



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Technologisch souverän die Zukunft gestalten

BMBF-Impulspapier zur technologischen Souveränität

Inhalt

1. Einleitung: Warum technologische Souveränität für uns wichtig ist	2
2. Leitlinien: Was technologische Souveränität bedeutet	3
2.1. Technologische Souveränität erfordert gezielte Investitionen in Schlüsseltechnologien	3
2.2. Technologische Souveränität braucht europäische und internationale Zusammenarbeit	4
2.3. Technologische Souveränität erfordert einen ganzheitlichen Politikansatz	5
3. Leitinitiativen: Wo wir technologische Souveränität erreichen wollen	8
3.1. Elektronik der nächsten Generation.....	9
3.2. Zurück an die Weltspitze der Kommunikation.....	11
3.3. Software und Künstliche Intelligenz souverän entwickeln	12
3.4. Datentechnologien – für die souveräne Datenökonomie und -gesellschaft	14
3.5. Ein Quantencomputer „Made in Europe“	15
3.6. Die Zukunft der Wertschöpfung technologisch souverän mitgestalten	16
3.7. Kreislaufwirtschaft: Neue Technologien für mehr Ressourceneffizienz und Rohstoffsicherheit	18
3.8. Materialinnovationen: Basis für Nachhaltigkeit, Wettbewerbsfähigkeit und Wohlstand	19
3.9. Batterieforschung – Eine Innovationspipeline für die Rückkehr an die Weltspitze	21
3.10. Grüner Wasserstoff – Deutschland zum Leitmarkt und weltweiten Leitanbieter machen	22
3.11. Souveränität in der Impfstoff-Forschung und -Entwicklung	23
3.12. Etablierung neuer und starker Partnerschaften für Deutschland und Europa	24
4. Ausblick: Der weitere Weg	26
Impressum.....	27

1. Einleitung: Warum technologische Souveränität für uns wichtig ist

Technologien sind eine wichtige Grundlage unseres Wohlstands. Sie ermöglichen Innovationen, sichern Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung und leisten einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung globaler Herausforderungen, wie dem sich beschleunigenden Klimawandel oder der aktuellen Covid-19-Pandemie. Derzeit verschärft sich der internationale Technologiewettbewerb zunehmend. Regionen wie China, Indien oder Lateinamerika streben wirtschaftlich und politisch nach einer stärkeren Rolle im Weltgeschehen – und sehen Technologien als den Schlüssel dazu. Etablierte Nationen wie die USA verteidigen ihre Position. Der aktuelle Wettstreit um Mikrochips ist nur ein Beispiel für die möglichen Folgen dieser Konkurrenz.

Wir müssen auch zukünftig in der Lage sein, die Entwicklung und Anwendung von Schlüsseltechnologien international auf Augenhöhe und im Sinne unserer Werte mitzugestalten. So können wir dazu beitragen, Wettbewerbsfähigkeit, Arbeitsplätze und Wohlstand in Deutschland zu sichern, ohne dabei Kompromisse zu Lasten unserer Werte wie Freiheit, Rechtsstaatlichkeit und Nachhaltigkeit zu machen. Dies ist der Kern von technologischer Souveränität. Sie ist ein wichtiger Teil der Antwort auf die Frage, wovon wir künftig leben wollen. Nur eine überzeugende Antwort hierauf ermöglicht uns auch eine souveräne Entscheidung darüber, wie wir leben wollen. Die Beantwortung der Frage nach dem „Wovon“ und nach dem „Wie“ wir künftig leben wollen, sind zwei Seiten derselben Medaille.

Der Erhalt und Ausbau von technologischer Souveränität ist essentiell für die Zukunftsfähigkeit unseres Wirtschafts- und Gesellschaftsmodells. Für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen und europäischen Wirtschaft, die Vorsorgeaufgaben des Staates und die Resilienz von Wirtschaft und Gesellschaft bildet die souveräne Entwicklung und Anwendung von Schlüsseltechnologien eine wichtige Grundlage. Diese sind auch erforderlich, um Veränderungen wie die Digitalisierung oder die Umstellung auf eine nachhaltigere, ressourcen- und klimaschonende Wirtschafts- und Lebensweise im Sinne unserer Werte gestalten zu können. Aspekte wie Sicherheit, Zuverlässigkeit, Nachhaltigkeit oder Energie- und Ressourceneffizienz müssen dafür bei der Entwicklung neuer Technologien und ihren Anwendungen konsequent berücksichtigt werden.

Dabei ist klar, dass nationale Alleingänge nicht erfolgversprechend sind. Die Marktmacht des europäischen Binnenmarkts ist eine wichtige Voraussetzung, um für innovative Ideen aus der EU einen umfassenden Zugang zu den globalen Märkten zu sichern und Standards zu setzen. Ein einzelner europäischer Staat kann aufgrund seiner relativen Größe im Vergleich zu Wirtschafts- und Innovationsräumen wie den USA oder China keine global wirksamen Impulse geben. Innerhalb der EU ist Deutschland als wirtschafts- und innovationsstärkstes Land ein zentraler Treiber für Innovationen.

Das BMBF versteht sich als Taktgeber zur Stärkung der technologischen Souveränität Deutschlands und Europas. Denn das Fundament von technologischer Souveränität liegt in unseren Kompetenzen, in der Erforschung neuer Technologien, im Technologietransfer und in der Anwendung, die das BMBF maßgeblich fördert. Die Technologieförderung ist dabei eingebettet in eine ganzheitliche Innovationspolitik: Technologische und Soziale Innovationen werden zusammen vorangetrieben und gehen dabei Hand in Hand mit Investitionen in Aus- und Weiterbildung, um die Menschen auf anstehende Veränderungen vorzubereiten. Die Förderung technologischer Souveränität leistet damit einen wichtigen Beitrag zur Hightech-Strategie 2025, der Forschungs-

und Innovationsstrategie der Bundesregierung, welche diesen Ansatz mit Nachdruck verfolgt. Im vorliegenden Impulspapier stellt das BMBF Leitlinien für die Stärkung von technologischer Souveränität durch Bildungs- und Forschungspolitik zur Diskussion und zeigt anhand verschiedener konkreter Handlungsfelder beispielhaft auf, wo in den nächsten Jahren weitere Fortschritte erreicht werden sollten. Das Papier basiert dabei auch auf Diskussionen mit zentralen Stakeholdern aus Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik. Wir werden diesen Diskussionsprozess in den nächsten Monaten fortsetzen und unsere Programmatik für die Stärkung von technologischer Souveränität sukzessive weiterentwickeln.

2. Leitlinien: Was technologische Souveränität bedeutet

Unter technologischer Souveränität versteht das BMBF den Anspruch und die Fähigkeit zur **kooperativen (Mit-)Gestaltung von Schlüsseltechnologien und technologiebasierten Innovationen**. Dies umfasst die Fähigkeiten, Anforderungen an Technologien, Produkte und Dienstleistungen entsprechend der eigenen Werte zu formulieren, Schlüsseltechnologien entsprechend dieser Anforderungen (weiter) zu entwickeln und herzustellen sowie Standards auf den globalen Märkten mitzubestimmen. Technologische Souveränität **kann dabei auch erfordern, Schlüsseltechnologien und technologiebasierte Innovationen in Europa eigenständig zu entwickeln und hierfür eigene Produktionskapazitäten aufzubauen**, wenn dies zum Erhalt der staatlichen Handlungsfähigkeit oder zur Vermeidung einseitiger Abhängigkeiten notwendig ist. Dies stellt die offenen weltweiten Wirtschafts- und Wissenschaftsbeziehungen Deutschlands nicht in Frage. Arbeitsteilung, Vernetzung und multilaterale Kooperation sind zentrale Bausteine für die Fähigkeit Deutschlands und Europas, globale Entwicklungen nach eigenen Vorstellungen und Interessen mitzugestalten. Im Folgenden werden Leitlinien der Bildungs- und Forschungspolitik für den Erhalt und Ausbau von technologischer Souveränität dargelegt.

2.1. Technologische Souveränität erfordert gezielte Investitionen in Schlüsseltechnologien

Technologische Entwicklungen, die heute und künftig eine Schlüsselfunktion für die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung haben, müssen verstärkt staatlich unterstützt werden. Dabei geht es nicht darum, eine weltweit führende Position auf allen Technologiefeldern zu erreichen. Die Einbindung in globale Wissens- und Innovationsnetzwerke und Lieferketten bleibt ein wichtiger Faktor, von dem Deutschland weiter profitieren soll. Zudem begrenzen zunehmend komplexere Innovationsprozesse die Möglichkeiten eines einzelnen Staates. Erforderlich ist daher eine kluge Auswahl der relevanten Technologien basierend auf einer Diskussion der Fragen, welche Technologien heute und in Zukunft eine Schlüsselfunktion haben und unter welchen Voraussetzungen der Staat die Technologieentwicklung unterstützen sollte.

Herangezogen werden sollten hierfür verschiedene Kriterien:

- Schlüsseltechnologien zeichnen sich durch eine hohe, technologiefeld- und branchen-übergreifende **Anwendungsbreite** und ein hohes **Innovationspotenzial** aus.
- Sie sind eine **wichtige Grundlage für die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft** und/oder für die **Erfüllung zentraler gesellschaftlicher Bedarfe** und damit zusammenhängender staatlicher Vorsorgeaufgaben (z. B. Gewährleistung der zivilen Sicherheit, Klima- und Umweltschutz, Gesundheitsversorgung, Betrieb kritischer Infrastrukturen).
- Sie sind **forschungsintensiv** und durch einen hohen **Bedarf an Kapital und spezifischen Fähigkeiten** in Entwicklung und Anwendung gekennzeichnet.
- Sie erfordern die Sicherstellung der **kompletten Wertschöpfungskette** von der Grundlagenforschung bis zur Marktreife. Als zentrale Quelle für Ideen, Methoden und Technologien sind eine **auskömmlich finanzierte Grundlagenforschung** sowie spezifische Maßnahmen, um die dort entstehenden Potenziale zu heben, wichtige Elemente.
- Sie sind **zukunftsfähig**, d. h. auf Jahre hinaus bedeutsam. Erforderlich sind daher insbesondere Methoden, um **neu aufkommende Technologiefelder** und Wertschöpfungsmodelle frühzeitig zu identifizieren und aufzugreifen sowie die kontinuierliche Beobachtung internationaler Trends. Die Daten- und Plattformökonomie sowie klima- und ressourcenschonende Technologien sind hier bedeutende Beispiele.

Weitere Kriterien werden u. a. in der Außenwirtschaftsverordnung und der EU-Screening-Verordnung aufgeführt. Die Kriterien sind dabei nicht immer komplementär zueinander und müssen insofern ausbalanciert und gegeneinander abgewogen werden. Zudem müssen stets die Fähigkeiten des Marktes und privatwirtschaftlicher Akteure in den betroffenen Technologiefeldern bewertet werden, um zu entscheiden, inwiefern der Staat aktiv werden sollte. Dies kann beispielsweise die gezielte Kooperation mit Unternehmen erfordern, um neue Märkte zu entwickeln, Nachteile in Bereichen mit hohen Netzwerk- oder Skaleneffekten zu überwinden oder Innovationsökosysteme aufzubauen. Vermieden werden sollten zudem einseitige Abhängigkeiten Deutschlands bzw. Europas von außereuropäischem

Wissen und Importen, da sie die wirtschaftliche oder politische Handlungsfähigkeit signifikant einschränken können.

Die Aufgabe ist dabei nicht statisch, sondern dynamisch. Das Portfolio an Schlüsseltechnologien und die Kriterien, an denen sich die öffentliche Technologieförderung orientiert, müssen regelmäßig vor dem Hintergrund aktueller wirtschaftlicher, gesellschaftlicher und politischer Entwicklungen überprüft und Handlungsoptionen neu bewertet werden.

2.2. Technologische Souveränität braucht europäische und internationale Zusammenarbeit

Technologische Souveränität ist abzugrenzen von Bestrebungen, Technologieführerschaft in allen Schlüsseltechnologien zu erreichen, Wertschöpfungsketten vollständig in Deutschland abzubilden und letztlich die Abhängigkeit vom internationalen Handel zu reduzieren. Gerade für Deutschland als Exportnation sind die Vorteile des Freihandels unbestritten. Tatsächlich entstehen diese Vorteile vorrangig aus der stetigen Weiterentwicklung und dem freien Austausch von technologiebasierten Innovationen. Technologische Souveränität erfordert daher grenzüberschreitende Zusammenarbeit und ermöglicht sie gleichermaßen.

Erforderlich sind dafür Kompetenzen, Expertisen und Marktpositionen für eine internationale Zusammenarbeit auf Augenhöhe, ohne substantielle Macht- und Informationsasymmetrien. Beispielsweise müssen importierte Komponenten auf die Erfüllung der eigenen, wertegetriebenen und sicherheitsgewährleistenden Anforderungen geprüft und in komplexe Systeme integriert werden können. Ein gutes Beispiel ist die Elektronik, in der Asien ein wichtiger Anbieter ist. Zudem erfordern zunehmend komplexer werdende Technologien und Innovationprozesse sowie globale Herausforderungen wie der Klimawandel die Zusammenarbeit über Ländergrenzen hinweg. Hierbei nehmen die Forschungsinfrastrukturen eine Vorreiterrolle ein: Als Ermöglichungsinstrumente für die Beantwortung grundlegender Fragestellungen sind sie zugleich Antrieb und Werkzeug in der Entwicklung neuer Technologien. Die Kollaboration in etablierten internationalen Netzwerken ist dabei selbstverständlich und bei großen Forschungsinfrastrukturen die Regel.

Internationale Zusammenarbeit kann zum Abbau von Informationsasymmetrien und zur Etablierung einer Kooperation auf Augenhöhe beitragen. Dies gilt vor allem für die Kooperation mit Ländern, mit denen Deutschland eine Wertepartnerschaft verbindet. Grundlagen sind die Freiheit und Selbstorganisation der Wissenschaft und sichere und transparente Rahmenbedingungen. Multilaterale Organisationen und Foren bilden einen übergeordneten Austausch-, Orientierungs- und Regulierungsrahmen. Bilaterale Abkommen zur Wissenschaftlich-Technologischen Zusammenarbeit (WTZ) und bilaterale WTZ-Sitzungen führen zur Konkretisierung und Identifizierung von Technologie- und Themenfeldern, die gemeinsam gefördert werden sollen. Durch den länderübergreifenden Dialog von Unternehmen, Akteuren der Wissenschaft und der Forschungsorganisationen in gemeinsamen Projekten, Workshops und Veranstaltungen entstehen neue Wissensströme und verzweigte Innovationsnetzwerke. Ziel ist die Etablierung von nachhaltigen Kooperationsbeziehungen und Wertepartnerschaften. Auf diese Weise weiten sich für deutsche Akteure Mitwirkungs- und Gestaltungsräume.

Internationale Partnerschaften müssen dabei auf ein vorher für die jeweilige Schlüsseltechnologie definiertes innovations- und industriepolitikstrategisches Leitbild einzahlen. Kooperationspartnerschaften sind so zu wählen und anzulegen, dass die Interessen deutscher und europäischer Akteure bestmöglich zum Tragen kommen. Insbesondere ein nachteiliger Wissensabfluss, der die technologische Souveränität Deutschlands bzw. Europas etwa durch die Preisgabe von strategisch relevanten Wissen bzw. Kompetenzen schwächt, ist zu vermeiden.

Von zentraler Bedeutung für die technologische Souveränität ist zudem der Europäische Binnenmarkt, damit die technologieorientierte Wirtschaft Europas im internationalen Vergleich eine kritische Masse erreicht. Die Schaffung eines europäischen Forschungs- und Wirtschaftsraums ist der Schlüssel, um die EU in Konkurrenz mit den USA und China wettbewerbsfähig zu halten. Dabei können sich Deutschland und Europa insbesondere dann schnell und erfolgreich entwickeln, wenn sich nationale und europäische Strategien ergänzen. Die Zusammenarbeit im Europäischen Forschungsrahmenprogramm bietet hierfür eine verlässliche Basis. Die unter der deutschen Ratspräsidentschaft 2020 angestoßene Dynamisierung des EFR und eines systematischen Austausches zu

Foresight-Ergebnissen, um gemeinsame Interessenslagen für Technologiefelder der Zukunft zu identifizieren, sind ein wichtiger Baustein, um ein technologisch souveränes Europa zu fördern.

2.3. Technologische Souveränität erfordert einen ganzheitlichen Politikansatz

Bildung und Forschung sind unverzichtbar, um technologische Souveränität zu erhalten und auszubauen. Notwendig ist hierfür ein integrierter Politikansatz, der die verschiedenen Stufen der Innovationskette und die verschiedenen Akteure im Innovationsprozess ganzheitlich betrachtet.

Durch **Wissenschaft und Forschung** entwickeln sich nicht nur bestehende Technologien kontinuierlich weiter, sondern entstehen auch neue und disruptive Technologien sowie das Basiswissen für die übernächsten Technologien. So war Deutschland im vergangenen Jahrhundert in der Produktion hochqualitativer Unterhaltungselektronik und Consumeroptik führend, bis Halbleitertechnologien aus den USA und Asien einen grundlegenden Wandel einleiteten. Heute versprechen Künstliche Intelligenz und Quantentechnologien neue Möglichkeiten für Sensorik, Kommunikation oder Datenanalytik. Die Grundlagenforschung in Deutschland ist in diesen Bereichen bereits sehr aktiv. Technologische Souveränität erfordert dabei, die Technologiepipeline kontinuierlich gefüllt zu halten, neue Erkenntnisse in der Grundlagenforschung zu gewinnen, frühzeitig aufzugreifen und in Richtung Anwendung weiterzuentwickeln. Dabei ist permanente Weiterentwicklung exzellenter Grundlagenforschung und die Gewährleistung ihrer wissenschaftlichen Handlungsfähigkeit essentiell. Zudem kommt es aufgrund der zunehmenden Komplexität von Forschungs- und Entwicklungsprozessen gerade auf disziplin-, akteurs- und länderübergreifende Zusammenarbeit an.

Erst durch den **Transfer von Technologien** in die breite Anwendung werden deren Potenziale für Wertschöpfung, Wettbewerbsfähigkeit und bessere Lebensumstände von Bürgerinnen und Bürger realisiert und die zuvor formulierten Anforderungen zur Geltung gebracht. Technologische Souveränität erfordert daher, den Transfer von Ideen aus der Wissenschaft in Innovationen zu befördern, die Entstehung neuer Geschäftsmodelle und neuer Unternehmen voranzutreiben und die

Diffusion von Technologien in die Breite zu unterstützen. Die Unterstützung von innovationsfördernden Strukturen, regionalen Innovationsnetzwerken (Clustern), technologieorientierten Unternehmensgründungen sowie von Forschung und Entwicklung in der Wirtschaft, insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) sowie größeren Mittelständlern („Hidden Champions“) sind dafür zentrale Elemente. Insgesamt ist zukünftig noch stärker darauf zu achten, dass innovative Unternehmen in Deutschland und Europa entstehen, wachsen und langfristig erhalten bleiben.

Der Transfer von Forschungsergebnissen gelingt erfahrungsgemäß dort, wo er von **Innovationsökosystemen** aus Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft getragen wird, die auch in der Standardsetzung Schlagkraft entfalten. Technologische Souveränität erfordert, solche Ökosysteme aufzubauen, mit notwendigen Infrastrukturen auszustatten, national, europäisch und international zu vernetzen, langfristig zu betreiben und stetig weiterzuentwickeln. Aktuell stehen insbesondere der Aufbau von Ökosystemen für die Erfassung, Verknüpfung, Auswertung und den Austausch von Daten und die dafür benötigten Technologien (z. B. GAIA-X, Nationale Forschungsdateninfrastruktur, Gauss Centre for Supercomputing, Nationales Hochleistungsrechnen an Hochschulen, Pilotnetz Quantenkommunikation, Aktionsplan ErUM-Data zur Digitalisierung in der Grundlagenforschung) sowie für die Entwicklung und den Transfer neuer Technologien (z. B. Forschungsfertigung Batteriezelle, Innovationslabor Logistik) im Vordergrund.

Standards spielen eine wesentliche Rolle für technologische Souveränität. Wo sie fehlen, entstehen Friktionen und Kosten oder es wird nur eine Nische bedient. Standardisierungsfragen müssen einerseits entwicklungsbegleitend im Forschungsprozess verankert sein. Beispiele hierfür sind das Referenzarchitekturmodell für die Industrie 4.0 (RAMI 4.0) und das darauf aufbauende Betriebssystem BaSys für das Internet der Dinge, die im Industrial Data Space entwickelte Referenzarchitektur für den Datenaustausch sowie das Nationale Referenzprojekt zur IT-Sicherheit in Industrie 4.0 (IUNO). Zudem ist die Mitarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft in internationalen Normungs- und Standardisierungsinitiativen unabdingbar. Forschungsförderung kann hier zur notwendigen Vernetzung der relevanten Akteure beitragen, wie zum Beispiel bei der Formierung

der Standardisierungsplattform für 5G, „5G ACIA“. Daneben werden Standards häufig durch den Erfolg im Marktwettbewerb mitbestimmt. Hierfür ist die Marktmacht von Unternehmen sowie Konsumentinnen und Konsumenten entscheidend. Große Wirtschafts- und Innovationsräume, wie Nordamerika, Asien oder Europa, sind dabei im Vorteil. Deutschland ist auch deshalb auf die europäische Zusammenarbeit angewiesen. Bestehende Standards wie GSM oder MPEG-4 zeigen, wie aus der Forschung in Deutschland und Europa heraus globale Standards entstehen können.

Kompetenzen sind zentrale Bausteine auf allen Ebenen technologischer Souveränität: Die zunehmende Bedeutung und Komplexität von Forschung und Entwicklung erfordern eine steigende Zahl an adäquat ausgebildeten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern. Auch der erfolgreiche Technologietransfer setzt eine ausreichende Anzahl gut ausgebildeter Fachkräfte voraus, die neue Technologien an die Erfordernisse von Anwendungsfeldern und die Bedürfnisse von Anwendern anpassen können und in der Lage sind, sich stetig an technologische Weiterentwicklungen anzupassen. Und nicht zuletzt benötigen auch Bürgerinnen und Bürger die Kompetenzen, souverän mit neuen Technologien umgehen, deren Vorteile nutzen und Risiken abschätzen zu können. Hierzu gehört auch die Vermittlung von Zukunftskompetenz, im Sinne einer „future literacy“: Die Fähigkeit, sich mit zukünftigen Entwicklungen auseinanderzusetzen und diese mitzugestalten. Dabei schläft die internationale Konkurrenz nicht: In Ländern wie China verlassen jährlich über eine Million Ingenieurinnen und Ingenieure die Hochschulen, während bei uns die Lücke zwischen offenen Stellen und Bewerbern in den MINT-Berufen stetig wächst. Die Nachwuchsausbildung und der Ausbau von Forschungs-, Transfer- und Anwendungskompetenzen ist daher eine zentrale Aufgabe für technologische Souveränität. Neben einem guten Aus- und Weiterbildungssystem kommt es dabei auch auf maßgeschneiderte Initiativen an, um den Fachkräftebedarf in konkreten Technologie- und Anwendungsfeldern und auch im technologiegetriebenen Strukturwandel decken zu können. Daneben müssen auch die Rahmenbedingungen für die Gewinnung exzellenter Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Ausland sowie internationaler Nachwuchskräfte für ein Studium in Deutschland geschaffen werden.

Technologieentwicklung muss durch geeignete **rechtliche Rahmenbedingungen** flankiert werden. Ein innovations- und investitionsoffenes Ordnungsrecht, welches zukunftsweisende Anwendungen und Geschäftsmodelle frühzeitig in Praxis und Gesellschaft bringt, ist daher ein zentraler Erfolgsfaktor für den Erhalt und den Ausbau technologischer Souveränität. Forschungs- und Experimentierklauseln können gerade in eng regulierten Bereichen wie dem Energiewirtschaftsrecht wichtige Impulse geben. Das Ordnungsrecht setzt zugleich den Rahmen für die Technologieentwicklung. Normen müssen in diesem Sinne die Entstehung und Verbreitung von Innovationen entlang zentraler verfassungsrechtlicher Wertentscheidungen gewährleisten und ermöglichen. So zeigt das neue europäische Datenschutzrecht, dass die EU rechtliche Standards setzen kann, die global Beachtung finden. Dadurch kann Produkten und Dienstleistungen aus Deutschland und Europa, die die Vorgaben der Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) auf innovative Weise erfüllen, der Zugang zu anderen Märkten erheblich erleichtert werden. Der Green Deal der Europäischen Kommission stellt bereits jetzt die Weichen für nachhaltige Entwicklung als Treiber von Wertschöpfung und Innovationspotenzialen in Europa.

Zentral ist dabei die systematische **Einbindung der Gesellschaft**. Denn gesamtgesellschaftliche Anforderungen an Technologien können nur im stetigen Austausch mit den Bürgerinnen und Bürgern formuliert werden. Die breite Anwendung von Technologien setzt Vertrauen sowie Wissen über gesellschaftliche Bedarfe voraus, das nur durch eine frühzeitige und aktive Einbindung auf allen Ebenen bei der Ausgestaltung des Innovationsprozesses entsteht. Dabei profitieren alle am Innovationsprozess Beteiligten von der Expertise und dem Erfahrungswissen der Bürgerinnen

und Bürger. Methoden solcher Partizipation sind beispielsweise Co-Creation und Citizen Science. Hierbei sollten u. a. auch ethische, rechtliche und soziale Aspekte frühzeitig berücksichtigt werden.

In allen Fällen ist eine **gute Balance zwischen themenspezifischen und themenoffenen Ansätzen** erforderlich. Einerseits müssen gezielt Themen vorangetrieben werden, die vom Markt nicht adäquat angegangen werden, etwa aufgrund von Netzwerk- oder Lock-in-Effekten, oder bei denen eine werteorientierte Steuerung gesellschaftlich gewünscht ist. Andererseits hat die Bildungs- und Forschungspolitik auch die Aufgabe, Rahmenbedingungen zu schaffen, um die in der Gesellschaft vorhandenen Innovationspotenziale möglichst umfassend zu erschließen und neu aufkommenden Themenfeldern und Ansätzen den nötigen Raum zu geben. Hierfür ist insbesondere eine auskömmliche Grundfinanzierung für Forschung und Entwicklung notwendig, insbesondere im Bereich der Grundlagenforschung. Hierzu trägt das BMBF gemeinsam mit den Ländern im Rahmen der GWK maßgeblich mit der Unterstützung der DFG, der Hochschulen und der außeruniversitären Forschungseinrichtungen bei. Darüber hinaus bedarf es gezielter Maßnahmen, um die Potenziale aus der Grundlagenforschung noch systematischer zu heben und in Richtung Anwendung weiterzuführen. Das BMBF wird seine Förderansätze hierzu zielgerichtet weiterentwickeln. Schließlich tragen auch themenoffene Querschnittsmaßnahmen zur Förderung von Innovation, Vernetzung und Transfer nach dem Bottom-up-Prinzip zur Erschließung neuer, insbesondere regionaler Innovationspotenziale bei. Aktuelle Beispiele hierfür sind die Zukunftscluster-Initiative oder die Aktivitäten im Rahmen der Programmfamilie „Innovation und Strukturwandel“.

3. Leitinitiativen: Wo wir technologische Souveränität erreichen wollen

Wir wollen in Deutschland und der Europäischen Union die technologische Souveränität stärken. Die **Grundlage** bilden dabei **Schlüsseltechnologien. Als wichtige Grundlagen unserer heutigen Leistungsfähigkeit** haben sich z. B. erwiesen:

- **Informations- und Kommunikationstechnologien**, insbesondere **Mikroelektronik**, als Hardware-Basis der digitalen Transformation, **Software-Systeme**, die zunehmend in allen Bereiche und Disziplinen genutzt werden sowie lernende Systeme inklusive **Künstliche Intelligenz**,
- **photonische** Technologien und ihre aktuelle Weiterentwicklung, die **Quantentechnologien** der 2. Generation,
- **Materialinnovationen**, als Grundlage nahezu aller Entwicklungen,
- die **Biotechnologie**, die Erforschung, Veränderung und Nutzung von lebenden Organismen, Teilen von ihnen oder von biologischen Prinzipien und Wirkmechanismen in technischen Anwendungen,
- **Produktionstechnologien** und -verfahren, wie die additive Fertigung, die viele der genannten Technologien integrieren und mit klassischem ingenieurwissenschaftlichem Know-How verknüpft,
- **Umwelttechnologien**, die gezielte Anwendung verschiedener Technologien zur Reduzierung von Umweltbelastungen und als eine wichtige Grundlage für eine Kreislaufwirtschaft,
- **Nachhaltige Energietechnologien**, d. h. klimafreundlichen, wettbewerbsfähigen und sozialverträglichen Lösungen zu Gewinnung, Umwandlung und Verteilung von Energie,
- **Analysetechnologien und Messtechnik** inklusive Optik, Detektortechnik, Ausleseelektronik z. B. für die Materialcharakterisierung,

Die Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und ist stetigen Veränderungen durch neue Entwicklungen unterworfen. Zudem entsteht ein wirtschaftlicher und gesellschaftlicher Mehrwert von Schlüsseltechnologien

in überwiegendem und immer höherem Maße durch ihre Kombination. Diese, auch als **Technologiekonvergenz** bekannte Eigenschaft erfordert zunehmend eine technologie- und disziplinübergreifende Forschung und Entwicklung und die Kombination verschiedener Schlüsseltechnologien in der Anwendung, passfähig zur jeweiligen Domäne.

Ansätze zur Stärkung der technologischen Souveränität müssen daher in **Abhängigkeit vom jeweiligen Technologie- und Anwendungsfeld** entwickelt werden. Ausgangspunkt hierfür ist eine Analyse der relevanten Technologien und Komponenten, der Forschungs- und Marktposition Deutschlands und Europas im internationalen Vergleich sowie ggf. existierender Abhängigkeiten von internationalen Partnern. Im zweiten Schritt muss eine geeignete Strategie festgelegt werden. Mögliche Ansätze sind bspw. der Ausbau bestehender Stärken, um eine führende Position zu erhalten und auszubauen und die eigene Verhandlungsposition durch die Erzeugung wechselseitiger Abhängigkeiten zu verbessern; das gezielte Beheben von Schwachstellen, um Lücken in der Innovationskette zu schließen und Abhängigkeiten zu reduzieren; die Fokussierung auf das Erreichen einer führenden Position in der nächsten Technologiegeneration (sogen. „Leapfrogging“) sowie die gezielte internationale Zusammenarbeit, um führende Akteure in eigene Innovationsnetzwerke einzubinden, gemeinsam notwendige Infrastrukturen aufzubauen und vom wechselseitigen Wissensaustausch zu profitieren.

Im Folgenden werden exemplarisch zentrale Handlungsfelder für technologische Souveränität dargelegt und zur Diskussion gestellt. Die Initiativen unterscheiden sich dabei in ihrem Fokus: Während einige eher auf die Stärkung spezifischer Technologiebereiche und Technologiepfade abstellen (z. B. in den Bereichen Elektronik, Materialinnovationen oder Quantentechnologien), fokussieren andere auf konkrete Anwendungen, die eine Kombination verschiedener Schlüsseltechnologien erfordern (wie Wirtschaften 5.0, Kreislaufwirtschaft oder Datentechnologien) oder auf übergreifende Fragestellungen wie die europäische und internationale Zusammenarbeit.

Darüber hinaus erheben die unten aufgeführten Handlungsfelder keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Das BMBF ist auch in weiteren Bereichen zur Stärkung der technologischen Souveränität aktiv:

- Das BMBF ist federführend in der Entwicklung und Umsetzung des Rahmenprogramms der Bundesregierung für die IT-Sicherheitsforschung. Im Fokus standen bisher insbesondere die Stärkung der **IT-Sicherheitsforschung** in Deutschland, die Bündelung von Kompetenzen, insbesondere in den drei Kompetenzzentren für IT-Sicherheit ATHENE, CISPA und KASTEL und Maßnahmen zur Gründungsförderung und zur Erforschung von Privatheit. Aktuelle Schwerpunkte liegen auf der Post-Quanten-Kryptographie und der Quantenkommunikation. Zurzeit wird das neue Forschungsrahmenprogramm der Bundesregierung für die Jahre 2021 bis 2026 entwickelt. Technologische Souveränität wird darin das zentrale Leitbild sein.
- Das BMBF unterstützt den Auf- und Ausbau von Infrastrukturen für das **Hoch- und Höchstleistungsrechnen**, insbesondere mit dem Aufbau, Betrieb und der Weiterentwicklung des Gauss Centre for Supercomputing, der Initiative zum Nationalen Hochleistungsrechnen an Hochschulen, gemeinsam mit den Ländern sowie der Unterstützung europäischer Aktivitäten, wie dem „Joint Undertaking“ EuroHPC.
- Das BMBF ist federführend in der Entwicklung und Umsetzung des Rahmenprogramms der Bundesregierung zur **„Forschung für die zivile**

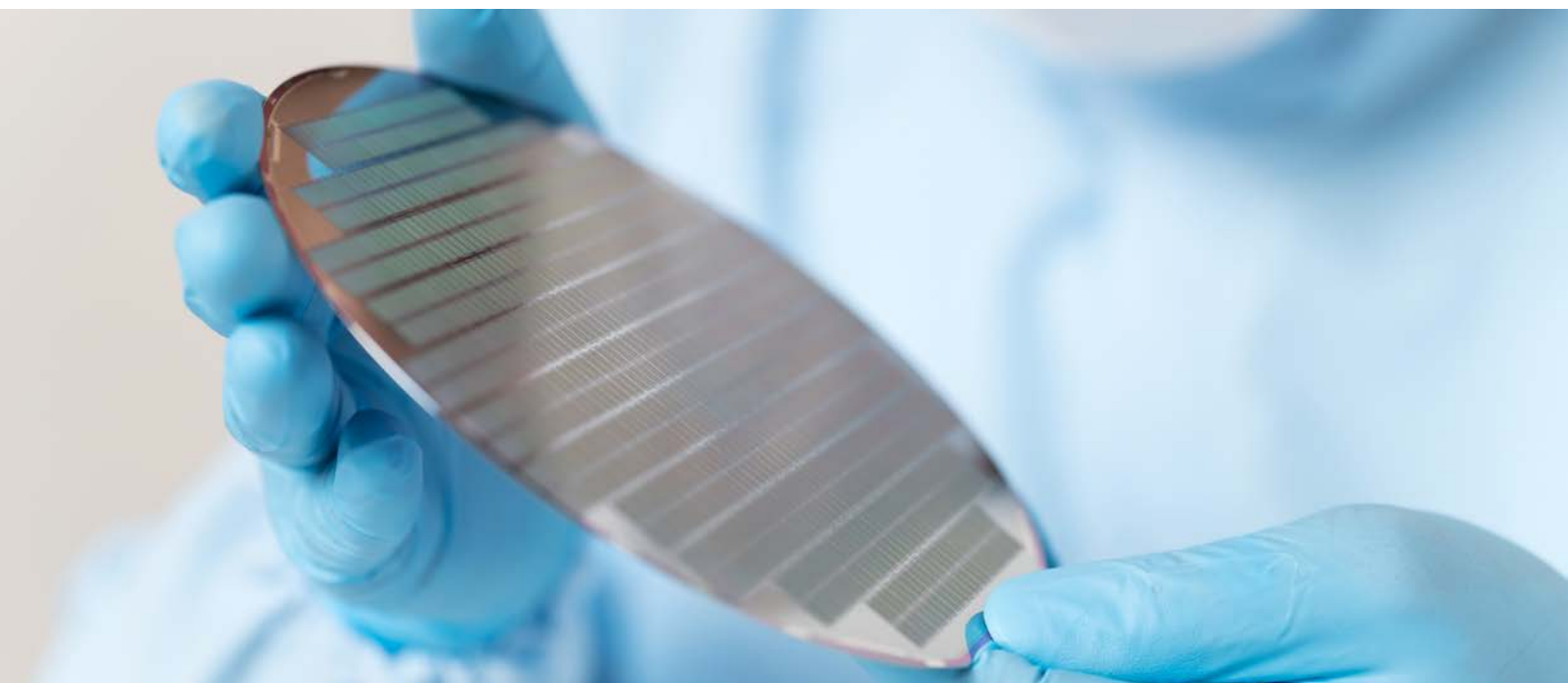
Sicherheit“. Das Programm trägt zur technologischen Souveränität in sicherheitskritischen Bereichen bei. So treibt das BMBF Forschung und Entwicklung zur Gestaltung innovativer und zunehmend digitaler und datenbasierter Rettungs- und Sicherheitssysteme, zum Aufbau und der Absicherung kritischer Versorgungsinfrastrukturen sowie zur Sammlung, der Analyse und dem Austausch sicherheitskritischer Daten voran.

- Zusammen mit dem Landwirtschaftsministerium setzt das BMBF federführend auch **die Nationale Bioökonomiestrategie der Bundesregierung** um. Über die Konvergenz von Biotechnologie mit anderen Schlüsseltechnologien soll biologisches Wissen für biobasierte Innovationen genutzt und damit Deutschlands technologische Souveränität in der Entwicklung nachhaltiger Lösungen gestärkt werden.

Die folgenden 12 Handlungsfelder werden in den kommenden Monaten in besonderer Weise im Fokus stehen:

3.1. Elektronik der nächsten Generation

Als technische Basis der digitalen Transformation hat Elektronik eine hohe Hebelwirkung auf die Wettbewerbsfähigkeit einer Volkswirtschaft. Zudem sind Elektronikkomponenten zentral für die Verlässlichkeit, Sicherheit und Nachhaltigkeit digitaler Systeme. Ein Ausbau der technologischen Souveränität im Bereich der Elektronik ist daher zentral.



Dabei zählt Deutschland in verschiedenen Segmenten zur Weltspitze (Sensorik, Leistungselektronik, Spezialprozessoren mittlerer Leistungsklassen, Systemintegration). Mit der EUV-Lithografie haben deutsche und niederländische Unternehmen gemeinsam die Weltspitze bei Fertigungsmaschinen für Hochleistungschips erreicht. In anderen Segmenten bestehen jedoch kritische Abhängigkeiten von außereuropäischen Importen (Prozessoren hoher Leistungsklassen, Speicher, Hardware für Kommunikationsnetze). Auch Elektronik-Komponenten aus deutscher oder europäischer Produktion beinhalten meist Fertigungsschritte in Asien oder außereuropäische Teilkomponenten. Diese Abhängigkeiten können Deutschlands Fähigkeit beschränken, die Digitalisierung und Bereiche wie Industrie 4.0, autonomes Fahren oder Kommunikationstechnik selbstbestimmt zu gestalten. Technologielinien der nächsten Generation (z. B. „More-than-Moore“, neuromorphe Chips) eröffnen nun einen erfolgsversprechenderen Weg zur technologischen Souveränität in der Elektronik, als ein Aufholen bei Produktklassen, in denen Schwächen bestehen. Denn Anwendungstechnologien wie Künstliche Intelligenz, 5G/6G oder das Internet der Dinge basieren zunehmend auf Edge Computing und erfordern dafür eine spezifische, leistungsstarke, energieeffiziente und vertrauenswürdige Elektronik für die Datenverarbeitung vor Ort und in Echtzeit. Hierfür sind auch grundlegend neue Ansätze notwendig. Deutschland und Europa haben aufgrund ihrer Stärken und Vorarbeiten hierfür eine gute Ausgangsposition. Zudem ist der Wettbewerb aufgrund der vielfach noch niedrigen Technologiereifegrade noch offen.

Was geplant ist: Mit dem Rahmenprogramm der Bundesregierung zur Mikroelektronik, dem IPCEI (Important Project of Common European Interest) Mikroelektronik sowie der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) und den Forschungslaboren Mikroelektronik Deutschland (ForLab) wurden in den letzten Jahren wesentliche Anstrengungen zum Auf- und Ausbau der Forschungs- und Fertigungskapazitäten im Bereich der Mikroelektronik unternommen. Im Fokus stehen dabei auch Elektronikansätze der nächsten Generation sowie technologieübergreifende Gesamtlösungen bis zu einem hohen technischen Reifegrad aus einer Hand für Partner in Wirtschaft und Wissenschaft. Für die kommenden Jahre wurde das neue **Rahmenprogramm für Forschung und Innovation 2021–2024: „Mikroelektronik. Vertrauenswürdig und nachhaltig. Für Deutschland und Europa.“** beschlossen. Dieses strebt auch einen weiteren Ausbau

der Forschungsstrukturen sowie ein neues IPCEI Mikroelektronik an.

Insbesondere wird mit den Mitteln des Konjunktur- und Zukunftspakets beabsichtigt, eine **Forschungsfabrik** (Forschungsinfrastruktur) aufzubauen, um Lücken in der Elektronikkompetenz für zukünftige Rechentechnologien wie neuromorphes Computing und Quantencomputing zu schließen, industrielle Anschlussfähigkeit zu leisten und einen einfachen Zugang für Unternehmen, insbesondere auch KMU, zu Hightech-Forschungskompetenz zu ermöglichen. Bereits heute wird im Rahmen der Unterstützung der Kohleregionen das Projekt „Neuro-inspirierte Technologien der künstlichen Intelligenz für die Elektronik der Zukunft“ gefördert, um bei forschungsintensiver Mikroelektronik den Wissenszuwachs und -transfer zu beschleunigen sowie den Strukturwandel im Rheinischen Revier zu unterstützen. Zum Einsatz kommen sollen auch neue Förderansätze, wie sie beispielsweise im Rahmen des Pilotinnovationswettbewerbs „Energiesparendes KI-System“ erprobt werden. Durch die gezielte Einbindung von Industriepartnern erhalten diese die Möglichkeit, frühzeitig neue Innovationsbereiche auf dem Gebiet einer potentiell disruptiven Technologie aufzubauen. Auch auf Basis neuer Strukturen, wie der Forschungslabore und der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland wird mit Unternehmen sukzessive die Schwerpunktbildung für Elektronikansätze der nächsten Generation vorangetrieben. Großer Wert wird dabei auf ein verbindliches Engagement der Unternehmen, die Anbindung an konventionelle Fertigungsprozesse sowie Klein- bzw. Pilotserien gelegt.

Bereits in der BMBF-Digitalstrategie wurde die **Leitinitiative „Vertrauenswürdige Elektronik“** formuliert. Sie zielt darauf ab, eine standardbasierte und zertifizierte vertrauenswürdige Elektronik aus Deutschland und Europa zu realisieren. In einem umfangreichen Agendaprozess unter Beteiligung des Bundesamts für Sicherheit in der Informationstechnik und des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat wurden hierzu zentrale Forschungsthemen und Ansatzpunkte herausgearbeitet. So soll mit der **Maßnahme „ZEUS“** die Erforschung von Konzepten und Lösungen für den Entwurf, die Herstellung sowie die Prüfung von Elektronikkomponenten und -systemen mit einem hohen Maß an Vertrauenswürdigkeit vorangetrieben werden. Der zweite **Förderschwerpunkt ZUSE** zielt auf Spezialprozessoren für Edge- und KI-Anwendungen. Auch die



EU will im Rahmen von **Horizont Europa** die digitale Souveränität in der Mikroelektronik signifikant stärken, insbesondere mit der **Europäischen Prozessorinitiative (EPI)**. Weitere Forschungsschwerpunkte, insbesondere an den Schnittstellen verschiedener Technologien, sollen sukzessive angegangen werden. Eine gemeinsame Plattform aus Forschungseinrichtungen und Unternehmen soll die Projektergebnisse homogenisieren und Dritten zur Verfügung stellen, ihre Standardisierung und Zertifizierung vorantreiben und die Endanwender bei der Entwicklung von Anforderungen an vertrauenswürdige Elektronik aktiv einbeziehen.

3.2. Zurück an die Weltspitze der Kommunikation

Kommunikationssysteme sind das zentrale Nervensystem einer digitalen Wirtschaft und Gesellschaft. Die Sicherheit, Zuverlässigkeit und Resilienz der digitalen Infrastruktur hängen ebenso von den Eigenschaften der eingesetzten Kommunikationstechnologien ab, wie der Datenschutz. Trotz umfangreicher Investitionen in die 5G-Forschung in den vergangenen Jahren haben Deutschland und Europa bei den relevanten Technologien den Anschluss an die Weltspitze verloren. Die Folge sind große Abhängigkeiten, insbesondere von Anbietern aus Asien und den USA und eine nur noch stückhaft vorhandene industrielle Basis. Die jüngsten Diskussionen um die Einbindung des Netzwerkausrüsters Huawei in den europäischen 5G-Mobilfunknetzen zeigen, wie kritisch diese Abhängigkeiten sind. Neue Technologieentwicklungen wie 6G und Quantenkommunikation bieten jedoch die Möglichkeit, an die Spitze der internationalen Entwicklungen zurückzukehren und Standards maßgeblich mitzubestimmen. So bedeuten die Anforderungen an die Reaktionszeiten eines 6G-Netzwerks,

dass die Rechenzentren in Deutschland oder Europa beheimatet sein müssen. Die Integration der Quantenkommunikation ermöglicht neue Dimensionen bei der Sicherheit, Resilienz und Leistungsfähigkeit der Netze. Um diese Potenziale zu heben, ist ein holistischer Politikansatz verbunden mit umfangreichen Investitionen in Forschung und Entwicklung, den Transfer in die Anwendung sowie den Aufbau von Infrastruktur und Testumgebungen erforderlich. Zudem ist nur ein europäisch und international abgestimmter Weg gangbar. Dabei haben Deutschland und Europa bereits gezeigt, dass sie aus der Forschung heraus weltweite Standards in der Kommunikation setzen können, etwa mit dem Mobilfunkstandard GSM.

Ziel der Leitinitiative ist die Entwicklung vertrauenswürdiger, leistungsfähiger und zugleich energieeffizienter Komponenten „Made in Germany bzw. EU“, die zu einer nachhaltigen Kommunikationsinfrastruktur und damit auch zur Energiewende und zur Erreichung der Klimaziele beitragen. Die Lösungen aus der Leitinitiative sollen Grundlage für ein IPCEI werden, über das eine effiziente Massenfertigung möglich wird. Ein wichtiger Aspekt ist der Aufbau von offenen Ökosystemen, die niedrige Markteintrittsschwellen für kleine und mittlere Unternehmen bieten. Hierfür sind offene Schnittstellen, Systeme und Software sowie ein starker europäischer Patentpool für 6G-Technologien essentiell. Angestrebt werden zudem strategische Partnerschaften mit Staaten, die die Werte der deutschen und europäischen Gesellschaft teilen.

Was geplant ist: Das BMBF erarbeitet derzeit ein **Fachprogramm für Kommunikationssysteme**. Strategische Ziele des Programms sind die Steigerung der technologischen Souveränität, der Resilienz und Nachhaltigkeit

von Kommunikationssystemen sowie der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen in wichtigen Zukunftsfeldern und bei der Standardisierung und Etablierung europäischer Lösungen für einen großen Markt. Mit den Mitteln des Konjunktur- und Zukunftspakets soll hierfür insbesondere ein Forschungs- und Verwertungsökosystem für 6G aufgebaut werden, das alle relevanten Technologiefelder umfasst.

Aufgebaut werden insbesondere drei **Forschungshubs** „**Zukünftige Kommunikationstechnologien/ 6G**“, die jeweils eigene Schwerpunkte bei Anwendungs- bzw. Technologiefeldern setzen (z. B. Industrie, Resilienz, Energieeffizienz, Stadt der Zukunft). Eine übergreifende **6G-Plattform** flankiert die Hubs und bündelt Maßnahmen zu Transfer, Standardisierung, Roadmapping und Kommunikation mit der Gesellschaft. Hinzu kommen Forschungsprojekte zum Einsatz Künstlicher Intelligenz für die IT-Sicherheit und in Kommunikationsnetzen (5G, 6G). Auf Basis der Forschungshubs und der Plattform sollen Netzausrüster, Technologieanbieter und -nutzende, darunter insbesondere KMU, frühzeitig in industriegeführte Forschungsverbünde einbezogen werden. Ergänzend dazu soll durch die Förderung von ein bis zwei leistungsfähigen und international wettbewerbsfähigen Spitzen-Clustern das frühzeitige Aufgreifen von Anwendungsfragen vorangetrieben werden. Geplant ist zudem ein enger Austausch mit dem vorgesehenen **Innovationshub Quantenkommunikation**, mit dem die

Industrie frühzeitig in die Lage versetzt werden soll, sichere und zuverlässige Komponenten für Quantenkommunikationsnetze und -systeme zu entwickeln. Eine Einbindung von Unternehmen im Bereich des Designs und der Fertigung von Elektronikkomponenten vervollständigt die Wertschöpfungskette. Eine zentrale Aufgabe der 6G-Forschungshubs ist darüber hinaus, Strategien für die Entstehung und das Wachstum von Start-ups und eines dafür notwendigen Ökosystems zu entwickeln und umzusetzen. Über strategische Partnerschaften mit internationalen Konzernen sollen schließlich auch Brücken zu den nationalen 6G-Programmen und zu **Projekten auf EU-Ebene** geschlagen werden. Maßnahmen zur Nachwuchsausbildung sowie zur frühzeitigen Einbindung der Gesellschaft, etwa um ungerechtfertigte Vorbehalte gegenüber 6G-Technologien abzubauen, runden den systemischen Förderansatz ab.

3.3. Software und Künstliche Intelligenz souverän entwickeln

Software ist eine Kernkomponente nahezu aller Maschinen, Systeme und Alltagsgegenstände, mit erheblichem Anteil an der Wertschöpfung. Dabei greift Software nicht nur regelnd in technische Prozesse, sondern zunehmend normativ in Lebensrealitäten ein. Die Komplexität von Software-Systemen nimmt weiter zu, da deren Aufgabenvielfalt ebenso wächst, wie das Interagieren



unterschiedlicher Software- und Hardware-Systeme miteinander und mit der Umgebung. Mit der Breite der Einsatzgebiete steigen auch die Anforderungen an Software-Systeme, etwa hinsichtlich Flexibilität, Sicherheit, Zuverlässigkeit und Ressourceneffizienz sowie der Nachvollziehbarkeit der Entwicklung und Funktionsweise. Diese Anforderungen haben Konsequenzen für die Software-Fertigung, die auf wirtschaftlich tragfähiger Weise zu wettbewerbsfähigen, sicheren und zukunfts-offenen Systemen führen muss. Software-Fertigung ist dabei als Kern des Systems Engineering in nahezu allen Branchen gefordert und somit zunehmend eine bedeutsame Querschnittskompetenz. Andererseits ist schon heute ein erheblicher Mangel an Fachkräften zu beobachten. Zugleich steht die deutsche Software-Industrie vor spezifischen Herausforderungen. Fast 90% der Software-Hersteller sind Unternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern. Software-Systeme von großen Herstellern sind häufig zu monolithisch. An vielen Stellen behindert Legacy-Software die Modernisierung von Prozessen, Verwaltung und Produktion. Ansätze zum Software Engineering aus der Forschung finden wenig bis kaum ihren Weg in die Unternehmen. Erforderlich sind deshalb neue Ansätze in der Förderung von Software-Technologien, -Werkzeugen, -Prozessen und -Kompetenzen.

Heute versprechen gerade Software-Systeme auf Basis von Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) neue Möglichkeiten der Datenauswertung sowie der Kognition und Autonomie technischer Systeme und damit großes Potenzial für neue Wertschöpfung und Anwendungen. KI an sich ist dabei eine Schlüsseltechnologie, die es weiter auszubauen gilt. Deutschland und Europa zählen hier bei den wissenschaftlichen Grundlagen zu den führenden Weltregionen. Bei der Übersetzung in neue Anwendungen und Wertschöpfung sind indes meist andere Regionen schneller und erfolgreicher. Zentrale Herausforderungen für den deutschen und europäischen KI-Standort sind ein Mangel an Fachkräften sowie die hohe Abhängigkeit von außereuropäischen Anbietern bei zentralen Infrastrukturen.

Was geplant ist: Mit der **KI-Strategie** hat die Bundesregierung zentrale Weichen für die Stärkung der technologischen Souveränität im Bereich KI gestellt. Zentral ist dabei insbesondere die Stärkung des For-

schungsökosystems durch den Ausbau, die Verstärkung und europäische Vernetzung der KI-Kompetenzzentren, gezielte europäische Projekte, etwa im Rahmen der EU-REKA-Initiative sowie den Aufbau der „Internationalen Zukunftslabore Künstliche Intelligenz“. Mit dem Aufbau von KI-Anwendungshubs und deren Verknüpfung mit den Kompetenzzentren sowie gezielten Maßnahmen für die Diffusion von KI-Methoden in KMU (z. B. „KI4KMU“) und für KI-basierte Unternehmensgründungen soll der Transfer in die Anwendung beschleunigt werden. Darüber hinaus werden KI-Kompetenzen auf allen Ebenen gestärkt, etwa durch die Einrichtung von KI-Professuren inklusive der Gewinnung von exzellenten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern aus dem Ausland über die Alexander von Humboldt-Professur für Künstliche Intelligenz, die Bund-Länder-Initiative „KI in der Hochschulbildung“, den Aufbau des KI-Campus sowie gezielte Förderprogramme für Studierende, Nachwuchswissenschaftlerinnen und Fachkräfte. Mit der Fortschreibung der KI-Strategie soll der Standort im internationalen Wettbewerb weiter gestärkt werden. Im Fokus stehen insbesondere der Auf- und Ausbau sowie die Sichtbarkeit von KI-Ökosystemen in Deutschland und Europa sowie die Anwendung von KI in der Breite. Eine verantwortungsvolle und gemeinwohlorientierte Entwicklung und Anwendung von KI-Systemen soll zum Markenzeichen einer „AI Made in Europe“ werden.

Auch über KI hinaus stärkt das BMBF die technologische Souveränität bei **Software-Systemen und Software-Fertigung** mit verschiedenen Maßnahmen. Mit dem International Data Space wurde eine wichtige Grundlage für einen sicheren und vertrauensvollen Datenaustausch gelegt. Im Rahmen der Leitinitiative zur Entwicklung eines europäischen Betriebssystems für das Internet der Dinge wird aktuell die bereits vom BMBF geförderte BaSys-Technologie zielgerichtet weiterentwickelt und in neuen Anwendungsfeldern zum Einsatz gebracht werden. Im Fokus stehen darüber hinaus Maßnahmen zur Neugestaltung des Software-Entwicklungsprozesses für autonome, intelligente und eingebettete Systeme, zur gezielten Förderung von Open Source-Ansätzen sowie für Studierende und Forschende der Informatik. Das BMBF wird diese Maßnahmen weiterentwickeln und in einer übergreifenden Programmatik bündeln und verzahnen.

3.4. Datentechnologien – für die souveräne Datenökonomie und -gesellschaft

Daten sind eine zentrale Ressource für neues Wissen, Innovationen und Wertschöpfung. Eine vertrauenswürdige und sichere Bereitstellung qualitativ hochwertiger Daten aus Forschung, Wissenschaft und Wirtschaft und deren Nutzung für neue Erkenntnisse und neue Formen der Wertschöpfung ist ein wesentlicher Teil unserer technologischen Souveränität und Grundlage einer selbstbestimmten Gestaltung des digitalen Wandels. Dies spiegelt sich auch in der Digitalstrategie des BMBF und der Datenstrategie der Bundesregierung wider. Die Entwicklung der für eine Datenaufbereitung, -bereitstellung und -weiterverwendung nötigen Werkzeuge und Dienste und deren breite Anwendung ist dabei eine zentrale Voraussetzung.

Was geplant ist: Um die (Nach-)Nutzung von Forschungsdaten zu verbessern, haben Bund und Länder gemeinsam den Aufbau **der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI)** beschlossen. Damit sollen derzeit oft dezentral, projektförmig und temporär gelagerte Datenbestände von Wissenschaft und Forschung für das gesamte deutsche Wissenschaftssystem systematisch erschlossen werden. Im Mittelpunkt steht die Etablierung von gemeinsamen, übergreifenden Standards beim Datenmanagement. Hierfür stellen Bund und Länder bis zu 90 Mio. Euro jährlich bereit. Die NFDI wird ein zentraler deutscher Beitrag zur **European Open Science Cloud (EOSC)** sein, einer zuverlässigen und offenen Umgebung, in der die wissenschaftliche Gemeinschaft Daten und Ergebnisse speichert, gemeinsam nutzt und wiederverwenden kann. Damit werden die Voraussetzungen für einen europäischen Forschungsdatenraum geschaffen. Das BMBF bündelt zahlreiche weitere Aktivitäten in seinem **Aktionsplan Forschungsdaten**. Ziel ist es dabei, Datenkompetenzen in der Wissenschaft zu stärken sowie moderne Dateninfrastrukturen auf- und auszubauen. Er wird ergänzt durch den **Aktionsplan ErUM-Data**, der sicherstellt, dass die enormen Datenmengen und Kompetenzen aus der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung an Forschungsinfrastrukturen verfügbar und nutzbar gemacht werden.

Auch **GAIA-X** soll zum Aufbau eines vernetzten europäischen Datenökosystems beitragen, wobei hier der vertrauensvolle Datenaustausch in der Wirtschaft und verschiedenen Anwendungsdomänen im Vordergrund steht. Mit dem International Data Space hat das BMBF hierfür gemeinsam mit der Fraunhofer-Gesellschaft und der Industrie eine wichtige Grundlage geschaffen, die derzeit weiterentwickelt wird. Das BMBF will die Potenziale von GAIA-X und der NFDI für Innovationen und Wertschöpfung heben, kombinieren und der Wirtschaft und Gesellschaft zugänglich machen. Gefördert werden hierzu Technologieentwicklung und Anwendungsbeispiele sowie die gegenseitige Vernetzung der Initiativen untereinander und mit weiteren Infrastrukturen wie den Höchstleistungsrechenzentren des Gauss Centre for Supercomputing.

Im Förderschwerpunkt **Mathematik für Innovationen** unterstützt das BMBF Projekte aus dem Bereich der mathematischen Modellierung, Simulation und Optimierung mit dem Ziel, mathematische Forschung mit der Anwendung zu vernetzen. Ihre Beiträge sichern die technologische Souveränität in verschiedenen Bedarfsfeldern aus Wirtschaft und Gesellschaft, zum Beispiel im Bereich der Big-Data-Technologien.

In der Gesundheitsforschung verspricht die Nutzung von Daten und neuen Methoden der Datenauswertung einen erheblichen Erkenntnisgewinn, der zur Entwicklung innovativer präventiver, diagnostischer und therapeutischer Konzepte beitragen kann. Mit verschiedenen Gesetzesvorhaben hat die Bundesregierung den Weg frei gemacht für eine **elektronische Patientenakte**, in die individuelle Gesundheitsdaten aus der Routineversorgung aufgenommen und mit Einwilligung des Patienten der Forschung zur Verfügung gestellt werden können. Auch auf Basis von Vorarbeiten in der **Medizininformatik-Initiative** des BMBF werden dazu die technischen, rechtlichen und organisatorischen Voraussetzungen in Deutschland konzipiert und aufgebaut. Die hohen Datenschutzstandards in Deutschland und Europa tragen zu der in Studien bereits festgestellten hohen Bereitschaft der Menschen bei, eigene Gesundheitsdaten für die Wissenschaft bereitzustellen.



3.5. Ein Quantencomputer „Made in Europe“

Quantencomputer haben das Potenzial, fundamentale Rechenprobleme von hoher gesellschaftlicher Relevanz zu lösen, die für klassische digitale Rechner unerreichbar sind. Wer perspektivisch auf einen funktionalen Quantencomputer frei zugreifen kann, wird einen weitreichenden Vorteil gegenüber internationalen Wettbewerbern haben. Für die Herstellung, Steuerung und Anwendung von Quantencomputern sind Kompetenzen in verschiedenen Schlüsseltechnologien notwendig. Dies umfasst integrierte Quantensysteme und Enabler wie Photonik, Laser-, Mikrowellen-, Signal- und Kryotechnik sowie Mikrochips (z. B. ASICs) und Steuerelektronik. Gerade in der Anwendung wird die Verknüpfung und Interoperabilität mit digitalen Rechnern entscheidend sein. Komplementär werden sichere und vertrauenswürdige Elektronik und Kompetenzen in Halbleiterfertigungstechnologie notwendig sein, um einen europäischen Quantencomputer unabhängig zu realisieren und zu betreiben.

Deutschland verfügt über eine gute wissenschaftliche Basis im Quantencomputing, einige Zuliefererfirmen für die Enabler des Quantencomputing, gerade im Bereich Mikrowellen- und Kryotechnik, sowie viele potenzielle industrielle Anwender der Technologie. Im Gegensatz zu den USA gibt es jedoch keinen High-Tech-Konzern, der an der Realisierung des Gesamtsystems arbeitet. Deutschland droht so eine Abhängigkeit von außer-europäischen Anbietern, auch aus China, in kritischen Anwendungsfeldern wie der Chemie, dem Finanzwesen,

der Material- oder Medikamentenentwicklung. Diese werden durch Abhängigkeiten bei den oben genannten Technologien verstärkt. Aufgrund des frühen Entwicklungsstands haben Deutschland und Europa jedoch noch immer die Chance, im Quantencomputing eine führende Stellung zu erreichen und bei künftigen Computing-Technologien unabhängig zu werden. Zu einer guten Ausgangsposition hinsichtlich der Erweiterung bestehender digitaler Rechner-Ökosysteme kommt eine weltweit führende Position in der „More-Than-Moore-Elektronik“, z. B. in der Verbindung von sensorischen, photonischen und mikromechanischen Komponenten mit anderen Technologien oder in der Heterointegration. Um diese Position nicht zu verlieren, müssen Lücken in der Elektronikkompetenz frühzeitig geschlossen werden. Zudem bildet Deutschland jährlich viele Experten in diesen Bereichen aus, die es durch attraktive Forschungs- und Beschäftigungsangebote in Deutschland und Europa zu halten gilt.

Was geplant ist: Die wissenschaftlichen Grundlagen und technologischen Fähigkeiten für das Quantencomputing fördert Deutschland bereits seit 2018 im Rahmen des **Programms „Quantentechnologien – von den Grundlagen zum Markt“**. Mit der **Strategischen Initiative Quantencomputing** werden diese ausgebaut, um international ins Spitzenfeld zu kommen. Zentrale Initiativen wurden zu „Quantenprozessoren und Technologien für Quantencomputer“ für die Realisierung von Quantenchips der nächsten Generation sowie zu „Quanteninformatik – Algorithmen, Software, Anwendungen“ für die Erforschung und Umsetzung



von Quantenalgorithmen als Use Cases des Quantencomputing gestartet. Die zusätzlichen Mittel aus dem Konjunktur- und Zukunftspaket bieten die einzigartige Chance, einen **Quantencomputer „Made in Europe“ voranzubringen**. In einem offenen Wettbewerb sollen dazu breite, aber zielgerichtete Ansätze verfolgt und Unternehmen von Systemintegratoren bis zu Anwendern eingebunden werden. Mit dem Aufbau einer Forschungsfabrik für Elektronik der nächsten Generation (vgl. Kapitel 3.1) sollen Lücken in der Elektronikkompetenz für das Quantencomputing geschlossen werden. Der Aufbau weiterer Infrastrukturen in einem wettbewerblichen Verfahren wäre perspektivisch denkbar. Hinzu kommen Maßnahmen auf europäischer Ebene, wie sie im Rahmen der Quantum Flagship Initiative sowie des QuantERA-Programms bereits bestehen. Die Projekte sind gerade dann erfolgreich, wenn national kritische Massen geschaffen und vernetzt werden.

Der zügige Transfer von Forschungsergebnissen in die Anwendung ist integrales Ziel der Initiativen. Dazu müssen neue Ansätze aus der Forschung rasch aufgegriffen, auf ihr Potenzial überprüft und für wirtschaftliche Anwendungen qualifiziert werden. Gerade Start-ups sind ein wichtiges Vehikel, um das Quantencomputing und die Basistechnologien in der vollen Breite in die Anwendung zu führen. Gründungen werden z. B. mit der Initiative „Enabling Start-up – Unternehmensgründungen in den Quantentechnologien und der Photonik“ vorangetrieben. Für die Auslastung und den nachhaltigen Betrieb der Forschungsinfrastrukturen ist die Anschlussfähigkeit für Unternehmen, gerade von KMU, und die Anbindung an konventionelle Fertigungsprozesse zentral, ebenso wie Pilot- und Kleinserien in Bereichen des Marktversagens.

Für den Nachwuchs wurde das **Quantum Futur Programm** aufgesetzt. Dabei werden seit 2017 insbesondere Quantum Futur Nachwuchsgruppen von exzellenten Nachwuchsforscherinnen und -forschern aufgebaut. Die jährlich stattfindende Quantum Futur Akademie bietet jungen Studierenden Einblicke in die aktuelle Forschung. Mit dem Quantum Futur Award zeichnet das BMBF die besten Master- und Doktorarbeiten aus. Zur Hochschuldidaktik für die Quantentechnologien wurden erste Fachgespräche durchgeführt. Die Hauptarbeit in der Nachwuchsförderung leisten Hochschulen und Unternehmen. Dies soll über eine zielgerichtete Förderung vielversprechender Konsortien unterstützt und so die stetige Abwanderung von in Europa ausgebildeten Expertinnen und Experten beendet werden.

Quantentechnologien sind noch immer ein Thema der Grundlagenforschung und für Nicht-Experten nur schwer begreifbar. Mit gezielten Initiativen wie „Quantum aktiv“ wird die Absicht verfolgt, die Quantentechnologien für die Gesellschaft begreiflich und erlebbar zu machen und diese so in den weiteren Entwicklungsprozess einbeziehen zu können.

3.6. Die Zukunft der Wertschöpfung technologisch souverän mitgestalten

Wertschöpfungssysteme stehen vor großen Herausforderungen. Neben dem Erhalt und Ausbau der eigenen Wettbewerbsfähigkeit in einer immer komplexeren globalen Wirtschaft sind der Aufbau digitaler Ökosysteme, die Umstellung auf eine klima- und ressourcenschonende Wirtschaftsweise sowie soziale und ethische Standards zunehmend wichtig. Jenseits der mit Industrie 4.0

erreichten Vernetzung und Automatisierung im verarbeitenden Gewerbe basiert zukünftige Wertschöpfung noch stärker auf der Verzahnung von Produktion und Dienstleistungen und der Etablierung hierzu passender Geschäftsmodelle, auf der Nutzung von Daten, Plattformen und neuer Werkzeuge, wie Künstlicher Intelligenz, sowie auf einer ganzheitlichen Nachhaltigkeitsperspektive, die das Wertschöpfungssystem vom Produktdesign bis zum Recycling betrachtet und auch neue Rohstoff- und Energiequellen erschließt. Die Fähigkeit, eigenständig Technologien für solche Wertschöpfungssysteme entwickeln und einsetzen zu können, ist daher für die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft entscheidend. Dies umfasst verschiedene Aspekte: Die (Weiter-)Entwicklung und Beherrschung intelligenter und vernetzter Produktions- und Produkt-Dienstleistungs-Systeme erfordert eine System- und Entwicklungssouveränität. Unsere Stärke bei Fertigungstechnologien muss auf neue Werkzeuge, wie Künstliche Intelligenz und neue, auch biobasierte Materialien und Verfahren erweitert werden. Die zunehmende Bedeutung von Daten für Wertschöpfungssysteme erfordert Datensouveränität, d. h. Technologien, Kompetenzen und Infrastrukturen für die Speicherung, intelligente Analyse und den Austausch von Daten. Plattformsouveränität umfasst die Fähigkeit zur Gestaltung von Plattformen für intelligente Dienste und neue Geschäftsmodelle und die Beherrschung der dafür wesentlichen Kontrollschichten und Basistechnologien wie Sensorik, Cloud- und Edge-Computing und Künstliche Intelligenz. Wertschöpfungssysteme sind auch zukünftig sozio-technische Systeme mit dem Menschen im Mittelpunkt. Zentral ist daher ebenfalls die Fähigkeit zur Organisation, Koordination sowie Anpassung solcher sozio-technischen-Systeme.

Deutschland ist als führende Exportnation und wirtschaftlicher Vorreiter Europas international weiterhin in einer starken Position. In Produktionshallen weltweit sind von deutschen Unternehmen hergestellte Maschinen zu finden. Mit Industrie 4.0 hat Deutschland einen globalen Trend gesetzt und eine international anerkannte Führungsposition erreicht. Viele weitere Produkte werden von deutschen Unternehmen, darunter zahlreichen Weltmarktführern, hergestellt. Durch Arbeitsteilung, Spezialisierung und Rohstoffverfügbarkeit ist Deutschland dabei in ein komplexes Geflecht aus internationalen Abhängigkeiten eingebunden. Hinzu kommen jedoch zunehmend Abhängigkeiten

bei spezifischen Technologien und Komponenten, die für zukünftige Wertschöpfung essentiell sind, etwa Elektronik-Chips, spezifische Software und Cloud-Dienste. Zudem geraten die deutschen Kernbranchen, wie der Automobil- und Maschinenbau, aktuell unter Druck.

Was geplant ist: Mit dem neuen BMBF-Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ wird die Förderung gezielter auf die zentralen Aspekte von technologischer Souveränität in der Wertschöpfung ausgerichtet. Im Fokus steht die Intensivierung von Forschung und Entwicklung, um „Stärken zu stärken“, um Abhängigkeiten und Einschränkungen im globalen Umfang zu verstehen und anzugehen und um deutschen Unternehmen vielfältige Entscheidungsoptionen zu erschließen.

Umgesetzt werden Initiativen zum Ausbau von Industrie 4.0, zum „Advanced Systems Engineering“ zum Einsatz von KI in der Produktion sowie zur „Wandlungsfähigkeit von Unternehmen“. Geplant sind darüber hinaus die Weiterentwicklung der technologischen Vorausschau sowie neue Ansätze zur Aufdeckung neuer Innovationskeime, zur prototypischen Entwicklung, zur Unterstützung der Transformation von Branchen sowie zur Förderung von Nachwuchsfach- und -führungskräften. Der Transfer von Forschungsergebnissen in die betriebliche Praxis ist dabei ein zentrales Element. Genutzt werden zudem die Strukturen der Plattform Industrie 4.0, um Fragen der Normung und Standardisierung frühzeitig anzugehen. Der Auf- und Ausbau von Ökosystemen wie das „Future Work Lab“, das Innovationslabor „Hybride Dienstleistungen in der Logistik“ oder das Leichtbau-Zentrum FOREL ist auch künftig ein wichtiges Element.

Gerade bei Wertschöpfungsketten mit Produktions- und Dienstleistungskomponenten hat die internationale Arbeitsteilung deutlich zugenommen. Dabei haben sich teilweise sehr komplexe, global organisierte Systeme gebildet. Internationale Technologiepartnerschaften sind deshalb ein wichtiges Instrument für die zukünftige Wertschöpfung, um komplementäre Kompetenzen zu mobilisieren, eine Technologieverflechtung mit ausgesuchten weiteren Ländern zu erreichen und so einseitige Abhängigkeiten zu reduzieren. Das BMBF treibt diese mit bilateralen Kooperationen sowie multilateralen Initiativen im Rahmen der europäischen Forschungsförderung (Era-NET, EUREKA) voran.

3.7. Kreislaufwirtschaft: Neue Technologien für mehr Ressourceneffizienz und Rohstoffsicherheit

Die Kreislaufwirtschaft zielt auf die nachhaltige Erhöhung der Rohstoffproduktivität, indem Ressourcen effizienter genutzt, Produkte und Rohstoffe im Kreislauf gehalten und die Entstehung von Abfällen und Emissionen minimiert werden. Das schließt biobasierte Ressourcen ebenso wie mineralische Rohstoffe in der Kreislaufwirtschaft ein.

Die Etablierung und Stärkung einer biobasierten Kreislaufwirtschaft ist ein zentrales Ziel der Nationalen Bioökonomiestrategie. Der Biotechnologie kommt dabei eine Schlüsselrolle zu. Sie trägt dazu bei, in der biobasierten Wertschöpfung Kreisläufe zu (er)schließen und hilft durch nachhaltigere Lösungen in anderen Wirtschaftsbereichen, diese kreislauffähig zu gestalten. Biobasierte Kreisläufe sind zum einen dort möglich, wo bisher schon organische Rohstoffe Verwendung finden. Zum anderen können, durch die Anwendung der Biotechnologie, biobasierte Alternativen zu bislang nicht-biobasierten Materialien und Produktionsprozessen entwickelt werden.

Durch intelligentes Produktdesign, effiziente Produktionsverfahren, Koppel- und Kaskadennutzung und hochwertiges Recycling wird der Einsatz von mineralischen und biogenen Rohstoffen verringert. Zudem lassen sich technische Produktionsprozesse oftmals durch biotechnologische Prozesse ergänzen oder gar ersetzen und dadurch nachhaltiger gestalten. Kreislaufwirtschaft verbindet somit Umwelt- und Klimaschutz mit gesteigerter stofflicher Nutzung und Resilienz, verringert die Abhängigkeit von Rohstoffimporten und eröffnet Exportchancen in den grundlegenden Technologien und Verfahren. Die Steigerung der Rohstoffsicherheit leistet zudem einen Beitrag zur Souveränität in Technologiefeldern mit kritischer Rohstoffbasis, wie Energietechnologien. Schlüsseltechnologien der Kreislaufwirtschaft reichen von effizienten Gewinnungs-, Aufbereitungs-, Produktions- und Recyclingtechnologien bis hin zu digitalen Technologien für die übergreifende Steuerung von Stoffströmen, den Austausch von Daten entlang des Produktlebenszyklus und die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle.

Deutschland ist Netto-Importeur von mineralischen, fossilen und biogenen Rohstoffen. Daher bestehen zum Teil starke Abhängigkeiten von einzelnen Ländern, ins-

besondere von China, die durch Monopolstellungen bei der Gewinnung und Verarbeitung kritischer Rohstoffe, wie seltenen Erden, bedingt sind. Durch konsequenten Ausbau der Kreislaufwirtschaft und von geschlossenen Wertschöpfungsketten inkl. „Urban Mining“ zur Erschließung anthropogener Rohstofflager lässt sich diese Importabhängigkeit reduzieren. Dabei kann auf den Stärken Deutschlands in der chemischen Industrie, dem Maschinen- und Anlagenbau und der Recyclingbranche, aber auch dem Innovationspotenzial der Biotechnologie aufgebaut werden. Auch in Bezug auf Forschung und Technologieentwicklung ist Deutschland in einer guten Ausgangslage. Durch global stark wachsende Umwelttechnologiemärkte eröffnen sich Exportchancen für deutsche Anbieter. Hierzu muss das vorhandene Wissen noch stärker in die Anwendung gebracht und für nachhaltige Innovationen genutzt werden. Dies betrifft vor allem den Wissens- und Technologietransfer in der Biotechnologie und die Erprobung von Technologien und Geschäftsmodellen für die Kreislaufwirtschaft in Reallaboren. Einen Beitrag leistet hierzu auch die Materialforschung, indem sie die Substitution kritischer Rohstoffe und Ressourcen durch leistungsfähige und nachhaltige Alternativen aufgreift (vgl. Kapitel 3.8).

Was geplant ist: Die Leitinitiative fußt auf drei zentralen Säulen aus der „FONA-Strategie – Forschung für nachhaltige Entwicklung“: **Dem Forschungskonzept „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“**, den **Maßnahmen zur stofflichen Nutzung von CO₂** als Baustein einer Kohlenstoff-Kreislaufwirtschaft sowie der **Nationalen Bioökonomiestrategie**. Im Fokus stehen dabei systemische Forschungsansätze. Der Forschungstransfer wird einerseits durch den Aufbau von Demonstrationsanlagen, Reallaboren und strategischen Allianzen, etwa in der industriellen Biotechnologie sowie durch die gezielte Unterstützung von KMU über das KMU innovativ-Programm (Programmlinien „Ressourceneffizienz und Klimaschutz“ sowie „Bioökonomie“) vorangetrieben. Andererseits werden Partnerschaften zwischen Forschung und (Groß-)Unternehmen, insbesondere in der Biotechnologie, der Grundstoffindustrie und dem intelligenten Recycling forciert. Dezierte Forschungsinfrastrukturen, vergleichbar mit dem Fraunhofer-Zentrum für Chemisch-Biotechnologische Prozesse (CBP), der Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und Ressourcenstrategie (IWKS), dem Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie oder den Innovationsräumen Bioökonomie (z. B.

„BioBall“) sollen auch in Zukunft auf- und ausgebaut werden. Hinzu kommen europäische Kooperationen, etwa im Rahmen der Wissens- und Innovationsgemeinschaft EIT Raw Materials als Koordinatorin der Europäischen Rohstoffbilanz und des Era-NET ERA-MIN3 sowie internationale Kooperationen wie die „CLIENT II – Internationalen Partnerschaften für nachhaltige Innovationen“.

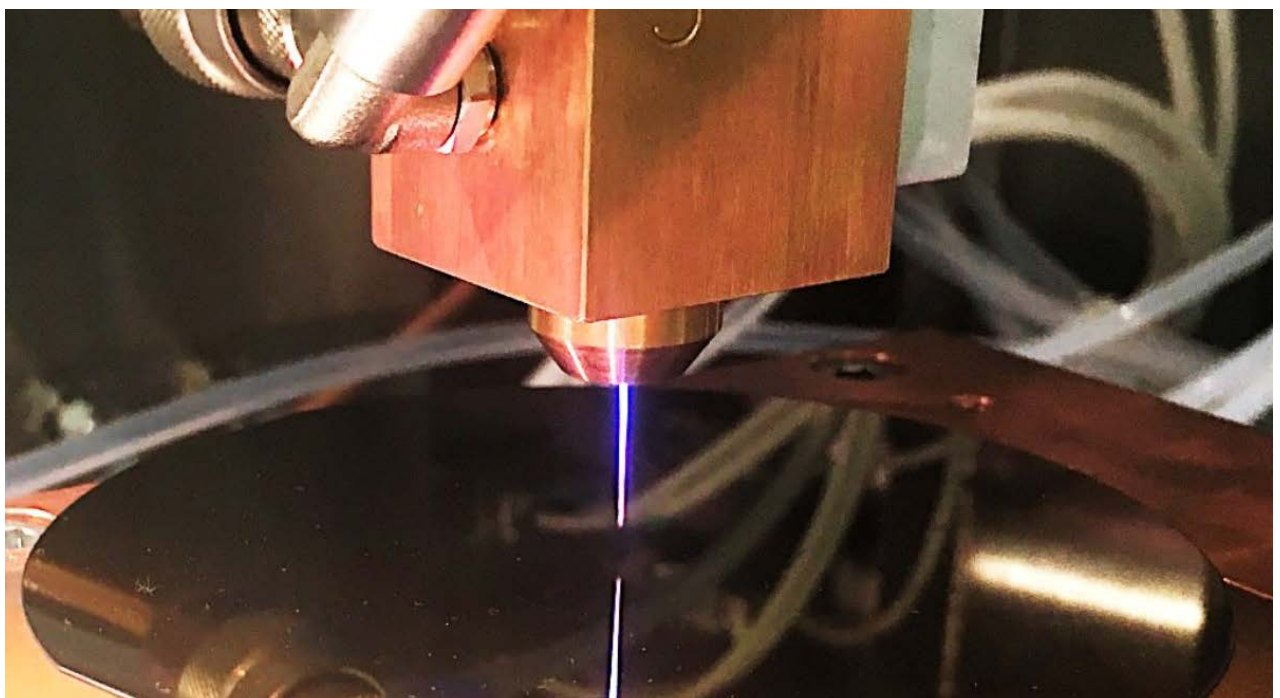
Handlungsbedarf besteht insbesondere im Bereich Standardisierung und Normung. Dies betrifft zum einen die Entwicklung von Schnittstellen und Standards für die Verzahnung und Konvergenz kreislaufrelevanter Technologien. Das neue Geschäftsfeld „Circular Economy“ beim DIN kann in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle spielen. Zum anderen bedarf es der Standardisierung von biobasierten (Zwischen-)Produkten. Zudem sind klare rechtliche Regelungen zur Abgrenzung und Behandlung von Abfällen und Wertstoffen und zu haftungs- und datenrechtlichen Fragen ebenso erforderlich wie die einheitliche Definition grundlegender Begriffe, z. B. Biokunststoffe. Vielversprechende Anwendungspotenziale für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft ergeben sich auch durch neue Züchtungstechniken von Mikroorganismen und Pflanzen, insbesondere mit der CRISPR-CAS Technologie. Der Gerichtshof der Europäischen Union (EuGH) hatte im Juli 2018 entschieden, dass Organismen, die mittels neuer Züchtungstechniken erzeugt worden sind, pauschal als genetisch veränderte

Organismen (GVO) zu bewerten seien und damit den strengen Zulassungsregelungen des EU-Gentechnikrechts unterliegen. Im Bereich der Pflanzenzüchtung sollte darüber diskutiert werden, inwieweit das bestehende EU-Recht risikoorientiert anzupassen ist.

Der Wandel zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft kann nur mit Akzeptanz und Mitwirkung der Gesellschaft gelingen. Chancen und Potenziale der Kreislaufwirtschaft müssen daher in die breite Öffentlichkeit kommuniziert werden. Im Rahmen des Wissenschaftsjahrs Bioökonomie wird die Zivilgesellschaft umfassend zur biobasierten Kreislaufwirtschaft informiert. Zur Umsetzung der Nationalen Bioökonomie-Strategie hat die Bundesregierung im Dezember des letzten Jahres einen neuen Bioökonomierat berufen, der u. a. wichtige Stakeholder der Bioökonomie, auch aus der Zivilgesellschaft, in die weitere Umsetzung der Bioökonomiestrategie und damit einer biobasierten Kreislaufwirtschaft einbinden soll.

3.8. Materialinnovationen: Basis für Nachhaltigkeit, Wettbewerbsfähigkeit und Wohlstand

Innovative und maßgeschneiderte Materialien sind für viele Schlüsseltechnologien von grundlegender Bedeutung. Gleichzeitig hängen Technologien von der



Verfügbarkeit spezifischer Materialien ab. Ein Beispiel sind metallische Elemente wie Kobalt, Nickel und Mangan, die für die Digitalisierung und die Energiewende essentiell sind. Die Materialforschung kann hier wichtige Beiträge leisten, etwa durch die Verbesserung bestehender, die Substitution kritischer und die Erforschung und Entwicklung neuer Materialien mit dem Ziel, Anforderungen der Gesellschaft an Nachhaltigkeit und Wettbewerbsfähigkeit besser zu erfüllen. Dabei bietet die Nutzung digitaler Methoden die Chance, Materialien über den gesamten Lebenszyklus hinweg – von der Herstellung bis zum Recycling – im Rechner zu simulieren und in der Praxis schneller und kostengünstiger herzustellen. Auch die Biologisierung liefert innovative Ansätze für ressourcenschonende, effiziente und nachhaltige Werkstoffentwicklung. Deutschland bietet sich so die Chance, führender Anbieter auf dem Weltmarkt für moderne und leistungsfähige, aber zugleich nachhaltige und ethisch einwandfreie Materialien und somit auf diesem Gebiet technologisch souverän zu werden.

Trotz seiner guten wissenschaftlichen Grundlage droht Deutschland in der Materialforschung aktuell in einem verschärften globalen Wettbewerb wissenschaftlich und technologisch hinter aufstrebende Nationen wie z. B. China zurückzufallen. Es erfordert daher verstärkte Anstrengungen, damit Deutschland führend in der Entwicklung innovativer Materialien bleibt und für Gesellschaft, Wirtschaft, Umwelt und Wissenschaft wesentliche Standards setzen kann. Gleichzeitig sind viele kritische Rohstoffe, wie Technologiemetalle, durch hohe Importabhängigkeiten und geringe Umwelt- und Ethikstandards bei ihrer Gewinnung und Entsorgung gekennzeichnet. Durch den wachsenden Bedarf an den darauf basierenden Technologien wird sich die Nachfrage nach solchen Materialien weiter erhöhen.

Was geplant ist: Im Impulspapier des BMBF zur Materialforschung werden die zentralen Herausforderungen und Lösungsansätze dargelegt. Basierend auf den Säulen Kompetenz und Transfer werden Digitalisierung und Biologisierung der Materialforschung forciert. Mit der **Initiative „Material Digital“** treibt das BMBF die Digitalisierung der Materialforschung in Deutschland voran. Der Fokus liegt hier u. a. auf der Definition von Standards, Ontologien und Workflows und der Simulation von Materialdaten für verschiedene Materialklassen und Größenskalen. Die Entwicklung von Materialien für eine ressourceneffiziente Industrie und Gesellschaft steht im Fokus der **Initiative „MatResource“**. Zentrale

Elemente sind die Substitution kritischer Materialien, die Steigerung der Materialeffizienz, die Nutzung von Sekundärmaterialien sowie die Wiedergewinnung von Wertstoffen. Gerade im Bereich der Batterieforschung, als wesentliche Grundlage der Elektromobilität, wird dies etwa im neuen Kompetenzcluster Recycling/Grüne Batterie betrachtet. Mit dem **BMBF-Ideenwettbewerb zur „Biologisierung der Technik“** wird das wirtschaftliche Potenzial einer Biologisierung der Materialforschung und Werkstoffentwicklung ausgelotet. Dabei werden biologische Prinzipien wie z. B. Selbstheilung und Selbstorganisation, Informationsspeicherung und -verarbeitung sowie biologische Recyclingmechanismen als Inspirationsquelle für technische Systeme und Anwendungen herangezogen. Querschnittsthema für alle Initiativen ist die ganzheitliche Betrachtung kritischer Stoffe einschließlich Recycling und Sekundärmaterialien, Gewährleistung der Versorgungssicherheit sowie Entwicklung neuer, leistungsfähigerer und weniger kritischer Alternativen.

Hierfür ist es von grundlegender Bedeutung, den Aufbau von Materialien und ihrer Funktionsweisen zu verstehen. Dafür sind deutsche und internationale Großgeräte der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung, zum Beispiel Synchrotrons und Neutronenquellen, von essentieller Wichtigkeit. Daher finanziert das BMBF im **Rahmenprogramm Erforschung von Universum und Materie** entscheidend ihren Auf- und Ausbau.

Die Forschungsförderung wird durch gezielte Maßnahmen entlang der Innovationskette ergänzt: Der Transfer der Forschungsergebnisse in die Anwendung erfolgt über gemeinsame Plattformen mit der Industrie, wie die **Plattform MaterialDigital** oder die beiden **Werkstoffplattformen** zu Hybriden Materialien und Biomaterialien, die sich auch mit Standardisierungsfragen befassen. Die Initiative „Batterie 2020 Transfer“ fokussiert explizit auf den Transfer neuer Batteriematerialien. Mit den Maßnahmen **„NanoMatFutur“** und **„BattFutur“** zur Einrichtung von Nachwuchsforschungsgruppen werden nicht nur die Kompetenzentwicklung und Ausbildung von Nachwuchsforscherinnen und -forschern vorangetrieben, sondern auch Unternehmensgründungen befördert. Im Fokus der internationalen Zusammenarbeit stehen die europäische Kooperation sowie strategische Partnerschaften, etwa im Bereich der Batterieforschung. Die Gesellschaft wird durch Bürgergespräche, etwa zu Nanomaterialien oder Interaktionsmaßnahmen, wie dem InnoTruck, gezielt eingebunden.



3.9. Batterieforschung – Eine Innovationspipeline für die Rückkehr an die Weltspitze

Die Fähigkeit, Energie in Batterien zu speichern, ermöglicht eine Vielzahl von neuen Anwendungen mit einem hohen Wertschöpfungs- und Innovationspotenzial und wird in Zeiten des digitalen Wandels und der Energiewende zunehmend zur Schlüsselkompetenz. Der Aufbau einer Wertschöpfungskette „Batterie“ ist daher eine zentrale Herausforderung, die mit dem Maschinen- und Automobilbau sowie der chemischen und elektronischen Industrie gerade die größten Industriezweige Deutschlands maßgeblich betrifft. Dabei war der Vorsprung anderer Länder, wie China und Südkorea, in der Technologieentwicklung und der Produktion lange Zeit enorm und hat zu erheblichen Importabhängigkeiten geführt. Die Förderung der Batterieforschung durch das BMBF seit 2008 mit über 750 Mio. Euro sowie das Dachkonzept „Forschungsfabrik Batterie“ haben jedoch zu einer regelrechten Aufholjagd der deutschen Batterieforschung geführt. Durch die Kombination einzelner Module des BMBF-Dachkonzepts „Forschungsfabrik Batterie“ als Innovationspipeline und die Etablierung von Transferpfaden in die Anwendung, bietet sich inzwischen die Chance, die Wertschöpfungskette „Batterie“ vollständig in Europa und wesentliche Komponenten in Deutschland abzudecken. Deutschland kann so gemeinsam mit Europa zum führenden Anbieter für moderne, leistungsfähige und zugleich nachhaltige Batteriesysteme und -materialien werden.

Was geplant ist: Notwendig ist eine ganzheitliche Betrachtung der Batterie. Die aktuell laufenden Maßnahmen setzen daher an verschiedenen Punkten der Wert-

schöpfungskette Batterie an und fördern und vernetzen Forschung und Entwicklung zu ganz unterschiedlichen Bereichen, von den Rohstoffen über die Materialien und Batteriezellen bis zum Batteriesystem und vom Design über die Produktion bis zum Recycling. Digitale Prozesse spielen dabei in allen relevanten Bereichen eine wichtige Rolle. Im Fokus steht insbesondere der **Aufbau von Batteriekompetenzclustern** in den Bereichen (intelligente) Batteriezellproduktion, Festkörperbatterien, Batteriematerialien, Recycling/ Grüne Batterie, Batterienutzungskonzepte sowie Analytik/Qualitätssicherung. Hinzu kommt der **Aufbau von Forschungsproduktionslinien** und der „**Forschungsfertigung Batteriezelle**“, um die volle Wertschöpfungsinfrastruktur abzubilden. Der Transfer wird dabei über industrielle Managementkreise von Anfang an mitgedacht und über die Fortführung der Initiative „**Batterie 2020**“ mit der Komponente „Batterie 2020 Transfer“ sowie in europäischen und internationalen Kooperationen, u. a. mit Israel, Japan, den USA, Taiwan sowie künftig auch Frankreich vorangetrieben.

Der Batteriekompetenzcluster zur Analytik und Qualitätssicherung bietet darüber hinaus Möglichkeiten im Bereich der Standardisierung. Produktionsseitig setzt Deutschland darauf, gemeinsam mit den europäischen Partnern die aktuellen Defizite, etwa im Rahmen mehrerer IPCEIs, aufzuholen. Die Steigerung von Nachhaltigkeit und geopolitischer Unabhängigkeit, etwa durch das Schließen von Stoffkreisläufen für Batteriematerialien oder die Maximierung der Nutzungsdauer von Batteriezellen, gepaart mit Maßnahmen des Kompetenzaufbaus, wie der Nachwuchsförderinitiative „BattFutur“, vervollständigen den ganzheitlichen Ansatz.



3.10. Grüner Wasserstoff – Deutschland zum Leitmarkt und weltweiten Leitanbieter machen

Grüner Wasserstoff ist nicht nur zentral für das Erreichen der Pariser Klimaschutz-Ziele, sondern auch ein zunehmend bedeutsamer Wirtschaftsfaktor. Der Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland und Europa ist daher einer der wichtigsten Aufgaben der kommenden Jahre. Für eine nachhaltige Unterstützung der Wertschöpfungskette „Wasserstoff“ kommt es wesentlich auf Souveränität in den relevanten Schlüsseltechnologien an. Dabei ist die Ausgangsposition Deutschlands (noch) gut. Alle relevanten Industrien sind am Standort Deutschland vertreten, um technologische Abhängigkeiten aus dem außereuropäischen Ausland zu vermeiden. Bei den Technologien rund um die Wasserstoffwirtschaft hat Deutschland jedoch starke Konkurrenz, u. a. aus China, Japan, Südkorea, Frankreich, Italien und den USA. Eine große Chance liegt darin, sich als Technologieausrüster zu etablieren und weltweiter Leitanbieter für Wasserstofftechnologien zu werden. Deutschland wird Importeur von Energielieferungen bleiben und sollte daher seine Souveränität als Exporteur von Anlagen zur Wasserstoffproduktion festigen. Jetzt gilt es die Weichen zu stellen, um – im europäischen Verbund – zuverlässige Lieferketten für Grünen Wasserstoff aufzubauen.

Was geplant ist: Mit der **Nationalen Wasserstoffstrategie** liegt eine Roadmap für das Erreichen technologischer Souveränität in der Wasserstoffwirtschaft vor. Diese

muss nun beherzt umgesetzt werden. Dazu hat das BMBF den Ideenwettbewerb „Wasserstoffrepublik Deutschland“ ins Leben gerufen. Aus diesem sind drei industriegeführte Leitprojekte zu den Themen Erzeugung, Transport und Offshore-Wasserstoff entstanden, die den notwendigen Technologien einen kräftigen Schub bringen werden und große technologische Hürden beim Einstieg in die Wasserstoffwirtschaft aus dem Weg räumen. Der Forschungstransfer sowie die Nachwuchs- und Fachkräfteausbildung sind integrale Bestandteile dieser Maßnahmen. Die industriegeführten Leitprojekte werden zudem den Normungs- und Standardisierungsprozess unterstützen.

Mit Blick auf den Aufbau und einer Etablierung einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland müssen neue Geschäftsmodelle entwickelt werden. Hierfür ist der regulatorische Rahmen von besonderer Bedeutung. Potenziell notwendige Anpassungen der Rahmenbedingungen werden in den industriegeführten Leitprojekten, aber auch bei den Kopernikus-Projekten für die Energiewende, aufgegriffen. Das BMBF arbeitet hierzu eng mit dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) und dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) zusammen.

Für den Import von „Grünem Wasserstoff“ ist eine europäische und internationale Kooperation essentiell, um die nachhaltige Energieversorgung Deutschlands zu sichern. Mit dem westlichen und südlichen Afrika

wurde bereits ein Potenzialatlas Grüner Wasserstoff auf den Weg gebracht. Mit Australien wird eine Machbarkeitsstudie zu einer deutsch-australischen Lieferkette für Grünen Wasserstoff erarbeitet.

Auf europäischer Ebene wurde im Rahmen der deutschen EU-Ratspräsidentschaft 2020 eine mitgliedstaatengestützten Forschungs- und Innovationsinitiative zum Aufbau einer europäischen Wasserstoffwirtschaft angestoßen. Unterstützt wird zudem ein IPCEI für Wasserstoff. Bilaterale Kooperationen mit Frankreich, Israel und den Niederlanden befinden sich aktuell in der Diskussion. Zur Stärkung der europäischen wie auch der internationalen Komponente der Nationalen Wasserstoffstrategie wird der Aufbau von Internationalen Zukunftslaboren zum Thema „Grüner Wasserstoff“ gefördert. Zudem wird mit der Rahmenbekanntmachung für internationale Forschungsk Kooperation zum Grünen Wasserstoff die Zusammenarbeit mit ausgewählten Partnerländern ausgebaut. So sind beispielsweise mit Japan, Kanada, Südkorea und Neuseeland Initiativen für eine engere Kooperation in Vorbereitung. Damit wird zugleich die Sichtbarkeit Deutschlands als wichtiger Forschungsstandort in diesem Bereich gestärkt.

3.11. Souveränität in der Impfstoff-Forschung und -Entwicklung

Impfstoffe gehören zu den erfolgreichsten Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung vor schweren Infektionskrankheiten. In den westlichen Industrieländern sind mehr als 30 Impfstoffe im Gebrauch. Dennoch gibt es immer noch viele Infektionskrankheiten, die, besonders in Entwicklungsländern, in großem Ausmaß zu Invalidität und Tod führen. Hinzu kommen Epidemien oder Pandemien, die von neuartigen Erregern ausgelöst werden. Aktuell ist mit der Entwicklung eines Impfstoffes gegen SARS-CoV-2 die Hoffnung verbunden, die COVID-19 Pandemie zu beenden. Neuere Technologien zur Impfstoffentwicklung, wie z. B. virale Vektoren oder RNA-Impfstoffe, können in solchen Situationen, in denen nur wenig Zeit für die Impfstoffentwicklung zur Verfügung steht, von Vorteil sein.

Die Entwicklung und Herstellung von Impfstoffen ist komplex und benötigt ein umfangreiches medizinisches, naturwissenschaftliches und technologisches Wissen. Um einen Impfstoffkandidaten bis zur Marktreife bzw. Zulassung zu bringen, sind umfangreiche Prüfungen notwendig. Diese kosten sehr viel Geld und erfordern häufig eine internationale Zusammenarbeit. Die



notwendigen finanziellen Mittel sowie die technologischen und logistischen Kapazitäten besitzen in der Regel nur große, global agierende pharmazeutische Unternehmen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass die Erwartungen an die Sicherheit und Wirksamkeit von Impfstoffen sehr hoch sind. Dies spiegelt sich in den regulatorischen Anforderungen wider und leistet einen entscheidenden Beitrag zur Akzeptanz von Impfstoffen.

Zum Erhalt und Ausbau einer technologischen Souveränität in der Impfstoffentwicklung muss die gesamte Wertschöpfungskette berücksichtigt werden. Sie reicht von der Entdeckung neuer Technologien oder Impfstoffkandidaten im akademischen Umfeld, über die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Impfstoffforschung, die Entwicklung globaler Standards zur Wirksamkeit und Sicherheit bis zur umfangreichen klinischen Prüfung und Entwicklung der Herstellung auf dem Weg zur Marktreife. Es ist eine Besonderheit von Impfstoffen und anderen biologischen Arzneimitteln, dass im Rahmen der Zulassung, neben der Qualität des Endproduktes, der gesamte Prozess von der frühen Entwicklung bis zur kommerziellen Herstellung eine entscheidende Rolle bei der Bewertung der Sicherheit des Impfstoffkandidaten darstellt.

Was geplant ist: Für die Erforschung von Infektionskrankheiten und die Entwicklung von neuen Impfstoffen und Impfstofftechnologien besitzt Deutschland bereits eine sehr gute Infrastruktur. Auch im Bereich der frühen Phasen der Entwicklung neuer Impfstoffe ist Deutschland gut aufgestellt.

Mit dem **Sonderprogramm Impfstoff-Forschung und -Entwicklung gegen SARS-CoV-2** wird nicht nur die Entwicklung der dringend benötigten Impfstoffe beschleunigt, sondern es werden auch finanzielle Mittel bereitgestellt, um wissenschaftliches und technologisches Know-how in Deutschland zu halten und auszubauen und die internationale Kooperation zu stärken. Dies beinhaltet sowohl die technische Entwicklung neuer Impfstoffe wie auch die klinische Prüfung der Impfstoffkandidaten bis hin zur Zulassung. Darüber hinaus ermöglicht die Förderung den Ausbau technologischer Kapazitäten zur Herstellung der Impfstoffe für die deutsche, europäische und globale Versorgung. Mit dieser Förderung wird ein wichtiger Beitrag geleistet, die gesamte Wertschöpfungskette für die Entwicklung innovativer Impfstoffe in Deutschland zu erhalten.

3.12. Etablierung neuer und starker Partnerschaften für Deutschland und Europa

Technologische Souveränität ist ohne länderübergreifende Zusammenarbeit nicht möglich. Um ihre technologische Souveränität zu stärken, sind Deutschland und Europa nicht nur auf die Einbindung in internationale Märkte angewiesen, sondern auch auf Zugang zu den internationalen Wissens- und Innovationsströmen. Wenn Deutschland und Europa bei der Erforschung und Entwicklung von Schlüsseltechnologien eine führende Rolle einnehmen wollen, müssen sie ihre Kooperation mit den weltweit besten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern zielgerichtet ausbauen. Für globale Wettbewerbsfähigkeit und die wertebasierte internationale Zusammenarbeit Europas in Forschung und Entwicklung kommt auch einem leistungsfähigen Europäischen Forschungsraum eine besondere Bedeutung zu.

Was geplant ist: Das BMBF fördert die Etablierung neuer und starker Partnerschaften für Deutschland und Europa auf der Grundlage der unter seiner Federführung formulierten **Strategie der Bundesregierung zur Internationalisierung von Bildung, Wissenschaft und Forschung**. Die im Rahmen der Strategie verfolgten Instrumente und Formate gilt es nun, für die Stärkung der technologischen Souveränität zu nutzen und mit Blick auf dieses Ziel konzeptionell weiterzuentwickeln. Technologische Souveränität erfordert dabei auch den Schutz der in Deutschland und Europa entwickelten Innovationen, wenn der Wirtschaftsstandort dauerhaft gestärkt werden soll.

Um für die Erforschung von Schlüsseltechnologien mehr Spitzenwissenschaftlerinnen und -wissenschaftler aus dem Ausland zu gewinnen, werden die **Internationalen Zukunftslabore** ausgeweitet. Nach dem erfolgreichen Start der Internationalen Zukunftslabore zur Künstlichen Intelligenz im Mai 2020 wird in einem nächsten Schritt der Aufbau von Internationalen Zukunftslaboren zum Grünen Wasserstoff gefördert, um so die internationale Komponente der Nationalen Wasserstoffstrategie zu stärken. Auch die im Juli 2020 gestartete Maßnahme zur Förderung gemeinsamer Forschungspräsenzen für Technologien zu Grünem Wasserstoff mit Partnern in Australien, Indien, Japan, Korea, Malaysia, Neuseeland, Singapur und Thailand trägt hierzu bei.

Bei der Steigerung von technologischer Souveränität spielt die Internationalisierung deutscher KMU eine wichtige Rolle. Durch ihre Einbindung in internationale Wissens- und Innovationsströme wird der Transfer von der Wissenschaft in die Wirtschaft unterstützt. Um internationale Forschung für KMU besser nutzbar zu machen und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken, baut das BMBF seine **Initiative „KMU international“** aus. Dabei wird das „2+2“-Format erweitert. Auch hier wird ein besonderer Fokus auf die Schlüsseltechnologien gelegt. Durch eine Stärkung der internationalen Dimension der Cluster- und Netzwerkförderung bietet sich zudem die Chance, leistungsstarke Cluster und -Netzwerke besser in länderübergreifende Wissensströme einzubinden.

Ansatzpunkte für die Stärkung der technologischen Souveränität bietet auch die **bilaterale Zusammenarbeit**. Dies gilt vor allem für die Kooperation mit Ländern, mit denen Deutschland eine Wertepartnerschaft verbindet. Der Fortführung und dem Ausbau der exzellenten Kooperation mit Frankreich kommt in diesem Zusammenhang ein besonderer Stellenwert zu. Aber auch der Ausbau unserer Kooperation mit Wertepartnern im asiatisch-pazifischen Raum ist von Bedeutung. Chancen tun sich auch auf multilateraler Ebene auf: Mit der Übernahme der G7-Präsidentschaft 2022 kann Deutschland in einem wichtigen multilateralen Forum als Impulsgeber agieren.

Mit der Strategie „Europe Fit for the Digital Age“ hat die Europäische Kommission ihre neue europäische digitale Strategie für die nächsten fünf Jahre vorgelegt. Sie wird ergänzt durch strategische Pläne für eine europäische Datenstrategie mit der Zielsetzung die technologische Unabhängigkeit Europas für eine daten-agile Wirtschaft zu stärken, und durch das Weißbuch zur Künstlichen Intelligenz. Im nächsten Mehrjährigen

Finanzrahmen der EU werden zudem mit dem neuen EU-Rahmenprogramm für Forschung und Innovation – Horizont Europa, dem Digital Europe-Programm und dem Bereich CEF Digital unter der Connecting Europe-Fazilität zentrale neue Förderinstrumente etabliert. Sie sollen die gemeinsame Erforschung und Entwicklung innovativer digitaler Technologien, den Aufbau strategischer digitaler Kapazitäten in der EU und die Erleichterung des breiten Einsatzes digitaler Technologien maßgeblich unterstützen. Durch eine starke Beteiligung der deutschen Forschungs- und Innovationslandschaft an diesen Programmen, auch im Rahmen öffentlich-öffentlicher und öffentlich-privater Partnerschaften, werden nationale Stärken im gesamt-europäischen Kontext gezielt weiterentwickelt und ausgebaut.

Internationale Forschungs- und Entwicklungskooperationen, auch jenseits von Europa, tragen maßgeblich zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Unternehmen bei. Das EUREKA-Netzwerk ist hierbei neben dem EU-Forschungsrahmenprogramm ein wichtiger Baustein in der internationalen industrienahe Forschungsförderung. EUREKA erlaubt eine vergleichsweise einfache und flexible internationale Zusammenarbeit zwischen Unternehmen auf Grundlage nationaler Interessen und Prioritäten. Dies ist für den Industriestandort Deutschland von zentraler Bedeutung, gerade für die Sicherung des Zugangs zu internationalen Wertschöpfungsketten und internationalem Know-How, insbesondere in Ländern wie Kanada, Südkorea, Großbritannien oder der Schweiz. Die Übernahme der **EUREKA-Präsidentschaft** ab dem 2. Halbjahr 2022 bietet für das BMBF die Chance, internationale Technologiekooperationen im Interesse der deutschen Industrie auszubauen und für Deutschland wichtige strategische Themen gezielt voranzutreiben.

4. Ausblick: Der weitere Weg

Das BMBF steht mit den Themen Bildung und Forschung für Zukunft und ist in der Bundesregierung der Taktgeber zur Stärkung der technologischen Souveränität. Denn um auf der Höhe der technischen Entwicklung zu bleiben, müssen wir auch künftig relevante Schlüsseltechnologien frühzeitig identifizieren, die Grundlagen für sie durch gezielte Forschungsförderung legen und die Technologien vorantreiben und in die europäische Wertschöpfung überführen.

Wir fördern Wissenschaft und Forschung, die die Welt verändern. Deutsche Universitäten und Forschungseinrichtungen haben sich vielfach in der Weltspitze der Forschung etabliert. Die beiden im Jahr 2020 erzielten Nobelpreise, der erste Platz des Helmholtz-Zentrums für Informationssicherheit, CISPA, im weltweiten Cybersicherheitsranking und die Entwicklung des ersten EU-weit zugelassenen Impfstoffs gegen SARS-CoV2 durch ein deutsches Unternehmen, das bereits in seiner Gründungsphase vom BMBF gefördert wurde, sind hierfür herausragende Beispiele.

Diese gute Ausgangsposition haben wir uns gemeinsam in den vergangenen Jahren hart erarbeitet. Klar ist jedoch, dass wir uns als Innovationsland Deutschland

auf diesen Erfolgen nicht ausruhen dürfen. Es liegt in unseren Händen, aus den 20er-Jahren ein Jahrzehnt der Bildung, Forschung und Innovation zu machen.

Der Erhalt und Ausbau von technologischer Souveränität ist dafür entscheidend. Wir werden unsere Programmatik für die Stärkung von technologischer Souveränität daher gezielt weiterentwickeln. Dabei werden wir weitere Technologiefelder aufgreifen und Querschnittsthemen, wie die Frühbeet-, Transfer- und Nachwuchsförderung sowie Themen an den Schnittstellen von Grundlagenforschung, Technologie- und Anwendungsfeldern, wie Digitalisierung und Nachhaltigkeit, verstärkt angehen. Dies umfasst auch die adäquate Verzahnung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten an Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen und in der Wirtschaft, die Erarbeitung geeigneter bildungs- und forschungspolitischer Ansätze sowie die Etablierung von Kriterien und eines Prozesses zur kontinuierlichen Auswahl relevanter Technologien und Themen.

Das BMBF wird dazu in den kommenden Monaten auch den begonnenen Dialog mit Stakeholdern in Wissenschaft, Wirtschaft, Gesellschaft und Politik fortführen. **Wir laden Sie ein, sich hieran zu beteiligen.**

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundsatzfragen, Digitalisierung und Transfer
Abteilung Forschung für technologische Souveränität
und Innovationen
53170 Bonn/11055 Berlin

Stand

April 2021

Text und Gestaltung

BMBF

Bildnachweise

S. 9: Adobe Stock/naka;
S. 11: gettyimages/Jose Luis Stephens/EyeEm
S. 12: shutterstock/whiteMocca;
S. 15: Adobe Stock/Bartek Wróblewski;
S. 16: iStock/B4LLS;
S. 19: IOM Leipzig;
S. 21: ZSW/M. Duckek;
S. 22: SCHOTT AG/Alexander Sell;
S. 23: Adobe Stock/ REDPIXEL

Diese Publikation wird als Fachinformation des Bundesministeriums für Bildung und Forschung kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

