausüben. Bei sechs der 10 schutzrechtsaktivsten Unternehmen mit Hauptsitz in Ostdeutschland handelt es sich derzeit um Tochtergesellschaften von ausländischen und/oder westdeutschen Unternehmen.
3. Bei den **Big-Data-Technologien** handelt es sich um eine neue Generation von Technologien und Architekturen, die darauf ausgelegt sind, aus sehr großen Mengen unterschiedlichster Daten einen wirtschaftlichen Nutzen zu ziehen, indem sie eine schnelle Erfassung, Entdeckung und/oder Analyse ermöglichen. Die meisten Forschungseinrichtungen sind in Berlin angesiedelt, gefolgt von Jena und Potsdam. Die Forschung zum Thema Big Data in Ostdeutschland ist eher schwach ausgeprägt. Im Hinblick auf die Unternehmenslandschaft zeigt sich, dass das Thema in Ostdeutschland mit 73 aktiven Unternehmen quantitativ ebenfalls relativ schwach aufgestellt ist. Unter den Patentanmeldungen unter Beteiligung ostdeutscher Erfinderinnen und Erfinder sind fast ausschließlich Unternehmen – damit ergibt sich ein konträres Bild zu den restlichen Schlüsseltechnologien, in denen auch die Forschung bei den Schutzrechten aktiv ist.
4. **Biotechnologie:** Biotechnologie umfasst die Nutzung von Mikroorganismen oder Bestandteilen von Mikroorganismen wie Enzymen, um industriell nutzbare Produkte auf effizientere Weise (z. B. mit geringerem Energieverbrauch oder weniger Nebenprodukten) herzustellen oder Stoffe und chemische Bausteine mit spezifischen Fähigkeiten zu erzeugen, die herkömmliche petrochemische Verfahren nicht bieten können. Medizinische Biotechnologie, unter anderem - personalisierte Medizin ist in Ostdeutschland von besonderer Bedeutung. Das Thema Krebsforschung im

Zusammenhang mit dem Thema Genetik stehen im Zentrum der Forschung. Im Vergleich zu dem Rest der Welt ist die Dynamik in Ostdeutschland deutlich geringer. Der Hauptakteur, der nicht nur durch eine enorme Quantität an Publikationen auffällt, sondern auch eine hohe Qualität aufweist (Zahl der Zitationen), ist die Berliner Charité. Auch auf Unternehmensebene steht Berlin mit deutlichem Abstand vorne. Im Gegensatz zu den meisten anderen Schlüsseltechnologien kommen ostdeutsche Patentanmelderinnen und -anmelder aus Wirtschaft und Forschung mehrheitlich von Unternehmen und Instituten mit einem ostdeutschen Standort. Dabei haben viele der Unternehmen, vermutlich aufgrund der Nähe zur Charité, ihren Hauptsitz in Berlin.

5. **Blockchain:** Blockchain ist ein digitales, verteiltes Hauptbuch (ledger) für Transaktionen. Die Technologie der verteilten Hauptbücher ermöglicht das Hinzufügen neuer Transaktionen zu einer bestehenden Transaktionskette mithilfe einer sicheren digitalen oder kryptografischen Signatur. Quantitativ gesehen ist die Blockchain-Technologie sowohl in der Forschung (lediglich 15 Forschungseinrichtungen sind in diesem Gebiet aktiv) als auch in der Unternehmenslandschaft (61 Unternehmen) am geringsten vertreten.
6. **Internet der Dinge (IoT):** Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) bezeichnet ein Netz intelligenter, miteinander verbundener Geräte und Dienste. Das IoT ist eine Ansammlung von Endpunkten, die Produkte, Systeme und Netze aus der Ferne verbindet, verfolgt und verwaltet. In Ostdeutschland stehen insbesondere Forschungsaktivitäten im Bereich *Smart City*, *Smart Home* oder aber der *Industry 4.0* im Mittelpunkt. Die Technologie zeichnet sich durch deutliche Querverbindungen zu anderen Schlüsseltechnologien wie *Robotics* oder *Blockchain* aus. Die Dynamik der Publikationsaktivitäten in Ostdeutschland übersteigt die Dynamik in Gesamtdeutschland und den USA und spiegelt sich in der Population der Unternehmen wider: Mit 591 Firmen im Bereich IoT scheint Ostdeutschland das Potential des IoT in einer breiten Anwendungspalette zu nutzen. Ein Blick auf die Top 10 patentierenden Unternehmen bestätigt, dass auch hier der Standort Berlin sowohl für die Quantität als auch für die Qualität der unternehmerischen Tätigkeiten im Bereich IoT in Ostdeutschland der Vorreiter ist.
7. **Künstliche Intelligenz (KI):** Künstliche Intelligenz ist ein Begriff für Maschinen, die menschenähnliche kognitive Funktionen ausführen (z. B. lernen, verstehen, schlussfolgern oder interagieren). Mit rund 260 Forschungseinrichtungen ist diese Schlüsseltechnologie mit Abstand am stärksten auf der wissenschaftlichen Landkarte Ostdeutschlands vertreten. Der Schwerpunkt der unternehmerischen Tätigkeiten von über 630 Unternehmen liegt im Raum Berlin und einer Vielzahl kleinerer Hubs in anderen ostdeutschen Bundesländern. Auffällig dabei ist eine vergleichsweise geringe Beteiligung ausländischer Forschungseinrichtungen an ostdeutschen Patentanmeldungen.
8. Die **Mikro- und Nanoelektronik** befasst sich mit Halbleiterkomponenten und hochgradig miniaturisierten elektronischen Teilsystemen und deren Integration in größere Produkte und Systeme. Sie umfassen die Herstellung, den Entwurf, das Packaging und die Prüfung von Transistoren im Nanomaßstab bis hin zu mikroskaligen Systemen, die mehrere Funktionen auf einem Chip integrieren. Im Bereich der Mikroelektronik wird in Ostdeutschland besonders viel zu *Quantum dots*, *Diodenlasern* und *Nanodrähten* geforscht – dabei zeigt sich die enge Verbindung zum Feld Photonik. Die Mikroelektronik ist traditionell stark aufgestellt im Raum Sachsen. Weitere Forschungszentren sind in Berlin, Thüringen sowie im Süden Sachsen-Anhalts zu erkennen. Auffällig ist, dass hier – anders als in vielen anderen Schlüsseltechnologien patentierende Unternehmen mit Hauptsitz in Ostdeutschland zahlenmäßig denen aus den alten Bundesländern überlegen sind.
9. **Neue Werkstoffe:** Neue Werkstoffe führen sowohl zu neuen, kostengünstigeren Substituten für bestehende Werkstoffe als auch zu neuen höherwertigen Produkten und Dienstleistungen. In

diesem Bereich ist Ostdeutschland mit insgesamt 124 öffentlichen Forschungseinrichtungen vertreten. Die insgesamt 306 identifizierten Unternehmen sitzen überwiegend im Raum Sachsen (Dresden, Chemnitz, Leipzig) oder sind in Berlin angesiedelt.

10. **Photonik:** Die Photonik ist ein multidisziplinäres Gebiet, das sich mit Erzeugung und Beherrschung von Licht befasst. Forschungszentren sind neben Berlin insbesondere in Dresden und Jena angesiedelt. Die 400 Unternehmen, die in Ostdeutschland im Bereich Photonik tätig sind, haben ihre Standorte hauptsächlich im Raum Sachsen, Thüringen und Berlin. Die Bereiche der optischen Technologien und der Mikrosystemtechnik sind in der Forschung sehr gut abgedeckt und nehmen auch im nationalen und internationalen Vergleich eine Vorreiterrolle ein. Die Mikroelektronik und Photonik sind als technologische Schwerpunkte der heutigen und zukünftigen Entwicklung in Ostdeutschland anzusehen.
11. **Quantentechnologien:** Quantentechnologien sind Technologien, die gezielt auf der Nutzung von Quanteneffekten basieren. Die gezielte Einwirkung auf Quantenzustände und ihre Kopplung untereinander ermöglicht dabei eine Vielzahl neuer Anwendungen. Die Forschungseinrichtungen sind über Berlin, Dresden, Leipzig, Chemnitz und Jena verteilt. Auffällig bei den Publikationen ist die starke Vertretung von Organisationen aus Dresden (allen voran das Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme, gefolgt von der TU Dresden, dem Leibniz IFW und an achter Stelle dem Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe). Die geringe Anzahl von lediglich 61 Unternehmen, insbesondere im Verhältnis zu den 50 Forschungseinrichtungen, zeigt, dass diese Schlüsseltechnologie sich in ihrem Lebenszyklus in einer frühen Entwicklungsphase befindet und Anwendungen noch nicht in großer Zahl entwickelt worden sind.
12. **Recyclingtechnologien:** Recyclingtechnologien umfassen Technologien und Verfahren zur Aufbereitung und Wiederverwertbarkeit von Abfällen aller Art. In Ostdeutschland konnte eine Gesamtanzahl von 48 Forschungseinrichtungen identifiziert werden, die hauptsächlich am Standort Berlin angesiedelt sind. Die Publikationsaktivitäten zeigen in Ostdeutschland eine deutlich höhere Dynamik als in Westdeutschland und liegen damit über dem bundesweiten Niveau. Auch die Unternehmenslandschaft in Ostdeutschland im Bereich Recycling ist zahlenmäßig eher klein aufgestellt. Die insgesamt 86 Unternehmen konzentrieren sich dabei auf den Raum Berlin, Sachsen (Dresden, Leipzig) und auf Teile Thüringens.
13. **Robotik:** Robotik ist eine Technologie, die sich mit dem Entwurf, dem Bau, der Implementierung und dem Betrieb von Robotern befasst. Die Robotik wird häufig in drei Kategorien eingeteilt: 1. Anwendungsspezifisch, 2. Mehrzweck, 3. Kognitiv. Mit Forschungseinrichtungen in Berlin, Dresden, Chemnitz, Jena und Magdeburg ist die Forschungslandschaft im Bereich Robotik jedoch quantitativ relativ dünn besiedelt. Auch hier wird die Mehrheit der Patente von ostdeutschen Erfinderinnen und Erfindern durch Unternehmen aus den alten Bundesländern, wie Volkswagen, Siemens, Kuka und Vorwerk angemeldet.
14. **Wasserstofftechnologien** umfassen alle Technologien, die im Zusammenhang mit der Herstellung, der Speicherung, des Transports und der Nutzung von Wasserstoff stehen. Die meisten Forschungseinrichtungen in diesem Bereich sind in Berlin angesiedelt, gefolgt von Chemnitz. Die Gesamtzahl von 130 identifizierten Unternehmen, die in Wasserstofftechnologien tätig sind, erstreckt sich über alle ostdeutschen Länder. Die meisten Unternehmen im Bereich Wasserstoff in Ostdeutschland kommen allerdings aus den alten Bundesländern, u.a. sind hier Siemens, Volkswagen und Linde hervorzuheben. Auffällig ist hier zudem der hohe Anteil von gemeinsamen Patentanmeldungen mit ausländischen Anmeldern.

Fazit

In der Gesamtbewertung zeigt sich, dass die historisch in Ostdeutschland verankerten Bereiche der optischen Technologien und Mikrosystemtechnik in der Forschung sehr gut abgebildet sind und sowohl im nationalen als auch im internationalen Vergleich eine Vorreiterrolle einnehmen. Hier sind auch korrespondierende Stärken in der Unternehmenspopulation zu erkennen.

Spezialisierungsvorteile zeigen sich vor allem im Raum Berlin und an den Forschungs- und Industriestandorten Sachsens sowie in Jena. Die anderen Bundesländer Ostdeutschlands hingegen weisen jeweils nur eine bis zwei Spezialisierungen in Bezug auf die Schlüsseltechnologien auf. Der Bereich Gesundheit ist zwar quantitativ unterrepräsentiert, weist aber eine hohe Forschungsqualität auf, die in enger Verbindung mit den Forschungstätigkeiten der Charité zu sehen ist.

Einzelne Schlüsseltechnologien, wie Künstliche Intelligenz (KI) und Internet of Things (IoT) zeigen ein starkes Wachstum in der Forschungstätigkeit und stellen somit in diesen Indikatoren ein positives Bild dar. Insbesondere die KI ist auf Basis der Analyse sowohl hinsichtlich der unternehmerischen Tätigkeiten als auch in der Forschung sehr breit aufgestellt. Das Internet of Things und die AR/VR sind zwar im Vergleich zur KI in der Forschung weniger profilierte Themen, werden dennoch von einer großen Anzahl an Unternehmen genutzt. Dies ist ein Indiz für die breite Anwendbarkeit dieser Technologien.

Weitere Technologien zeigen unterschiedliche Profile in Ostdeutschland. Z.B. sind neue Werkstoffe deutlich stärker in der Forschung als in der Unternehmenswelt repräsentiert. Ebenso bieten sich im Hinblick auf die Forschung an und den Einsatz von Recyclingtechnologien, Quantentechnologie, Big Data oder Blockchain deutliche Entwicklungspotentiale. Dies betrifft sowohl die Anzahl der Forschungseinrichtungen und die Forschungsintensität als auch die Anzahl der Unternehmen, die entsprechende Technologien erforschen und entwickeln.

Die höchste Spezialisierung weist Ostdeutschland im Bereich Quantentechnologien auf. Allerdings findet diese auf einem sehr niedrigen Ausgangsniveau und in einem Forschungsfeld statt, das sich hinsichtlich der Anwendungen in einem frühen Entwicklungsstadium befindet.

Forschung und Entwicklung von Batterietechnologien sind vor allem im Forschungssektor beheimatet, durch die Ansiedlung von Tesla ist hier jedoch ein deutlicher Impuls für die Anwendungsorientierung zu erwarten. Die Wasserstofftechnologien spielen im Forschungsbereich bis dato nur eine untergeordnete Rolle.

Ein Merkmal der unternehmerischen Allokation der Schlüsseltechnologien in den neuen Bundesländern sind klar profilierte Standorte. Hierbei zeigt sich vor allem die Dominanz von Berlin, Dresden, Leipzig und Jena als Technologiestandorte der ostdeutschen Länder ab. Berlin weist dabei eine deutliche Diversifizierung auf: die meisten der ostdeutschen Stellen mit Bezug zu Digitalisierung, wie künstliche Intelligenz, IoT, Biotechnologie, AR/VR und Quantentechnologien werden in Berlin angeboten, während Dresden und Jena besondere Stärken in den Bereichen Mikroelektronik und Photonik aufweisen.

Empfehlungen

Die eingangs genannten Orientierungspunkte im Zusammenspiel mit den kurz skizzierten Technologieanalysen werden in folgenden Handlungsempfehlungen konkretisiert.

1. **Stärken stärken:** In jenen Schlüsseltechnologien, in denen es bereits eine gute Ausgangsposition sowohl auf Seiten der Forschung als auch mit Blick auf die Anwendung gibt, sollten diese mit flankierenden Maßnahmen gestärkt werden. Dazu zählen vor allem die Photonik und Mikroelektronik. Für diese Schlüsseltechnologien eignen sich besonders **Ansiedlungsinitiativen** der

Länder, aber auch Maßnahmen zur **Erhöhung der internationalen Sichtbarkeit** des Standorts Ostdeutschland durch die Stärkung internationaler Kooperationen in Wissenschaft und Wirtschaft (z. B. mithilfe der GTAI). Ziel muss hier eine länderübergreifende Verzahnung der Stärken sein (Cluster-Kooperation national und international, Beteiligung an europäischen Forschungskonsortien (IPCEI) etc.).

2. **Kritische Masse schaffen:** Im Falle der Schlüsseltechnologien, die ein heterogenes Stärken- und Schwächen-Profil aufweisen, sollte darauf hingearbeitet werden, eine kritische Masse aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen aufzubauen. Bei Technologien wie Biotechnologie und KI ist eine Konzentration auf den Standort Berlin, inklusive seines Umlands, deutlich zu erkennen, weshalb die Herstellung einer kritischen Masse auch die Kooperation mit Brandenburg betrifft. In den Bereichen E-Mobilität und Recycling sollte der **Aufbau von Forschungskapazitäten** unterstützt werden. In den Schlüsseltechnologien Neue Werkstoffe, IoT und AR/ VR sind viele Forschungsaktivitäten zu erkennen, die sich aber noch nicht in einer breiten Anwendung niederschlagen. Für den Anschub eignen sich besonders Ansätze zu einer Intensivierung des Wissens- und Technologietransfers.
3. **Förderbedarfe adressieren:** Bei den Schlüsseltechnologien, bei denen es nur vereinzelt Anzeichen für eine Forschungs- bzw. Verwertungsperspektive gibt, sollte die Förderung gezielt auf solche Maßnahmen ausgerichtet sein, die grundlegende Schwächen und Herausforderungen der ostdeutschen Wirtschaft adressieren. Zentral ist hier der **Aufbau von Infrastruktur** anzusehen, um erst einmal die Voraussetzungen und Möglichkeiten zu schaffen, damit Forschungseinrichtungen und Unternehmen tätig werden können. IT-basierte Technologien brauchen die notwendigen **Netze**, um eine breite Anwendung zu ermöglichen. Schlüsseltechnologien mit Bezug zu Energie (hier etwa die Wasserstofftechnologie) brauchen **Investitionen** in bereits existierende Infrastrukturen und eine Anbindung an erneuerbare Energien.
4. **Ausstrahlung der Wachstumszentren erhöhen:** Ostdeutschland verfügt mit Städten wie Berlin, Leipzig, Dresden und Jena über Wachstumszentren, in denen Schlüsseltechnologien stark vertreten sind und ökonomisches und demographisches Wachstum stattfindet. Dieses Wachstum sollte forciert und genutzt werden, sodass davon das Umland und weitere ostdeutsche Regionen profitieren können. Die thematischen Schwerpunkte dieser Wachstumszentren sollten weiter ausgebaut werden und so ihre **Sichtbarkeit** für globale Top-Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Gründerinnen und Gründer und Investorinnen und Investoren **erhöht** werden. Damit das Umland dieser Zentren davon profitiert, muss es infrastrukturell besser an die Zentren angebunden werden und attraktive Wohn- und Gewerbeflächen bieten. Die letzten Jahre mit der Ansiedlung produzierender Großunternehmen in den Schlüsseltechnologien an den Rändern der Wachstumszentren (wie z. B. Tesla in Grünheide, Intel in Magdeburg oder CATL in Arnstadt) zeigen einen vielversprechenden Trend auf, der zur sozioökonomischen Stabilisierung des ländlichen Raumes genutzt werden kann.
5. **Gleichwertige Lebensverhältnisse in strukturschwachen Regionen schaffen:** In den strukturschwachen Regionen Ostdeutschlands sind vergleichsweise wenige Akteure der Schlüsseltechnologien vorhanden. Um attraktiv für hochqualifizierte Arbeitskräfte, Gründende, Forschende oder Investorinnen und Investoren zu werden, benötigen diese Regionen zuerst eine **Aufwertung ihrer Infrastruktur und Erreichbarkeit**. Ansonsten droht ihnen eine Spirale aus ökonomischer und demographischer Schrumpfung, die in eine gesellschaftliche Polarisierung führt. Gerade letztere wirkt bereits jetzt abschreckend für Investoren und ausländische Fachkräfte in einigen Regionen. Entwicklungen wie das Wachstum mobilen Arbeitens und stark steigende Mieten in den Großstädten können von strukturschwachen Regionen nur genutzt werden, wenn Leistungen der Daseinsvorsorge gleichwertig verfügbar sind. Für Schlüsseltechnologien spielt hierbei

- insbesondere der **Breitbandausbau** eine große Rolle für die Attraktivität dieser strukturschwachen Gebiete für hochqualifizierte Arbeitskräfte und Unternehmen.
6. **Chancen kreieren:** Fast alle in dieser Studie genannten Schlüsseltechnologien haben Ansatzpunkte für eine zielgerichtete Förderung. Bei anderen, solchen mit ausbaufähigen Ausgangsbedingungen, ist übergreifender politischer Konsens von Nöten, um die Schlüsseltechnologie systematisch zu fördern und in die Anwendung zu bringen. Die damit verbundenen großen Investitionen können nur im Zusammenspiel von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft geleistet werden. Ein Beispiel hierfür ist das Technologiefeld „Energie“. Mit dem Kohleausstieg und vor dem Hintergrund der Abhängigkeit Deutschlands von fossilen Brennstoffen besteht in der Herstellung und dem Vertrieb von Wasserstoff eine reale Wachstumschance für die Länder Ostdeutschlands. Der dafür notwendige Abstimmungsprozess kann letztlich nur von den politischen Entscheidungsträgerinnen und -trägern getrieben werden.
 7. **Gründungskultur in die Gesellschaft tragen:** Die Entstehung schnell wachsender Unternehmen ist stark von den Entscheidungen und dem Handeln von Gründerinnen und Gründern getrieben. Aufgrund der demographischen Entwicklung Ostdeutschlands ist es ratsam, den Kreis an geförderten Gründungspersonen auszuweiten. Auch abseits von Hochschulen verfolgen beispielsweise berufserfahrene Menschen das Ziel, Unternehmen zu gründen, wie z. B. geförderte Projekte zeigen. Aufgrund der geringeren Ausstattung mit privatem Kapital in Ostdeutschland erfordert die Ausweitung der Zahl an Gründenden besondere Förder- und Unterstützungsbedarfe. Zudem ist die **Förderung der Diversität von Gründungsteams**, sei es nach Alter, Geschlecht, Herkunft oder Fachrichtung gerade im Bereich der Schlüsseltechnologien vielversprechend, da so verschiedenen Wissensbestände kombiniert werden. In **technologiespezifischen Inkubatoren, Test- und Demonstrationsanlagen** können diese Gründerinnen und Gründer zusammenfinden und ihre Ideen zur Marktreife bringen.
 8. **Spezialisierung im Transfer ermöglichen:** Der Wissens- und Technologietransfer gehört seit Jahrzehnten zu den Kernfragen der Innovationspolitik mit zahlreichen Aktivitäten und Förderformaten. Dabei werden allen Akteuren des Innovationssystems entsprechende Aufgaben zugewiesen, was tendenziell zu einer Vereinheitlichung und Verwässerung der Rollen, insbesondere jener der Forschungsakteure führt. Gerade in Ostdeutschland ist auf eine differenzierte Forschungslandschaft mit Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und intermediären Akteuren zu verweisen, denen wiederum eine Vielzahl von forschenden KMU als Adressaten des Transfers gegenüberstehen. Wünschenswert ist hier eine **klarere Rollendefinition der Akteure**, bei der bewusst zwischen herausragender Forschung, Kooperationsoffenheit und regionalen Transferaufgaben differenziert wird. Dabei sollten bei neuen akteursübergreifenden Formaten (Cluster, Netzwerke, große Forschungsverbünde) jeweils **Transfer-Agenten** benannt werden, die sowohl für einen beschleunigten Wissensfluss als auch unterschiedliche Anforderungen aus der Verwertung (Vor- und Zwischenfinanzierung) über **zusätzliche Finanzierungsinstrumente** verfügen.
 9. **Starke Ökosysteme als starke Standorte für Giga-Sites:** Der Trend der letzten Jahre in den Schlüsseltechnologien zu Investitionen in „Giga-Sites“ birgt enorme Chancen für Ostdeutschland, welche bereits in einigen Fällen (Tesla, Intel, CATL) genutzt wurden. Um diese Erfolge fortzuführen, benötigt es eine **Verfügbarkeit von großen Flächen**, die bereits vermarktbar sind, attraktive Standortmerkmale aufweisen und international sichtbar sind. Insbesondere die **Verfügbarkeit von Hochqualifizierten** und die **Stärke regionaler Innovationsökosysteme** sind im Bereich der Schlüsseltechnologien zentral, um im Wettbewerb um Großansiedlungen forschender Unternehmen erfolgreich zu sein. Diese sind auch entscheidend dafür, damit neben Produktionsstätten auch Niederlassungen in Forschung und Entwicklung entstehen, welche die Verfügbarkeit hochbezahlter Arbeitsplätze in Ostdeutschland erhöhen.