



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

Hightech
Agenda

DEUTSCHLAND

Zukunft der Wertschöpfung

Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit



Vorwort

Wie sehen die Arbeitswelten der Zukunft aus? Welche Bedürfnisse werden Produkte und Dienstleistungen befriedigen? Wie können Wertschöpfung und Wohlstand in Deutschland klimaneutral und nachhaltig gesichert werden? Das damalige Bundesministerium für Bildung und Forschung hat diese Fragen in den Fokus genommen, als es im März 2021 das Forschungsprogramm „Zukunft der Wertschöpfung“ veröffentlichte. Das Programm betrachtet die Wertschöpfung aus sechs Perspektiven. In jeder Perspektive und besonders in ihrer Gesamtschau entstehen Innovationen in Produktion, Dienstleistung und Arbeit.

Die Digitalisierung, die Globalisierung und der Klimawandel haben gewaltige Auswirkungen auf die Wertschöpfung. Diese erfolgt in einem komplexen System im Zusammenspiel von Unternehmen, Gesellschaft, Wissenschaft und Sozialpartnern. Für mehr Wachstum und Wettbewerbsfähigkeit, sichere Arbeitsplätze und eine nachhaltige Versorgung der Menschen mit Waren und Dienstleistungen ist eine effiziente, resiliente Wertschöpfung zentral. Forschung und Entwicklung tragen dazu bei, neue Technologien und Geschäftsmodelle sowie bessere Arbeitsprozesse zu entwickeln und in die Anwendung zu bringen. Für Deutschland bedeutet jede Innovation auch einen Schritt zu mehr technologischer Souveränität.

Die Forschungsförderung richtet sich am Bedarf von Wirtschaft und Wissenschaft, Gesellschaft und Umwelt aus. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf jungen, kleinen und mittleren Unternehmen.

Die zweite Neuauflage dieser Programmbroschüre richtet das Fachprogramm „Zukunft der Wertschöpfung“ auf die Ziele der Hightech Agenda Deutschland (HTAD) aus. Es präsentiert die Beiträge des Programms zu deren Umsetzung und setzt einen Fokus auf den Transfer von Forschungsergebnissen in die unternehmerische Praxis. Dabei bleibt die Programmatik unverändert. Aktualisiert sind die thematischen Schwerpunkte, die im Zuge der Umsetzung des Programms weiterentwickelt und verdichtet wurden. Angepasst wurde auch das Kapitel zur Vernetzung mit anderen Programmen.

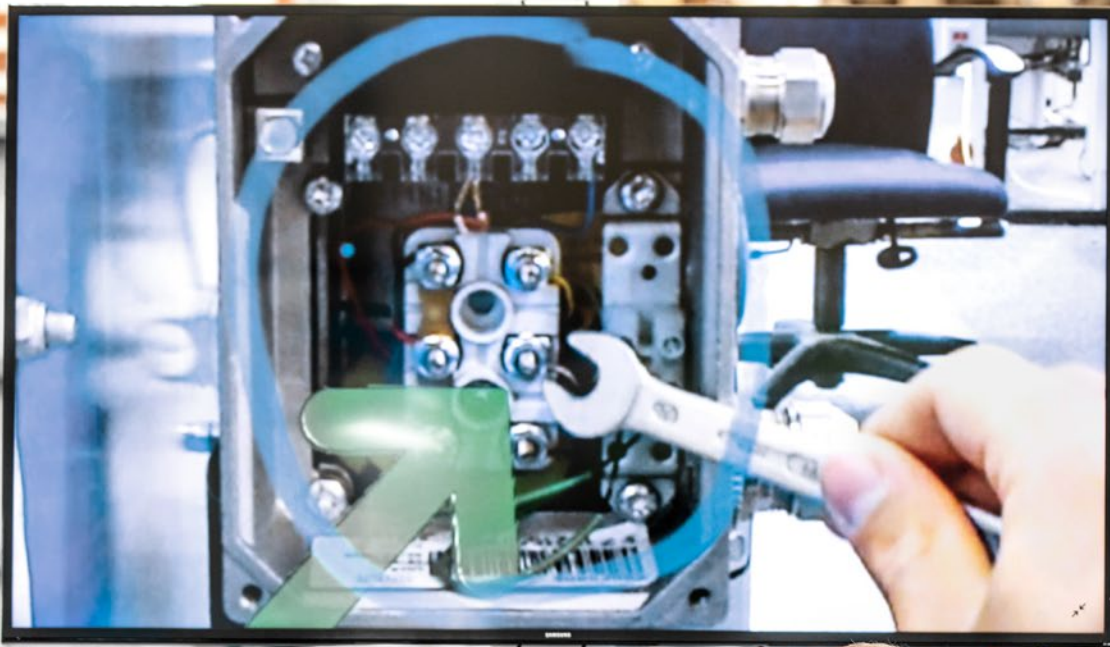
„Die Forschung von heute wird zur Wertschöpfung von morgen. (...) Deshalb nimmt die Hightech Agenda Deutschland die gesamte Kette in den Blick – vom ersten Innovationsimpuls bis zum wettbewerbsfähigen Produkt.“ Diesen in der HTAD formulierten Anspruch setzt das Programm um, indem es Schlüsseltechnologien in leistungsfähige Produkt- und Serviceinnovationen integriert und in die Anwendung bringt. Die im Programm entwickelten Produktions- und Fertigungstechnologien, Dienstleistungsangebote sowie Arbeitsprozesse sind ein Schlüssel für die wirtschaftliche Verwertung von Innovationen.

Die vorliegende Broschüre soll Interesse wecken, auch weiterhin an der Gestaltung der Zukunft der Wertschöpfung in Deutschland mitzuwirken und Perspektiven für das Arbeiten und Wirtschaften von morgen zu entwickeln.

Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt

Inhaltsverzeichnis

Das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“	2
Programmmziel	5
Handlungsfelder	7
Perspektiven der Forschung zur Wertschöpfung	8
Menschen in der Wertschöpfung	9
Dynamik von Wertschöpfungssystemen	10
Geschäftsmodelle und Nutzenversprechen	14
Ressourcen	15
Soziotechnische und methodische Innovationen der Herstellung	18
Vernetzung und Kooperation	22
Umsetzung der Forschung zur Wertschöpfung	26
Instrumente	27
Transfer in die Praxis	30
Industrie 4.0	32
Internationale Zusammenarbeit	34
Vernetzung	35
Lernendes Programm und Evaluation	39
Impressum	41



Das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“

Jede Generation organisiert die Strukturen und Prozesse der Wertschöpfung neu, um den Wohlstand zu optimieren. Im Rückblick erscheint jeder dieser Vorgänge als eine industrielle Revolution. Waren die ersten dieser Revolutionen durch Mechanisierung, Automatisierung und Massenproduktion angetrieben, so sind es im Zeitalter von Industrie 4.0 die Digitalisierung, künstliche Intelligenz (KI) sowie die Daten- und Plattformökonomie, die die Veränderungen vorantreiben.

Billige Produkte und große Stückzahlen kennzeichneten die Wertschöpfung der frühen industriellen Revolutionen. Doch längst gehen die Anforderungen an das Ergebnis von Produktion und Dienstleistung hierüber hinaus. Heute werden auch CO₂-Neutralität, der Erhalt einer hohen Umweltqualität, sozial gerechte Lebensverhältnisse, Qualität der Arbeit, freier Zugang zu Infrastrukturen und Daten, technologische Souveränität, Versorgungssicherheit und nicht zuletzt Kundenbedürfnisse mit der Wertschöpfung verbunden.

In einem weltweiten Wettbewerb ändert sich Wertschöpfung unentwegt. Es entstehen immer neue Produkte, Leistungen, Technologien, Geschäftsmodelle und Kundenbeziehungen. Keine Wettbewerbsposition ist hierbei dauerhaft gesichert. Sie wird durch Unternehmen und ihre Beschäftigten ständig neu errungen – in einem komplexen und dynamischen Umfeld. Die Suche nach Erfolg auf den Märkten erstreckt sich weit über einzelne Unternehmen, Produkte oder Dienstleistungen hinaus und schließt Innovationen im sozialen Raum mit ein.

Das Geflecht der Wertschöpfung ist komplex: Kaum ein Unternehmen bietet allein ein einziges Gut oder eine einzige Dienstleistung an. Prozesse greifen ineinander, Unternehmen hängen von Partnernetzwerken und integrativen Dienstleistungen ab. Erfolg setzt die Interaktion mit der Kundschaft voraus. Das reicht von der Ermittlung individueller Präferenzen bis zum Mitwirken als Konsumenten am Innovationsprozess. Neben privaten Unternehmen wirken öffentliche und gesellschaftliche Organisationen mit. Kurz: Wertschöpfung findet in Systemen und Netzwerken statt.

Ein Teil dieser Systeme wird rechtlich geregelt. Die Unternehmen benötigen den rechtlichen Rahmen und verhandeln ihre Interessen im Kontext der Sozialpartnerschaft. Dies ist umso wichtiger, als Wertschöpfungsprozesse heute den ganzen Erdball umspannen.

Ein anderer, immer größer werdender Teil der Wertschöpfungssysteme wird von autonomen Maschinen und intelligenten Algorithmen gesteuert. Systeme aus Informations- und Kommunikationstechnologien koordinieren sich untereinander weitgehend selbstständig. Sie nutzen digitale Abbilder als Grundlage für die Wertschöpfung und schaffen so reale Produkte, Dienstleistungen und Prozesse. Digitale und analoge Prozesse wirken in der Wertschöpfung schon heute zusammen. Dabei entstehen neue Formen des Wirtschaftens, deren Folgen sich derzeit nur in Teilen erkennen lassen: Plattform-, Datenökonomie und Industrie 4.0 sind erste Ausprägungen dieser neuen Wertschöpfung. Sie und die kommenden Entwicklungen verdienen es, näher betrachtet zu werden.

Durch die Digitalisierung steigt der ökonomische Wert von Daten. Sie enthalten Hinweise auf Wettbewerbsparameter: Im Bestellverlauf verbergen

sich Kundenwünsche, Reklamationen weisen auf die Qualität der Produkte hin, Bearbeitungszeiten auf betriebliche Abläufe etc. Die Fähigkeit, Daten systematisch zu erheben, zu analysieren und in Entscheidungen zu überführen, wird zum zentralen Erfolgsfaktor für Unternehmen.

Dabei treten Branchengrenzen in den Hintergrund. Mobilitätskonzepte beispielsweise konzentrieren sich nicht nur auf das Auto, das Fahrrad oder den Zug. Sie verbinden die Vielfalt der Transportmöglichkeiten beispielsweise mit ergänzenden Dienstleistungen und Konzepten für geteilte Nutzung. Ob ein Fahrzeug als Produkt gesehen wird oder als technische Basis für Dienstleistungen, ist zunächst offen. Je nach konkreter Situation entscheidet sich, ob gekauft oder gemietet, exklusiv genutzt oder geteilt wird. Im Vordergrund stehen Eigenschaften der Produkte für die Verwendung, nicht der Status des Eigentums.

Damit rückt der Mensch in den Mittelpunkt – seine Bedarfe und seine Einschätzung des Wertes einer Leistung. Dies gilt unabhängig davon, ob Produkte hergestellt, Dienstleistungen erbracht werden oder beide Fälle zusammenfallen.

Diese dynamischen Veränderungen in der Wertschöpfung bleiben nicht ohne Wirkungen auf die Bedingungen der Arbeit, die Anforderungs- und Kompetenzprofile etc. Die Arbeitswelten der Zukunft verbinden Mensch und Technik über künstliche Intelligenz und schaffen Interaktion und Kollaboration zwischen Menschen und Maschinen. Daher ist Forschung zur Wertschöpfung immer auch Forschung zur Organisation, Gestaltung und Bewertung von Arbeit. Gesucht werden unter anderem Methoden, Konzepte und Instrumente, um die Wertschöpfung zu gestalten. Zwei Bereiche sind hierbei in Einklang zu bringen: die digitalisierte und automatisierte Technik sowie das Soziale in den Arbeits- und Lebenswelten.

Allen Phänomenen der zukünftigen Wertschöpfung ist eines gemeinsam: Wesentliche Faktoren der Innovationskraft sind Wissenschaft und Forschung. Und diese Forschung braucht ihrerseits Daten zu möglichst allen Facetten der Wertschöpfung. Die Bereitstellung von Daten zur freien Nutzung ist daher kein Selbstzweck.

Für die Forschung zur Wertschöpfung der Zukunft kommt hinzu, dass sich die traditionellen Forschungsfelder immer stärker verbinden. Produktions-, Dienstleistungs- und Arbeitsforschung gehören heute integrativ zusammen. Entsprechend sind Produktions-, Dienstleistungs- und Arbeitsforschung frühzeitig miteinander zu verzahnen, damit die komplexen Beziehungen in der Wertschöpfung erfasst werden können. Das umfasst zwei Aspekte:

Die Forschungstraditionen sind jeweils für sich weiterzuentwickeln, um fachliche Spezifika zu erfassen. Gleichzeitig sind die Traditionen zu kombinieren und zu verzahnen. Nur so ist es möglich, Antworten zu liefern, die für die Weiterentwicklung der Wertschöpfung erforderlich sind. Dies erlaubt einen umfassenden Blick auf die Realität der Wertschöpfung, in der die Fachgrenzen längst überwunden sind.

Jede Dienstleistung braucht Produkte, damit sie erbracht werden kann. Produkte erhalten ihren Wert über die Dienstleistungen, die sich mit ihnen erstellen lassen. Und für beide Aspekte ist es wichtig, dass Führungskräfte, Beschäftigte und betriebliche Interessenvertretungen in der Lage sind, Arbeitsprozesse mitzugestalten.

Genau hier setzt das Forschungsprogramm „Zukunft der Wertschöpfung“ an. Es baut auf der Tradition des Programms „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ auf und entwickelt dessen Sichtweisen weiter. Produktions-, Dienstleistungs- und Arbeitsforschung behalten ihre eigenständige Bedeutung genauso wie ihre fachspezifischen Fragestellungen. Der integrative Blick lenkt die Aufmerksamkeit darüber hinaus auf Fragen, die die fachspezifischen Dimensionen der einzelnen Bereiche erweitern. Beispielhaft stehen hierfür die nachfolgenden Fragen:

- Wie entwickelt sich Wertschöpfung unter dem Einfluss sich schnell verändernder Rahmenbedingungen?
- Wie können Systeme der Wertschöpfung gestaltet werden, um menschlichen Bedürfnissen gerecht zu werden und gleichzeitig gesellschaftliche Anforderungen zu erfüllen?

- Wie verändert sich die Rolle des Menschen im Prozess der Wertschöpfung?
- Welche Kompetenzen benötigen Menschen in der Zusammenarbeit mit technischen Systemen?
- Wie lässt sich die Interaktion mit der jeweiligen Kundschaft im Prozess der Wertschöpfung erfolgreich gestalten?
- Aus welchen Technologien gehen neue Produkte, Dienstleistungen oder Produkt-Service-Systeme hervor?
- Wie wird Wissensmanagement so gestaltet, dass es menschliches Wissen und maschinell erzeugte Datenanalysen verbindet?
- Welche neuen Kooperationsformen entstehen mit der Wertschöpfung der Zukunft?

Das Förderprogramm „Zukunft der Wertschöpfung“ ist Teil einer umfassenderen Forschungs- und Innovationspolitik der Bundesregierung. Es zählt auf die Ziele der Hightech Agenda Deutschland (HTAD) der Bundesregierung ein, und gestaltet innovative Wege des Transfers, damit die Forschung bei den Unternehmen ankommt.

Es unterstützt gleichzeitig die Initiativen der Bundesregierung zur technologischen Souveränität und sichert die Voraussetzung für eine nachhaltige und zukunftssichere Wertschöpfung in Deutschland und Europa.

Die Wertschöpfung der Zukunft steht dabei im Kontext europäischer Normen und Werte wie Menschenrechte, Rechtsstaatlichkeit, Freiheit und Demokratie sowie Nachhaltigkeit. Ebenso berücksichtigt sie Teilhabe, Chancengleichheit und Selbstbestimmung. Der freie Zugang zu Forschungsergebnissen, Infrastrukturen und Schlüsseltechnologien ist dafür wesentlich und Voraussetzung, um Kompetenzen und Schlüsseltechnologien der heutigen Zeit mit den Besten der Welt auf Augenhöhe weiterzuentwickeln.

Programmziel

Das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) ist von der Überzeugung getragen, dass Innovationskraft aus der Vielfalt der Ideen entsteht. Die Forschung zur Wertschöpfung der Zukunft sucht nach Handlungsmöglichkeiten, um Produkte, Dienstleistungen und Arbeitsprozesse zu gestalten. Sie fragt nach den technologischen, gesellschaftlichen und organisatorischen Bedingungen, in denen die Wertschöpfung stattfindet, sucht Treiber von Innovationsprozessen und schafft die Basis für die Wirtschaftsleistung in Deutschland.

Die Förderung von Forschung und Entwicklung steht vor der Aufgabe, die Potenziale des Wandels frühzeitig zu erkennen. Sie ermöglicht und begleitet den Strukturwandel der Wertschöpfung, die Suche nach neuen Geschäftsmodellen und Organisationsformen sowie die Entstehung neuer Marktleistungen. In den Projekten sollen Konzepte, Leistungen, Produkte und Verfahren zunächst prototypisch entwickelt und in realen Anwendungsszenarien erprobt werden. Erfolgreiche Lösungen werden danach allen Interessierten zur Verfügung gestellt.

Das BMFTR schafft durch das Programm die Basis, um hochwertige Produkte, zukunftsfähige Produktion, kundennahe Dienstleistungen und Arbeit von hoher Qualität zu sichern. Um das Programm umzusetzen, werden insbesondere die folgenden Aspekte in den Blick genommen:

Handlungsalternativen erschließen

Wertschöpfung entsteht aus der Fähigkeit, vielfältige Lösungen zu entwickeln und umzusetzen. Je nach thematischer Anwendung geht es beispielsweise darum, Schnittstellen zu verstehen und Vernetzung zu gestalten: zwischen Menschen, zwischen Menschen und Maschinen sowie zwischen Maschinen, Unternehmen und Organisationen.

In diesem Zusammenhang konzentriert sich das Programm auf die Dynamik ganzer Systeme der Wertschöpfung sowie auf einzelne Aspekte in diesen Systemen. Deshalb verfolgt die Förderung das Ziel, die Suche nach inspirierenden Möglichkeiten und attraktiven Alternativen zu unterstützen.



Wissenschaft und Wirtschaft zusammenbringen

Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Sozialpartner gestalten die Wertschöpfung der Zukunft im Zusammenspiel. Die Forschungsförderung ermöglicht das gemeinsame Wirken dieser Akteure in Forschung, Entwicklung und Transfer.

Das gilt für Großunternehmen genauso wie für kleine und mittelständische Unternehmen und für alle anderen Organisationen, die am Wertschöpfungsprozess beteiligt sind. Anwendungspartnerschaften zwischen Forschung und Praxis sowie Industriearbeitskreise beschleunigen den Transfer. Kompetenzzentren, Reallabore und thematische Schwerpunkte schaffen Sichtbarkeit. Sie alle haben ihren Platz im Instrumentenkasten der Förderung.

Nachhaltige Arbeit gestalten

Das Leitbild der Nachhaltigkeit gilt für alle Bereiche der Wertschöpfung. Es bietet Perspektiven, um die ökonomische, ökologische und soziale Dimension der Arbeitswelt zu gestalten.

Das Programm unterstützt den Austausch mit allen Interessengruppen, um vielfältige Aspekte bei der Gestaltung von Arbeit zu erfassen: Humanität, Nachhaltigkeit, Kreativität, Kompetenz, Personalentwicklung, Flexibilität, Prävention, Partizipation, Sozialpartnerschaft etc. Jede einzelne Arbeitswelt ist eine Schnittmenge daraus. Und in jeder Arbeitswelt entscheidet sich auch, wie sicher Arbeitsplätze sind und welchen Raum Arbeit für Selbstbestimmung und soziale Teilhabe bietet.

Transfer fördern

Für Deutschlands Wettbewerbsfähigkeit ist es zentral, Forschungsergebnisse schnell in marktfähige Produkte und Dienstleistungen zu überführen. Neue Ideen entstehen meist als einzelne Lösung, Innovationen können aber vielen von Nutzen sein.

Das Programm fördert den Transfer von der Forschung in die Praxis. Dabei ist die Verwertung

der Ergebnisse durch die Forschungsverbünde selbst ebenso zentral wie die breite Übertragung von Innovationen in die Praxis weiterer Unternehmen.

Dialoge unterstützen

Systeme und Prozesse der Wertschöpfung neu zu organisieren, verwirft etablierte Routinen. Um grundlegende Veränderungen der Wertschöpfung zu gestalten, sind deshalb alle Akteure eingeladen, frühzeitig miteinander in einen Dialog zu treten.

Dieser Dialog hilft dabei, ein gemeinsames Verständnis über Herausforderungen und Handlungsoptionen zu entwickeln. Dies schafft die Grundlage, die Forschungstraditionen zur Wertschöpfung zu integrieren und Anknüpfungspunkte für den Transfer der Ergebnisse zu erarbeiten. Die Forschungsförderung profitiert von diesem Austausch, weil das Wissen vieler Akteure bereits in die Wahl der Forschungsthemen einfließt.



Handlungsfelder

Umgesetzt wird das Programm in Handlungsfeldern. In Form von Forschungsthemen beschreiben sie den Anwendungsrahmen der Forschung zur Wertschöpfung. Die Handlungsfelder adressieren gesellschaftliche Herausforderungen oder soziotechnische Entwicklungen.

Es ist unmöglich, die thematische Breite der Forschung und Entwicklung zur Wertschöpfung über die Laufzeit des Programms abschließend zu beschreiben. Die Suche nach Handlungsfeldern ist deshalb Teil der strategischen Weiterentwicklung des Programms.

Die blauen Infokästen enthalten in alphabetischer Reihenfolge Beschreibungen der aktuellen Handlungsfelder, die die Schwerpunkte des Programms in den kommenden Jahren bilden. Die Maßnahmen in einem Handlungsfeld bauen aufeinander auf, um es aus ver-

schiedenen Perspektiven möglichst umfassend zu bearbeiten.

Mit der vorliegenden Neuauflage wird die Entwicklung des Programms seit der letzten Auflage erfasst. Diese Aktualisierung trägt der Lernfähigkeit des Programms Rechnung, indem alle Handlungsfelder entsprechend dem inhaltlichen Fortschritt angepasst und um ihren Beitrag zur Umsetzung der HTAD ergänzt wurden. Die thematische Arbeit wurde verdichtet und auf vier strategische Handlungsfelder konzentriert, die in Teilen miteinander verzahnt sind. Die Aktivitäten in den Handlungsfeldern „Kreislauffähige Wertschöpfung“, „Resiliente Wertschöpfung“ und „Datenorientierte Wertschöpfung“ wurden entlang der sechs Perspektiven ergänzt und vertieft. Das neue Handlungsfeld „KI-integrierende Wertschöpfung“ greift KI als Schlüsseltechnologie der HTAD auf. Es fördert die Integration von KI in die Prozesse der industriellen Wertschöpfung. Ein besonderer Fokus bleibt auf der Forschungsförderung im Mittelstand, der ein eigener Themenkasten gewidmet ist.





Perspektiven der Forschung zur Wertschöpfung

Damit Wertschöpfung erfolgen kann, werden verschiedene Prozesse zusammengeführt: Menschen bauen Kompetenzen auf und bringen ihre Arbeitsleistungen in die Wertschöpfung ein. Gleichzeitig teilen sie ihre Bedürfnisse mit, damit die Güter und Dienstleistungen erstellt werden, die ihnen Nutzen bringen. Unternehmen kombinieren Ressourcen und menschliche Leistungen, um die Güter und Dienstleistungen zu erstellen und zu verteilen. Sie schaffen dabei soziotechnische Systeme der Wertschöpfung. Da kein Unternehmen alle Leistungen selbst herstellen kann, werden Kooperationen und Netzwerke geschaffen, die über die Grenzen einzelner Unternehmen hinweg Wertschöpfung organisieren und realisieren.

Systeme der Wertschöpfung sind nicht einheitlich aufgebaut. Sie basieren auf unterschiedlichen Prinzipien der Kooperation und technischen Verknüpfung. Sie können als einfache Zulieferbeziehungen oder komplexe digitalisierte Systeme organisiert sein.

Um die Wertschöpfung in einem Handlungsfeld vollständig zu erfassen, müssen deshalb alle wesentlichen Aspekte der Wertschöpfung, die Perspektiven auf Wertschöpfung, betrachtet werden. Das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ trägt dieser Tatsache dadurch Rechnung, dass es in allen Handlungsfeldern einen möglichst umfassenden Ausschnitt der folgenden Perspektiven berücksichtigt.

Menschen in der Wertschöpfung

Jeder technologische Durchbruch hat nicht nur die Wirtschaft, sondern auch die Gesellschaft als Ganzes geprägt. Und mit jeder industriellen Revolution entstanden neue Formen der Arbeit. Die Umbrüche gingen häufig von wenigen Menschen und ihren Ideen aus, veränderten aber die Arbeit von Millionen von Menschen und das Zusammenleben.

Für die so entstandenen Tätigkeiten brauchten die Menschen neue Fähigkeiten und Kompetenzen. Gleichzeitig führte keine industrielle Revolution dazu, dass die früheren Formen der Arbeit vollständig verdrängt wurden. Landwirtschaft, Handwerk, industrielle und kaufmännische Facharbeit, IT-Arbeit etc. bestehen nebeneinander. Die Anteile an der Gesamtbeschäftigung haben sich allerdings ständig verschoben – und verschieben sich weiterhin.

Auch in der vierten industriellen Revolution zeigt sich dieses Bild. Im Zeitalter von Industrie 4.0 entstehen durch Digitalisierung und künstliche Intelligenz Tätigkeiten, bei denen Menschen und Maschinen zu „Kollegen“ werden, die zusammenarbeiten. Algorithmen beispielsweise erledigen die Aufgabe, Kundenwünsche aus fast endlosen Datenmengen herauszulesen.

Menschen können viele Aufgaben nicht mit derselben Geschwindigkeit und Genauigkeit erbringen, wie es den Maschinen möglich ist. Mehr als je zuvor sind deshalb Kreativität und Intuition für die Menschen reserviert. Damit geht einher, dass sich echte Kollaboration zwischen Menschen und Maschinen entwickelt. Aus der Zusammenarbeit beider Fähigkeiten – Datenanalyse und Kreativität – entstehen neue Angebote, Geschäftsmodelle und Verfahren.

Wo sich die Aufgabenteilung zwischen Mensch und Maschine verändert, wandeln sich zwangsläufig Arbeitsprozesse, Arbeitsorganisation und in der Folge die Berufe. Der Arbeitsforschung und -gestaltung stellen sich dadurch alte Fragen wieder neu – und neue Fragen kommen hinzu.

Führungskräfte in Personal- und Kompetenzentwicklung sind aufgerufen, Konzepte zu entwickeln, damit Menschen arbeits- und beschäftigungsfähig bleiben. Lernen im Prozess der Arbeit ist nicht neu,

aber als Teil mobiler Arbeit bisher nur selten erprobt und in dieser Variante kaum erforscht. Dasselbe gilt für Fragen nach dem Interesse der Beschäftigten, die Kontrolle über die Trennung von beruflichen und privaten Lebensbereichen zu behalten.



Es wäre ein Trugschluss anzunehmen, die Menschen seien in diesen Prozessen ausschließlich die Getriebenen. Im Gegenteil: Sie stoßen die Prozesse mit ihren Fähigkeiten an – als Kundinnen und Kunden, als Innovatoren, als Arbeitskräfte. Die Kompetenzen der Menschen sind zugleich Ausgangspunkt und Folge neuer Wertschöpfungssysteme.

In den Unternehmen verbinden sich Kompetenzen und Einstellungen der Individuen mit den Leitsätzen der Organisation zu Führungs- und Unternehmenskulturen. Sie umfassen auch Verhaltensnormen und Wertvorstellungen in Unternehmen. Und nicht zuletzt bereiten sie den Boden für technologische Souveränität, Prävention, Motivation und Partizipation.

Dynamik von Wertschöpfungssystemen

Produkte und Dienstleistungen entstehen aus einer ständig wachsenden Zahl von Prozessen. Wertschöpfung ist weltweit verteilt und vernetzt. Sie ist das Ergebnis eines Zusammenspiels von Unternehmen, öffentlichen Stellen, Privatpersonen und Non-Profit-Organisationen. Wertschöpfungssysteme sind die Beziehungen der handelnden Personen und Organisationen und alle Handlungen zwischen diesen Akteuren.

Geschichtlich waren Wertschöpfungssysteme nicht immer global organisiert. Sie entstanden aus einfachen lokalen Strukturen: Handwerk und Handel boten ihre Leistungen vor Ort an, sie kannten ihre Kundschaft ebenso wie ihre Zulieferer. Die Beziehungen waren übersichtlich.

Mit jedem technologischen Durchbruch und jeder gesellschaftlichen Veränderung erhöhten sich die Dynamik und Komplexität der Wertschöpfung. Es entstand ein System der Arbeitsteilung: Wertschöpfung erfolgte aus der Zusammenarbeit spezialisierter Arbeitskräfte in Industrieunternehmen. Für Einzelbetriebe und die Arbeitskräfte schränkte das die Vielfalt der Aufgaben ein.

Das gesamte System der Wertschöpfung wurde damit komplexer: Einzelne Einheiten waren immer stärker von der Leistung anderer abhängig und die Verantwortung für die Produktion war auf viele Partner verteilt. Die Fähigkeit zur Vernetzung gewann an Bedeutung.

Das Prinzip des arbeitsteiligen Wirtschaftens dominiert die Wertschöpfung bis heute: Unternehmen bringen eigene Stärken in die globalen Netzwerke ein. Zusammenarbeit schafft und erschließt neue Märkte. In diesem Prozess vergrößern sich die Zahl unternehmerischer Optionen und die Abhängigkeiten von anderen. Die Netzwerke der Wertschöpfung werden enger, weil die Bedeutung strategischer Partnerschaften steigt. Wettbewerb wird immer mehr zu einem Wettbewerb von industriellen Ökosystemen, Plattformen und Netzwerken.

Diese Entwicklung ist längst nicht zu Ende, im Gegenteil: Der Trend zur Globalisierung, der lange Zeit als Innovationstreiber galt, scheint durch viele Innovationen gebrochen. Digitalisierung, künstliche Intelligenz, soziale Innovationen etc. treten als neue Antriebskräfte der Wertschöpfung auf.

Sie bergen in Verbindung mit dem Anspruch, Wertschöpfung nachhaltig zu gestalten, disruptives Potenzial und sind der Ausgangspunkt für die Verdrängung alter Produkte, Dienstleistungen und Herstellungsprozesse. Gleichzeitig sind sie Entstehungsorte für neue Systeme der Wertschöpfung.

Die Digitalisierung befördert cloudbasierte Wertschöpfung und einen neuen Typ ökonomischer Leistungen, die unter dem Begriff „Datenökonomie“ gefasst werden. Digitale Ökosysteme entfalten eine bisher nicht gekannte Dynamik und Automation. Sie bieten Platz für neue Geschäftsmodelle und Nutzenversprechen durch hochflexible Softwarelösungen. Beziehungsgeflechte zwischen Unternehmen und zu Endnutzern lösen sich auf und werden fast ohne Zeitverlust durch neuartige Lösungen und Partnerschaften ersetzt. Geteiltes Wissen ist ein Merkmal dieser Wertschöpfung sogar dann, wenn Teile der Netzwerke im direkten Wettbewerb miteinander stehen.

Klassische Industrien stehen vor einem weiteren Wandel:

- Mieten, Tauschen und Teilen ergänzen immer stärker das traditionell dominierende Erwerben von Gütern. Die Bedeutung, Produkte zu besitzen, tritt gegenüber ihrer Nutzung zurück. Produkte werden zu Trägern von Dienstleistungen und diese zur überwiegenden Form der Wertschöpfung.
- Handel findet in Läden und im Internet statt. Das ändert beispielsweise die Rolle von Transportunternehmen. Sie führen heute häufig letzte Bearbeitungsschritte vor der Lieferung durch. Massenproduktion und Personalisierung werden hierdurch „in einem Zug“ ermöglicht, schließen sich nicht mehr aus.

Was am Ende dieser und weiterer Umwälzungen stehen wird, lässt sich nicht vorhersagen. Auf den ersten Blick scheinen einige Entwicklungen dem traditionellen Verständnis von Wettbewerb zu widersprechen. Warum sich beispielsweise neue Formen der Kooperation mit Wettbewerbern trotzdem durchsetzen und ob dies von Dauer sein wird, lässt sich von vielen Disziplinen untersuchen – und integriert betrachten.

Wissenschaft und Forschung sind Teil dieses Prozesses. Sie können davon profitieren, dass Unternehmen Wissen und Daten teilen. Allerdings besteht die Gefahr für die Forschung, dass Daten, die als ökonomische Ressource gesehen werden, nicht mehr kostenfrei zugänglich gemacht werden. Die Datenbasis verbreitert sich. Der Zugang zu den Daten für wissenschaftliche Untersuchungen wird zu organisieren sein.





Datenorientierte Wertschöpfung

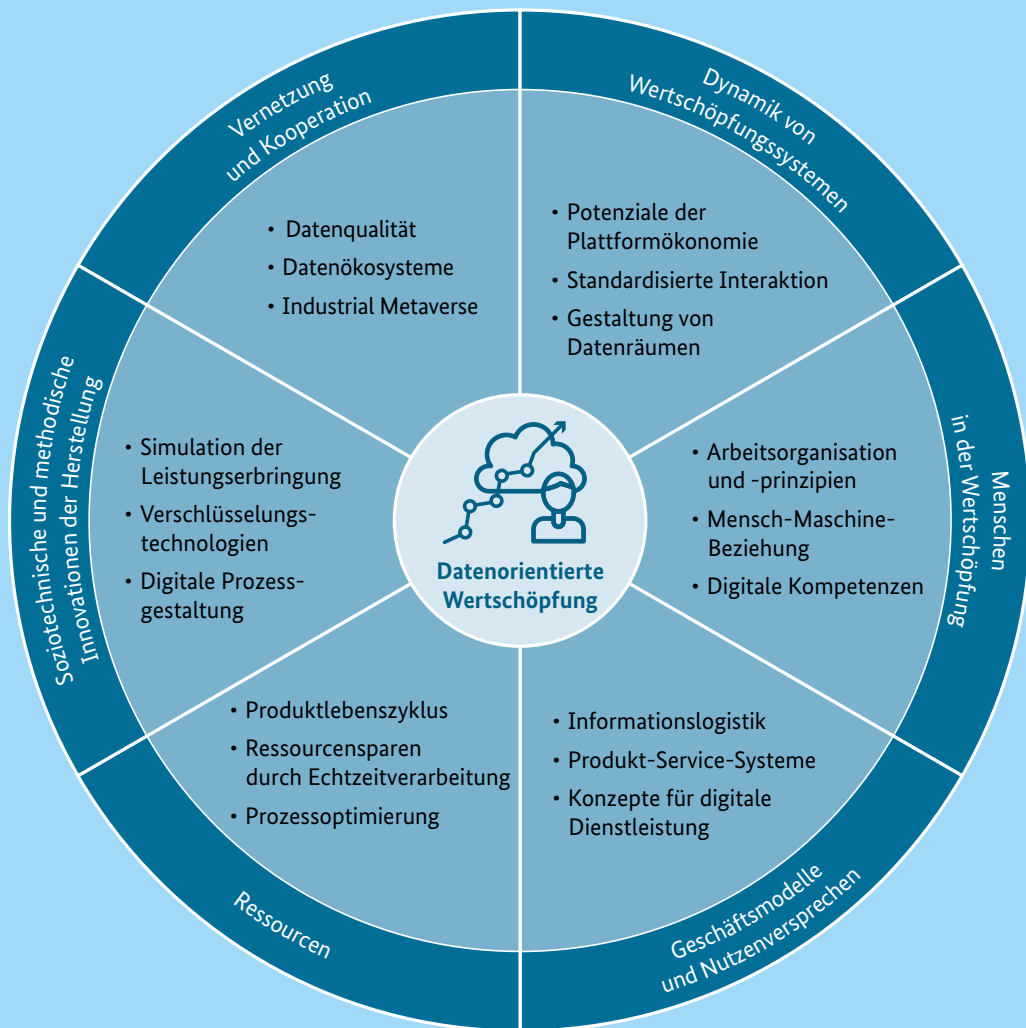
Unternehmen nutzen digitale Technologien, um Daten zu ermitteln, zusammenzuführen, zu verarbeiten und auszuwerten. Viele dieser Prozesse werden von intelligenten Algorithmen ausgeführt. Die so gewonnenen Informationen unterstützen in Entscheidungsprozessen sowie bei der Optimierung und Steuerung von Betriebsabläufen. Das Teilen von Daten in Datenökosystemen sowie deren Nutzung durch digitale Plattformen eröffnet weitere Potenziale: Prozesse und Entscheidungen können automatisiert, neue Marktleistungen ermöglicht werden. Im Gegensatz zum Konsumentenbereich entstehen dabei im B2B-Umfeld bislang eher dezentrale und spezialisierte Plattformen.

Datenräume entwickeln diesen Ansatz weiter, indem der Zugang zu den Daten allen Teilnehmenden offensteht – im Rahmen definierter Regeln. Durch Datenräume entsteht perspektivisch ein digitales Abbild der Realität, welches über die eigenen Unternehmensgrenzen hinausgeht und die Grundlage für Simulationen und Entscheidungen in allen Phasen der Leistungserbringung legt. Die Erschließung und Verknüpfung neuer Datenquellen kann zusätzlich domänenübergreifende Leistungen ermöglichen.

Das Handlungsfeld „Datenorientierte Wertschöpfung“ zielt auf Innovationen in der Wertschöpfung durch die Nutzung von Daten. Dies erfordert gemeinsame Ontologien, einheitliche Datentypen und präzise Metadaten. Digitale Zwillinge, Industrie-4.0-Technologien, künstliche Intelligenz und

andere digitale Technologien bauen darauf auf. Für die Planung neuer Geschäftsfelder muss ausgelotet werden, welcher Nutzen im digitalen, aber auch im physischen Raum aus Daten entstehen kann. Schließlich benötigen Unternehmen Lösungen für die Sicherheit ihrer Daten und Strategien für eine vertrauensvolle, virtuelle Zusammenarbeit, gerade wenn sie in unternehmensübergreifenden Plattformen oder Datenräumen agieren.

Die Zukunft wird geprägt sein von der zunehmenden Verlagerung von Wertschöpfung in den digitalen Raum sowie einer Unternehmenskultur, in der Daten als strategische Ressource erkannt werden, um geschäftlichen Erfolg und Innovation voranzutreiben. Das Ziel von Forschung und Entwicklung im Handlungsfeld „Datenorientierte Wertschöpfung“ ist es zum einen, Grundlagen für datengetriebene Anwendungen zu erforschen, zum anderen diese in Unternehmen und Einrichtungen prototypisch umzusetzen und die Lösungen im realen Einsatz zu demonstrieren. Im Sinne der HTAD sollen die Verfügbarkeit und Nutzbarkeit von Daten für Wissenschaft, Forschung, Wirtschaft, Verwaltung und Gesellschaft verbessert werden.



Geschäftsmodelle und Nutzenversprechen

Geschäftsmodelle beschreiben Angebote und geben dadurch ein Nutzenversprechen. Sie legen darüber hinaus auch die Funktionsweise und Strategien der Unternehmen fest und beinhalten Aussagen, ob und wie Gewinne erwirtschaftet werden sollen. Innovationen können in alle Aspekte der Geschäftsmodelle hineinwirken: Sie ermöglichen neue Produkte und Dienstleistungen, neue Verfahren der Herstellung und neue Strategien für die Kundenbeziehungen.

Geschäftsmodelle bauen auf Informationen zu Kundenwünschen auf. Idealerweise sind die Kundinnen und Kunden bereits in frühen Phasen der Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen einbezogen. Die Wertschöpfung dann zu organisieren und Güterströme, Leistungs- und Kundenbeziehungen etc. zu gestalten, ist schon auf betrieblicher Ebene eine komplexe Aufgabe. Diese wird umso anspruchsvoller, je mehr die Gestaltung ganze Netzwerke der Wertschöpfung umfasst.

Von der Digitalisierung gehen dabei zwei entgegengesetzte Effekte aus: Cloud-Computing, künstliche Intelligenz und Vernetzung schaffen erweiterte Gestaltungsaufgaben. Gleichzeitig liefern sie aber auch die Instrumente, um diese Aufgaben zu erfüllen.

Die Daten in der Cloud bieten fast unerschöpfliche Hinweise auf versteckte Kundenwünsche und enthalten das Wissen über potenzielle Netzwerkpartner. Die intelligenten Algorithmen erlauben es, diese Datenmengen schnell auszuwerten. Der Weg von den Daten zu den Geschäftsmodellen wird dadurch verkürzt. Gleichzeitig fällt es leichter, Wertschöpfung vollständig zu erfassen: von der Beschaffung über Herstellung, Montage, Absatz und Logistik bis hin zur Nutzung und Wiederverwertung.

Das Konzept des „Service Systems Engineering“ ist ein erster konsequenter Schritt, um etablierte Einzelverfahren wie Service Engineering und Service Prototyping zu bündeln und systematisch weiterzuentwickeln. Dies ermöglicht die gemeinsame Entwicklung von Leistungen und Produkten in Wertschöpfungsnetzwerken.

Künftige Verfahren werden daran gemessen, ob sie auf Netzwerke und Systeme der Wertschöpfung übertragbar sind. Sie stellen Instrumente bereit, um den Nutzen der Anbieter und Kundschaft zu validieren. Sie bringen zudem die Produktions- und die Dienstleistungslogik miteinander in Einklang und führen sie mit Konzepten der Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung zusammen.

Das umfasst auch die Suche danach, wie Erträge erwirtschaftet werden. Die aktuelle wirtschaftliche Entwicklung zeigt: Es entstehen neuartige Vermittlungs- und Handelsformate. Diese sind datengetrieben und durch künstliche Intelligenz gestützt. Ihre Grundlagen sind Algorithmen und virtuelle Modelle.

Ressourcen

Die Energie- und Ressourceneffizienz zu steigern und, wo immer möglich, erneuerbare Energien zu nutzen, leitet sich schon aus den Kostenüberlegungen der Unternehmen ab. Doch auch gesellschaftlich ist das Ziel formuliert, Energie und Ressourcen so nutzenstiftend und sparsam wie möglich einzusetzen. Die gesellschaftliche Zielsetzung geht weit über reine Kostenargumente hinaus.

Deutschland hat sich im Rahmen seiner Nachhaltigkeitsstrategie zur Energie- und Ressourceneffizienz verpflichtet. Das „Klimaschutzprogramm 2030“, der „Green Deal“ der Europäischen Kommission und die Agenda 2030 der Vereinten Nationen sind die wichtigsten Orientierungspunkte. Mit dem heutigen Stand der Technik lassen sich diese Ziele allerdings nicht realisieren. Technische und soziale Innovationen werden daher integrativ erforscht und gemeinsam entwickelt, um maximale Nachhaltigkeit in Form von grünen Innovationen zu entfalten.

Externe Faktoren wie der Ressourcenverbrauch und der CO₂-Fußabdruck von Produktion und Dienstleistungen treten weiter in den Vordergrund. Das gilt sowohl im Kontext staatlicher und internationaler gesetzlicher Rahmenbedingungen als auch vor dem Hintergrund gewandelter gesellschaftlicher Anforderungen an nachhaltige Geschäftsmodelle.

Zu berücksichtigen sind auf betrieblicher Ebene beispielsweise:

- die Entwicklung von Technologien,
- die Konzentration auf Ressourceneffizienz schon bei der Produktentwicklung,
- die Organisation betrieblicher Prozesse und
- die Entwicklung von Dienstleistungsangeboten, die einer Transformation zu mehr Nachhaltigkeit in der Wertschöpfung dienen.

Unterschiedliche Forschungsfelder sind zu integrieren, um Zusammenhänge zwischen Strukturen der Wertschöpfung und nachhaltigem Einsatz von Ressourcen zu erfassen und zu gestalten. Auch in diesem Zusammenhang sind es Ansätze der Digitalisierung, die die bewährten Verfahren und Konzepte der Forschung und Entwicklung ergänzen.

In der Wertschöpfung wächst mit dem Anteil virtueller Verfahren die Bedeutung der Daten. Sie sind das Pendant zu Material, Energie und Arbeit in der realen Welt. Die Digitalisierung erschließt mit den Daten eine neue Ressource. Die Besonderheit hierbei ist: Daten sind nahezu kosten- und verlustfrei reproduzierbar. Deshalb besitzen sie bisher nicht gekannte ökonomische Eigenschaften.

Sie erhalten ihren Wert, weil sie Auskunft geben. Die Betriebsdaten einer Maschine zeigen nicht nur die Zeit an, in der die Maschine gelaufen ist. Richtig analysiert geben sie Hinweise auf die Auslastung, Fehleranfälligkeit und das Zusammenspiel mit anderen Maschinen etc. Ableiten lassen sich beispielsweise auch Aussagen über das Personal, das die Maschinen bedient und wartet, über die Resilienz der Lieferketten oder die Kundenbindung. Das digitale Abbild der Maschine enthält alle Informationen zur Zusammensetzung der Materialien, zum Zustand von Bauteilen, zum Ressourcenverbrauch, zum Kontext der Nutzung etc.

Die Methoden, wie Daten gewonnen und verarbeitet werden, bestimmen die Qualität der Daten mit. Das bringt neue Chancen mit sich, beispielsweise indem sich Prozesse der Wertschöpfung besser steuern und Daten kommerzialisieren lassen. Gleichzeitig entstehen neue Herausforderungen, beispielsweise geistiges Eigentum zu schützen und Geschäftsgeheimnisse zu wahren.



KI-integrierende Wertschöpfung

Die Nutzung von KI ist heute die notwendige Basis für konkurrenzfähige Innovationen und die digitale und technologische Souveränität Deutschlands. KI erzeugt ihre Hebelwirkung in geeigneten Ökosystemen, indem sie einen beschleunigten Wissens- und Technologietransfer zwischen allen Akteuren ermöglicht.

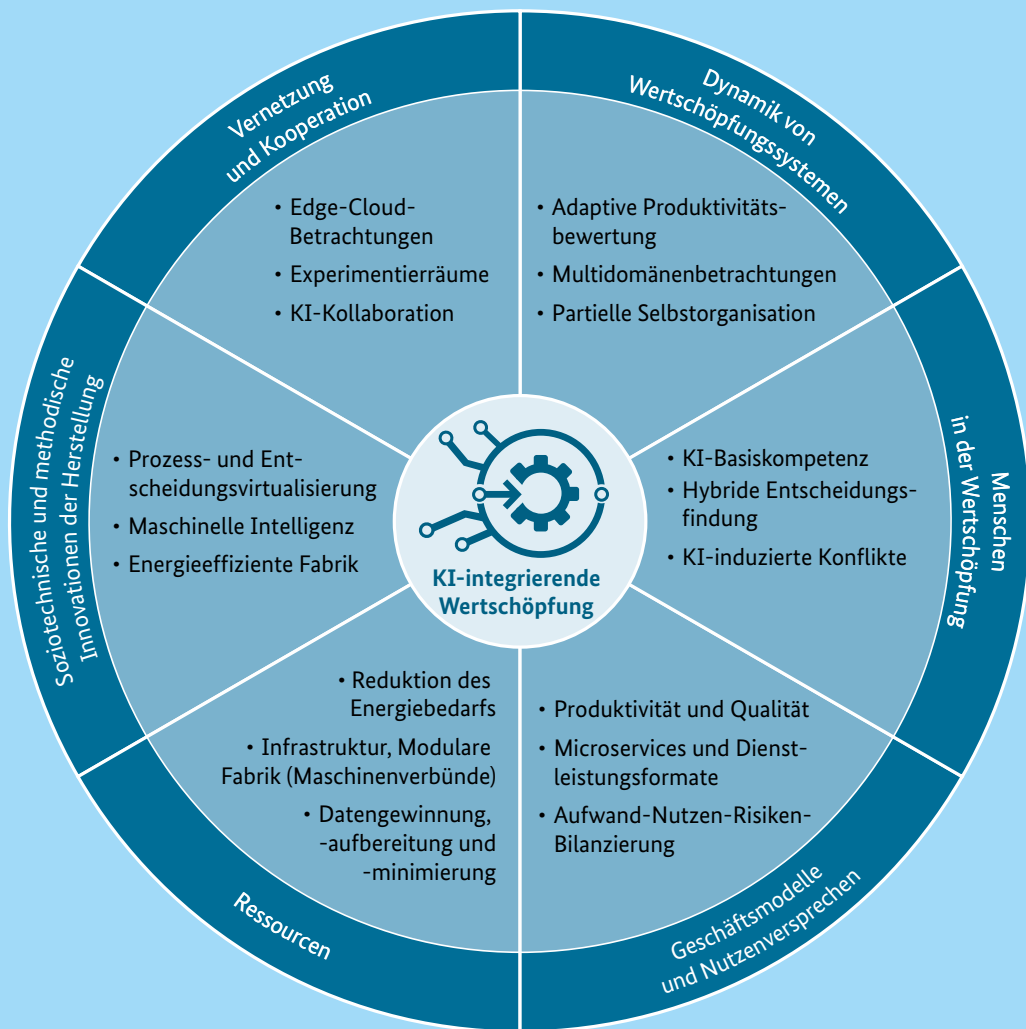
Die Voraussetzung für den Innovationserfolg ist eine zielgerichtete Forschung und Entwicklung: KI steigert die Fähigkeiten der Wahrnehmung, des Lernens sowie des Entscheidens und unterstützt kreative Tätigkeiten des Menschen in der Wertschöpfung. Eingebettet in Produkten, Maschinen und Anlagen, Prozessketten, Produktionssystemen, Engineering, Geschäftsmodellen und Dienstleistungen erschließen sich neue Potenziale zur Steigerung von Produktivität und Qualität. Vom entscheidungsunterstützenden Assistenten bis hin zu autonom und adaptiv agierenden Systemen durchdringt KI die Wertschöpfung unterschiedlich tief. Neue industrielle Systeme in den Bereichen Advanced Manufacturing und Systems Engineering entstehen beispielsweise durch das effektive Wechselspiel von Automation und Digitalem Zwilling.

Für alle Branchen gilt es, erprobte KI-Methoden in flexible, skalierbare und robuste Lösungen zur Entwicklung und Herstellung von Produkten, Produktionssystemen und Produkt-Service-Systemen der nächsten Generation zu überführen. Die bedarfsorientierte Integration erfordert nicht nur digitale Durchgängigkeit mit entsprechender

Informationsqualität der verfügbaren Daten, sondern auch die dynamische Interaktion aller Akteure entlang der Wertschöpfungskette – von Komponenten-, Maschinen- und Anlagenherstellern über produzierende Unternehmen bis hin zu Logistikdienstleistern. Für mittelständisch geprägte Strukturen ist es essenziell, einen geeigneten Zugang für den Einsatz von KI zu schaffen.

Um das Vertrauen von Menschen und Organisationen in die KI und deren autonome Entscheidungen zu erreichen, müssen die KI-Modelle zuverlässig, wirtschaftlich, nachhaltig und entlang ethischer Grundsätze agieren. Die Einführung in Unternehmen ist dabei gemeinsam mit den Mitarbeitenden zu gestalten. Neue KI-Anwendungen, von maschinenintegrierter Intelligenz bis hin zu kollaborativen Lösungen, sind auf Basis existierender Standards und Normen unter Einsatz praxisnaher Demonstratoren zu entwickeln und zu evaluieren.

Im Sinne der HTAD leistet das Handlungsfeld „KI-integrierende Wertschöpfung“ einen wesentlichen Beitrag zum Transfer der Schlüsseltechnologie KI in die industrielle Anwendung. Die Integration von KI in die Prozesse der Wertschöpfung kann Produktivität, Ressourcenschonung und Energieeffizienz steigern und die Wettbewerbsfähigkeit damit signifikant erhöhen.



Soziotechnische und methodische Innovationen der Herstellung

Neue Technologien können die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen eröffnen, erhalten und erweitern. Sie können die Position im Wettbewerb aber auch bedrohen. Forschung für Schlüsseltechnologien ist deshalb notwendig, um Wohlstand zu erhalten und auszubauen. Forschung für die Wertschöpfung der Zukunft hat deshalb immer das Ziel, Technologien weiterzuentwickeln, um Maschinen, Fertigungstechnik, Montage, Demontage, Produkte, Dienstleistungen etc. zu verbessern. Anwendungsnahe Forschung erstellt und erprobt hierzu in der Regel Prototypen.

Die Suche nach ersten Anwendungen und guten Beispielen ist in den letzten Jahren dringlicher geworden. Denn die Erwartungen derer, die die Produkte nutzen, ändern sich immer schneller. Entwicklungszyklen wurden und werden in der Folge kürzer.

Um schneller und agiler zu reagieren, arbeiten Unternehmen in der Produktion mit flexiblen und häufig modularen Systemen. Es ist zu erwarten, dass autonom lernende Systeme schon bald Automatisierungssysteme entwerfen, programmieren, konfigurieren und optimieren werden. Künstliche Intelligenz, wie beispielsweise Maschinelles Lernen, wird zunehmend in die Prozesse und Methoden der Unternehmen Einzug halten und in der Produktion zur Anwendung kommen.



Auch hierfür wurde das Fundament mit der Digitalisierung gelegt: Sie verwendet virtuelle Beschreibungen komplexer Prozesse und ermöglicht es, Abläufe zu simulieren, zu analysieren und mit geringerem Aufwand zu optimieren. Die realen Prozesse werden dann an die digital entwickelten Vorgaben angepasst. Der Unterschied in der Geschwindigkeit zwischen realen und virtuellen Verfahren ist extrem. In Millisekunden lassen sich Änderungen virtuell testen, deren reale Umsetzung dann Wochen oder Monate braucht.

Zudem wird dabei die Organisation der Mensch-Maschine-Beziehungen weitgehend im virtuellen Raum entworfen und strukturiert. Im Idealfall werden Daten aus verschiedenen Kontexten erfasst und für unterschiedliche Zwecke untersucht. Bestehende Konzepte und Methoden der Personal-, Organisations- und Kompetenzentwicklung sind häufig nicht mehr in der Lage, die Veränderungen abzubilden. Noch weniger sind sie geeignet, die Prozesse zu steuern.

Durch anwendungsnahe Forschung zu neuen Konzepten zu gelangen, ist der erste Schritt. Die Konzepte in möglichst vielen Bereichen anzuwenden, stellt eine eigenständige Aufgabe dar. Wie schnell diese Herausforderung gemeistert werden kann, hängt entscheidend von der Struktur der Wirtschaft ab. In Deutschland ist der Anteil der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) an der Gesamtheit der Unternehmen relativ hoch. Hieraus resultiert eine Vielfalt anwendungsnaher Lösungen, Konzepte, Angebote, Unternehmenskulturen etc.

Jedes KMU erschafft eine „Domäne spezifischen Wissens“, viele davon hoch spezialisiert. Nicht selten gehen in solch spezifischen Anwendungsbereichen übergreifende Aspekte verloren, weil der Fokus auf der eigenen Domäne bleibt. In diesem Umfeld diffundieren Innovationen häufig langsam. Für das Gesamtsystem folgt daraus oft: Technische Standards wie gemeinsame Protokolle zur Maschinensteuerung und soziale Innovationen wie kooperative Arbeitsmodelle lassen sich relativ schwer umsetzen.



Doch genau solche übergreifenden Ansätze werden in nahezu allen Unternehmen und Organisationen benötigt, um die Digitalisierung im gesamten Mittelstand und in den KMU zu nutzen. Die Forschung zur Gestaltung der digitalen Transformation in Deutschland leistet hier ihren Beitrag.



Kreislauffähige Wertschöpfung

Die Wertschöpfung der Zukunft nutzt alle Ressourcen optimal. Heute geht die Idee der Wiederverwertung über einzelne Rohstoffzyklen hinaus und schließt ganze Bauteile, Komponenten, Maschinen und Werkshallen ein. Bereits deren Planung steht im Zeichen der so genannten R-Strategien, wie „Reuse“ oder „Remanufacture“. Dank digitaler Technologien können Daten zu wiederverwertbaren Elementen über den gesamten Prozess der Wertschöpfung hinweg erfasst, geteilt und ausgewertet werden. So entsteht die Basis für eine kreislauffähige Prozesssteuerung.

Forschung und Entwicklung ebnen diesen Weg. Sie betrachten Technologien, Arbeitsorganisation und Geschäftsmodelle gemeinsam, so dass Innovationen entstehen, die in der Praxis funktionieren. Das Handlungsfeld adressiert auch zentrale Hemmnisse – von begrenzter Wirtschaftlichkeit und fehlender Datenverfügbarkeit über gesellschaftspolitische Hürden bis zu noch nicht definierten Standards und Normen.

Wenn aus einer linearen eine zirkuläre Wertschöpfung entsteht, erfasst dies alle wirtschaftlichen Bereiche. Die Technologien für Produktion, Montage, Demontage und Recycling sind zu überdenken. Dasselbe gilt für daran anknüpfende Dienstleistungen. Auf Basis ökonomischer und ökologischer Analysen entstehen Wieder- bzw. Weiterverwendungskonzepte. Dazu sind alle Teilprozesse so zu gestalten, dass sie ineinandergreifen und im Idealfall branchenübergreifend nutzbar sind.

Für die ganzheitliche Abbildung von Wertschöpfungsketten bedarf es internationaler Zusammenarbeit in Forschung und Entwicklung. Das Ziel bi- und multilateraler Kooperationen ist es, Unternehmen im Rahmen von marktorientierten Projekten zur Umsetzung kreislauffähiger Wertschöpfung zu befähigen.

Auf der Basis von Industrie-4.0-Technologien ist ein durchgängiger Datenfluss im gesamten Wertschöpfungssystem zu etablieren. Dies ist Grundlage für Lösungen wie rekonfigurierbare Produktionssysteme. Die Herausforderung, Stoff-, Material- und Produktströme kreislaufoptimiert zu steuern und dabei wirtschaftlich tragfähige Geschäftsmodelle aufzubauen, bedarf vielfältiger Innovationen. Somit liefert das Handlungsfeld „Kreislauffähige Wertschöpfung“ wichtige Impulse zur Umsetzung der HTAD, indem neue datengetriebene Ansätze im Bereich „Design for Circularity“ erprobt, branchenspezifische Lösungen für die Kreislaufwirtschaft entwickelt und nicht zuletzt erfolgreiche Modelle in andere Wertschöpfungssysteme transferiert werden.

„Kreislauffähige Wertschöpfung“ ist ein Baustein für eine nachhaltige Wirtschaftsweise. Sie schafft Flexibilität für eine dynamische Steuerung von Material-, Komponenten- und Produktströmen. Verbunden mit den Möglichkeiten der Digitalisierung bietet die Kreislauffähigkeit Potenziale für innovative Lösungen und einen effektiven Klima- und Ressourcenschutz. Gleichzeitig stärkt sie internationale Wettbewerbsfähigkeit und technologische Souveränität.



Vernetzung und Kooperation

Der Begriff „Industrie 4.0“ beschreibt, dass sich produzierende Unternehmen, Beschäftigte und Kundschaft mithilfe von intelligenten Komponenten, Maschinen und Produkten in Echtzeit digital verbinden. Deutschland hat das Feld der Lösungen für Industrie 4.0 in den letzten Jahren dominiert und geprägt, sowohl auf Anbieter- als auch auf Anwenderseite. Mittlerweile betrifft das Feld alle Branchen, nicht nur die Industrie. Handwerk, Landwirtschaft, Handel

und Dienstleistungen – sie alle beanspruchen für sich, diesen Status erreicht zu haben, und sehen sich auf dem Weg zu dessen Weiterentwicklung. Allerdings ist das Tempo ungleich, mit dem Dienstleistung, Handel, Produktion, Handwerk und Landwirtschaft den Weg in eine digitalisierte Wertschöpfung gehen. Diese Diskrepanz kann die Wertschöpfung insgesamt schwächen.



Wieder ist die digitale Vernetzung Ursache für die Herausforderungen und zugleich notwendig, um diese zu lösen. Sie findet auf vier Ebenen statt:

- bei Menschen im beruflichen und privaten Alltag,
- bei Maschinen und intelligenten Komponenten,
- bei vernetzten Produkten sowie
- bei Unternehmen und Organisationen.

Dieses Zusammenspiel wird auf allen Ebenen neu definiert. Die mittelständisch geprägten deutschen Unternehmen streben an, dass Digitalisierung rasch und flächendeckend gelingt und vernetzte Wertschöpfung zusammenhängend gestaltet wird, auch im Kontext von künstlicher Intelligenz und (teil)autonomer Systeme. Die Partner im Netzwerk sind selten auf dem gleichen Stand der Digitalisierung. Häufig schätzen sie die Bedeutung der digitalen Vernetzung unterschiedlich ein.

Einigkeit besteht allerdings in einem Punkt: Digitalisierung braucht schnelle und sichere Infrastrukturen, die offen gegenüber Technologien sind, um den Austausch von Daten und deren Verfügbarkeit zu gewährleisten. Sie bilden gleichzeitig die Voraussetzung dafür, Datensouveränität und pluralistisches Handeln im Markt in Deutschland und Europa zu garantieren. Zukünftige Formen der Zusammenarbeit knüpfen an diese Strukturen an.

In einem solchen Netzwerk entstehen komplexe und symbiotische Formen der Kooperation und Kollaboration. Unterschiedliche Technologien, Methoden und Kulturen treffen hier zusammen. Vertrauen, Loyalität und Fürsorge beziehen sich nicht mehr auf ein Unternehmen, sondern reichen darüber hinaus. Diese Schlüsselkonzepte der Organisations- und Führungslehre liegen immer mehr im Netzwerk.

Vernetzte und interaktive Prozesse der Wertschöpfung sind für alle Beteiligten so übersichtlich wie möglich zu gestalten. Eine hohe Dynamik für Innovationen entsteht an den Schnittstellen. In der Regel lassen sich hier Prototypen für erfolgreiche Vernetzung ableiten, auch hinsichtlich der spezifischen Anforderungen bei kleinen und mittleren Unternehmen und Mittelstand.

Für den Datenfluss gilt dasselbe: Viele Prozesse der Innovation verlangen nach geregelter und möglichst uneingeschränktem Zugang zu Daten. Das gilt sowohl für das Erkenntnisinteresse der Wissenschaft als auch für die Interessen der Unternehmen. Kenntnisse zu teilen ist nicht länger nur eine Gefahr, es wird immer häufiger zu einer Notwendigkeit, wo die Partner Wissen aus verschiedenen Domänen in Innovationen und Marktleistungen zusammenbringen.

Für die Forschung heißt das: Gesucht werden Methoden, um transdisziplinäre Zusammenarbeit zu gestalten. Dies betrifft Mensch-Mensch-Systeme ebenso wie Maschinen-Maschinen-Systeme und Mensch-Maschinen-Systeme. Die Methoden beziehen sich auf betriebliche Organisation und überbetriebliche Vernetzung und schließen auch Formen sozialer Innovationen mit ein.



Resiliente Wertschöpfung

Wertschöpfung ist ein komplexer Vorgang. Sie stützt sich auf definierte Abläufe und Prozesse, technische Ausrüstung, menschliche Kompetenzen, sowie Unternehmenskooperationen und Lieferketten, jeweils optimiert unter dem Aspekt der Wettbewerbsfähigkeit. Diese Komplexität und Abhängigkeit von unterschiedlichsten Faktoren macht Wertschöpfung anfällig für unerwartete äußere Störereignisse wie Pandemien, Kriege oder die Folgen instabiler weltwirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Wertschöpfung ist resilient, wenn Unternehmen in solchen Krisen handlungsfähig bleiben und sich rasch von deren Folgen erholen können – wie weitreichend und überraschend diese auch sein mögen.

Forschung im Handlungsfeld „Resiliente Wertschöpfung“ untersucht, welche Voraussetzungen und Maßnahmen dafür notwendig sind. Die Lösungsansätze werden dabei in und von Unternehmen implementiert und validiert, um schließlich in andere Unternehmen transferiert zu werden. Ausgehend von einem Risikomanagement – sowohl für das einzelne Unternehmen als auch für das Wertschöpfungsnetzwerk – werden beispielsweise in Produktentwicklung und Produktion Alternativen gesucht, wie dasselbe Produkt bzw. dieselbe Leistung mit alternativen Rohstoffen, anderem Personaleinsatz, anderer Arbeitsorganisation, anderen Partnern etc. und dennoch rentabel hergestellt bzw. erbracht werden kann. Untersucht werden auch die vorhandenen Kompetenzen im Personalbestand. Fehlen Kompetenzen, um abrupte Veränderungen abzufedern, sind diese zu entwickeln und in neuen Konzepten der

Personalentwicklung zu erproben. Maschinen und Anlagen bedürfen integrierter Lösungen, mit denen sich ihre Leistung und Nutzung flexibel anpassen lassen. Die Digitalisierung ermöglicht die Auflösung von Verflechtungen und Abhängigkeiten und eröffnet damit das Potenzial für mehr Resilienz. Der Erhalt von Resilienz ist ein fortlaufender Prozess, durch den Unternehmen – auch abseits existenzbedrohender Krisen – flexibler, wandlungsfähiger und damit wettbewerbsfähiger werden können.

Je widerstandsfähiger Unternehmen, Wertschöpfungssysteme und -netzwerke gegen externe Störereignisse sind, desto robuster ist die gesamte Volkswirtschaft. Arbeitsplätze können erhalten, Versorgungssicherheit kann gewährleistet werden. Die Forschung zum Handlungsfeld „Resiliente Wertschöpfung“ trägt damit wesentlich zum Ziel der HTAD bei, Deutschland resilienter, souveräner und sicherer zu machen. Der Fokus auf die konkrete Umsetzung in Unternehmen fördert den unerlässlichen Wissens- und Technologietransfer zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen.





Umsetzung der Forschung zur Wertschöpfung

Das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ fördert Forschungsvorhaben in einem breiten Themenspektrum. Im Vergleich zu früheren Förderperioden sind drei Aspekte zu bedenken:

- Die Partnerstrukturen der Projekte werden komplexer. Gefördert werden neben Unternehmen und Forschungseinrichtungen auch Akteure der Zivilgesellschaft, da ihr Beitrag zur Wertschöpfung sich in der Vergangenheit deutlich erhöht hat. Um dieser Tatsache gerecht zu werden, nutzt das Programm verschiedene Förderinstrumente und bietet so variable Möglichkeiten zur Partizipation an der Forschung.
- Die Wertschöpfung geht über nationale Grenzen hinaus. Förderprojekte passen sich diesem Umstand an. Auch in nationalen Projekten kooperieren die Verbände mehr als früher mit internationalen Partnern.
- Das Programm ist Teil der Förderpolitik der Bundesregierung und der Förderung anderer Akteure. Es ist mit einer großen Zahl von Initiativen, Strategien und Programmen vernetzt.

Instrumente

Die Instrumente, die im Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ eingesetzt werden, umfassen den gesamten Prozess von der Suche nach thematischen Schwerpunkten über die prototypische Entwicklung von Lösungen bis hin zum Transfer dieser Ergebnisse an möglichst viele Akteure im Wertschöpfungsprozess.

Die meisten Innovationen entstehen schrittweise aus technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen. Die Mehrzahl der Instrumente wurde entwickelt, um die Förderbedarfe in den verschiedenen Phasen der Innovation – von den ersten Innovationskeimen bis zum Transfer – optimal zu unterstützen. Ergänzt werden diese Instrumente durch ein Projekt zur Vorausschau.

Neben der Wirkung einzelner Instrumente ist es wichtig, die Kombination zu finden, die für ein Handlungsfeld und das Programm insgesamt die besten Ergebnisse verspricht.

Vorausschau stärken

Kein Akteur in der Wertschöpfung kann die Themen heute schon benennen, die in den kommenden Jahren für die Forschung zur Wertschöpfung der Zukunft prioritär sein werden. Das gilt für Unternehmen wie für Sozialpartner, für Forschungseinrichtungen und Transferplattformen genauso wie für öffentliche Stellen und das Programm selbst.

Deshalb ist es wichtig, systematisch nach Handlungsfeldern und -bedarfen zu suchen. Hierzu dient ein wissenschaftliches Projekt, das mit dem Programmstart begonnen hat. Es erprobt Methoden zur systematischen Vorausschau, mit denen frühe Signale für Veränderungen in der Wertschöpfung identifiziert werden sollen. Diese können Hinweise auf neue Handlungsbedarfe geben. Davon ausgehend initiiert das Projekt die wissenschaftliche und gesellschaftliche Diskussion zu Zukunftsfragen der Wertschöpfung.

Die Arbeit des Projekts ist nicht auf das Programm beschränkt. Vielmehr stehen die Erkenntnisse aus dem Projekt öffentlich zur Verfügung. Aus den Methoden

und Inhalten erhalten insbesondere wissenschaftliche Einrichtungen und forschende Unternehmen Hinweise für ihre eigenen Strategien und Entscheidungen. Diese sollen ihnen helfen, schneller zu reagieren und Auswirkungen besser zu verstehen. Für das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ bietet das Projekt einen Anknüpfungspunkt, um Handlungsfelder frühzeitig zu erkennen.

Innovationskeime entdecken

Frühe Phasen der Innovation fördert das BMFTR, um Potenziale neuer Technologien und Konzepte für die Wertschöpfung zu bewerten. Ziel ist es, Grundlagen für industrielle Anwendungen zu erschließen und frühzeitig zu prüfen, in welchen betrieblichen Umgebungen sie durchführbar sind. In kurzen Projektlaufzeiten wird festgestellt, ob eine Idee in weiterführende Ansätze der Produktions-, Dienstleistungs- und Arbeitsforschung münden kann. Wissenschaftliche Projekte zu Querschnittsfragen flankieren diesen Ansatz.

In den Vorhaben arbeiten vorwiegend Verbünde aus der Wissenschaft. Projektideen werden nach Veröffentlichung einer Förderrichtlinie themenoffen eingereicht. Die Projekte eignen sich zudem zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

Prototypisch entwickeln

Prototypische Beispiele zu entwickeln, gehört zu den Hauptaufgaben der Forschung im Programm „Zukunft der Wertschöpfung“. Die Projektförderung des BMFTR unterstützt hierzu vorwettbewerbliche Projekte. Die thematischen Schwerpunkte dieser Förderung werden in gesonderten Richtlinien veröffentlicht. Üblicherweise wird ein zweistufiges Verfahren genutzt, bei dem zunächst Ideenskizzen eingereicht werden. Aus den eingereichten Skizzen werden diejenigen Projekte ausgewählt, die zur Antragstellung aufgefordert werden. Ergebnisse der Projekte dienen als Referenzmodelle und sind die guten Fallbeispiele, die sich für den Transfer eignen.



Innovationen im Mittelstand fördern

Die deutsche Wirtschaftskraft baut in großem Maße auf der Innovationsstärke des Mittelstands auf. Dessen Unternehmen integrieren neue Technologien und Modelle in ihre Wertschöpfungsprozesse und tragen so zu deren Verbreitung bei. Deshalb sind ihre Produkt-, Dienstleistungs- und Prozessinnovationen so wichtig für die deutsche Wirtschaft. Darüber hinaus bieten sie Beschäftigung über alle Qualifikationsniveaus und beteiligen sich an der Ausbildung von Fachkräften.

Mittlerweile schätzen auch andere Länder das Potenzial ihres Mittelstands hoch ein. Ihre mittelständischen Unternehmen entwickeln sich zu Weltmarktführern in Schlüsselindustrien weiter. Dadurch steigt der Wettbewerbsdruck für die deutschen Unternehmen. Wo sie in Forschung und Entwicklung investieren, legen die mittelständischen Unternehmen die Grundlage für den zukünftigen Erfolg der deutschen Wirtschaft.

Der Mittelstand umfasst Unternehmen unterschiedlichster Branchen, Größen, Eigentumsverhältnisse und Innovationsintensität. Entsprechend vielfältig sind die Bedarfe und Interessen. Hat sich eine Innovation in einem Unternehmen bewährt, ist weitere Entwicklungsarbeit für den Transfer in andere Unternehmen nötig. Innovationen für die betriebliche Wertschöpfung umfassen unterschiedliche Bereiche: Verbesserungen auf Produktebene, neue Geschäftsmodelle, sparsamer Einsatz von Material und Rohstoffen, eine effiziente Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung. All dies ist notwendig, um im Wettbewerb weiterhin erfolgreich zu sein.

Nicht weniger wichtig ist die Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen. Über digitale Vernetzung wie Industrie-4.0-Technologien werden Daten und Wissen ausgetauscht. In diesen Wertschöpfungsnetzwerken liegt großes Potenzial für Innovationen, zum Beispiel für die Entwicklung von Kreisläufen oder für die Resilienz von Wertschöpfung. Der Austausch mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen kann weitere Impulse für Innovationen in Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerken setzen.

Unternehmen kennen die eigenen Abläufe, den Markt, ihre Wettbewerber und damit auch das Potenzial möglicher Innovationsaktivitäten am besten. Das Programm setzt bei den besonderen Interessen des Mittelstands an. Um die Bedingungen kleiner und mittlerer Unternehmen zu berücksichtigen, fördert das Programm Forschung und Entwicklung im Mittelstand zusätzlich in einer eigenen Förderrichtlinie „KMU-innovativ: Zukunft der Wertschöpfung“. Diese ermöglicht eine Einreichung von Projektideen mit kurzer Laufzeit zu regelmäßigen Stichtagen. Die Förderung ist themenoffen für alle Bereiche und Formen der betrieblichen Wertschöpfung im Mittelstand angelegt. Ziel ist es, die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen zu stärken. Dabei werden die Unternehmen selbst zum Impulsgeber für die Forschungsthemen. Sie entscheiden anhand der betrieblichen Notwendigkeiten, zu welchen Fragestellungen und mit welchen Partnern sie forschen und entwickeln. Dadurch wird ein unmittelbarer Nutzen für die Unternehmen sichergestellt.

Projekte zu dieser Phase der Innovation besitzen in der Regel eine Laufzeit von drei Jahren. In den Projekten sind Zwischenevaluationen durchzuführen, um die Strukturen und Zwischenergebnisse der Projekte zu überprüfen. Die Projektpläne und die Zusammensetzung des Verbundes werden daraufhin gegebenenfalls angepasst.

Innovationen verbreiten

Häufig reichen Prototypen als Grundlage für den Transfer nicht aus, weil die große Zahl und die Vielfalt der Marktakteure erschweren, dass neue Ideen diffundieren. In Deutschland stellen KMU über 70 Prozent der Arbeitsplätze. Jedes KMU besitzt Alleinstellungsmerkmale und „Domänenwissen“ über seine spezifischen Märkte.

Daher wird ein Förderangebot spezifisch auf KMU zugeschnitten. Die Fördermaßnahme „KMU-innovativ: Zukunft der Wertschöpfung“ stellt kurze Fristen bis zur Förderentscheidung in Aussicht. Projekte mit kurzer Laufzeit werden zu Stichtagen eingereicht. Unterstützt werden Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für alle Bereiche und Formen der betrieblichen Wertschöpfung.

„Orte der Innovation“ etablieren

Die besten Köpfe aus Wissenschaft und Wirtschaft erreichen die besten Ergebnisse häufig dann, wenn sie gemeinsam arbeiten. Ansätze wie offene Innovation und Ko-Kreation führen – auch über kurzfristige Projekte – neue Ideen und Partnerschaften in einer bestehenden Entwicklungsumgebung zusammen.

Für das Treffen dieser Köpfe braucht es Orte der Zusammenarbeit. Diese bieten Akteuren aus Forschung und Innovation Zugang zu wissenschaftlichen Methoden und Technologien, gepaart mit Angeboten zur Information und Vernetzung. Die „Orte der Innovation“ sind offen für Wissenschaft und Wirtschaft. Sie bilden die Brücke von der industriellen Grundlagenforschung zur Anwendung. Dort werden beispielsweise experimentelle Demonstratoren entwickelt, neueste Technologien und Methoden praktisch erprobt und Fachkräfte an neuen Technologien geschult.

Die „Orte der Innovation“ können unterschiedliche Formate aufgreifen: Innovationslabore, Reallabore und Lernfabriken sind Beispiele dafür. Als eigenständige, verstetigbare Form der Diffusion können „Orte der Innovation“ einen nachhaltigen Beitrag zum Transfer von Forschungsergebnissen in die Anwendung leisten. Nach der Förderung tragen sich die Standorte durch ein eigenes Geschäftsmodell selbst.



Transfer in die Praxis

Die enge Zusammenarbeit von Forschung und Wirtschaft ist ein zentraler Erfolgsfaktor für Innovationen in Deutschland. Sie liefert praxisnahe Lösungen, die sich in Unternehmen bewähren und branchenübergreifend skalierbare Modelle schaffen. Dieser Ansatz knüpft nahtlos an die HTAD an, die den Transfer von Forschungsergebnissen in die Anwendung als Schlüssel zur Stärkung der Wirtschaft und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands erklärt.

Transfer bedeutet, dass Akteure voneinander lernen und ihr Wissen sowie ihre Fertigkeiten gezielt in der eigenen Praxis anwenden. Er umfasst zwei wesentliche Dimensionen: Erstens die direkte Umsetzung und Verwertung der Ergebnisse durch die Partner in Forschungsverbänden; zweitens die breite Übertragung von Technologien, Wissen und innovativen Modellen in die Praxis weiterer Unternehmen. Das gilt branchenintern ebenso wie branchenübergreifend.

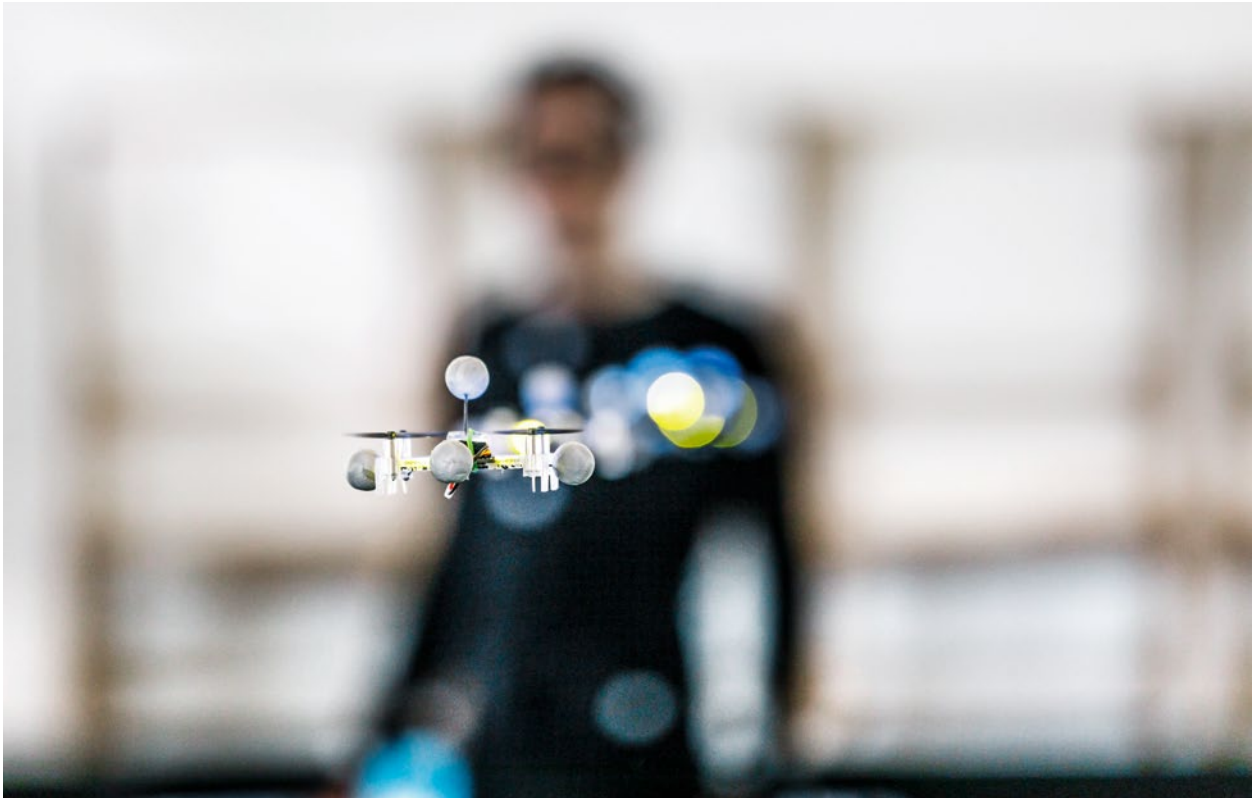
Die Projektbeteiligten aus Wissenschaft und Wirtschaft organisieren den Transfer in der Regel selbst.

Die Rolle des BMFTR besteht darin, optimale Rahmenbedingungen zu schaffen, die Demonstrationen im realen Einsatz ermöglichen und einen systematischen, wirksamen Transfer beschleunigen.

Das BMFTR hat den Transfer von Forschungsergebnissen fest im Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ verankert. Folgende Gestaltungsgrundsätze prägen die Ausschreibung und Auswahl von Projekten:

- Das BMFTR fördert vorrangig anwendungsorientierte, bedarfsgeleitete Forschung mit hohem Eigenengagement der Unternehmen. Dieses zeigt sich in Form von finanzieller und inhaltlicher Beteiligung, die den direkten Weg in die wirtschaftliche Verwertung ebnet.
- Gefördert werden vor allem Forschungsverbände mit Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft. Ein besonderes Augenmerk liegt auf einer passgenauen Verbundstruktur, die auf unmittelbare Verwertung ausgelegt ist.





- Der breitere Transfer über den Verbund hinaus wird durch Umsetzungspartner wie z. B. Verbände, Kammern, Sozialpartner, Netzwerke oder Beratungsunternehmen unterstützt, die als Multiplikatoren die Ergebnisse in die Wirtschaft tragen.
- Transfer beginnt in der Forschung. Das BMFTR ermutigt daher Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, über ihre Arbeit zu sprechen und dabei auch den Diskurs mit der Wirtschaft und Gesellschaft zu suchen. Daneben bleibt der Transfer in die wissenschaftliche Arbeit bestehen: Die Integration in die akademische Lehre und Dissertationen sind zwei prominente Beispiele. Das BMFTR etabliert Begleitmaßnahmen zur Forschungsförderung, die Wissen langfristig verfügbar machen, die Vernetzung aller Innovationsakteure fördern und die Wirkung des Transfers evaluieren, um die rechtssichere Anwendung zu unterstützen.

Digitale Kommunikationskanäle eröffnen neue Wege des Wissenstransfers. Ein YouTube-Kanal vermittelt Forschungsergebnisse an eine breit interessierte Öffentlichkeit. Zudem wird eine Handbuchreihe zur Theorie und Praxis der Zukunft der Wertschöpfung erarbeitet, die schrittweise veröffentlicht wird und Bände zu den Perspektiven sowie zu Handlungsfeldern des Programms umfasst.

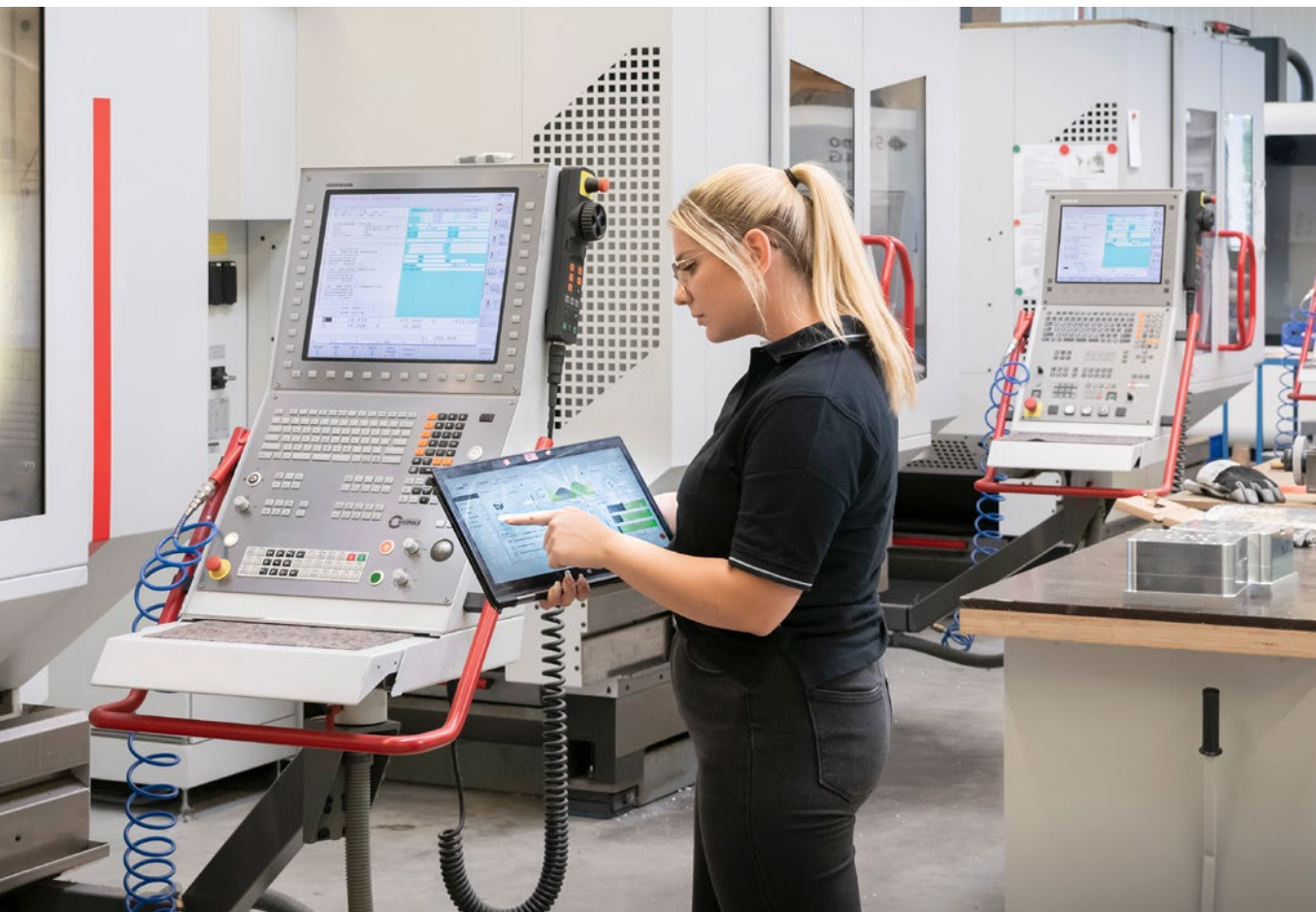
Transfer bewegt sich oft in einem Spannungsfeld zwischen Tiefe und Breite, zwischen gezielter Verwertung und flächendeckender Verbreitung. Daher sensibilisiert und unterstützt das BMFTR Projekte frühzeitig dabei, klare Transferziele zu definieren und passende Instrumente auszuwählen – abhängig von den avisierten Forschungsergebnissen, Zielgruppen und dem Prozessverlauf.

Industrie 4.0

Damit Deutschland auch in Zukunft ein führender Entwicklungs- und Produktionsstandort bleibt, müssen digitale und technologische Souveränität, wirtschaftliche Stärke und gesellschaftliche Verantwortung zusammengedacht werden. Seit seiner Initiierung hat das Konzept der Industrie 4.0 nichts von seiner Dringlichkeit verloren. Die digitale Transformation birgt große Potenziale für die industrielle Wertschöpfung. Im Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ werden zukunftsweisende Beiträge zur strategischen Weiterentwicklung der Industrie 4.0 erarbeitet. Im Zentrum der Forschung steht die Vernetzung von Produktion- und Organisationssystemen, autonomen Systemen, cyber-physischen Systemen, Datennutzung und individualisierter Produktion. Ziel ist es, die industrielle Wertschöpfung in Deutschland innovativer, resilienter und nachhaltiger zu gestalten.

Dazu ermöglicht Industrie 4.0 eine hochgradige Transparenz über Material-, Energie- und Informationsflüsse. Diese Transparenz bildet die Grundlage für die nächste Generation neuartiger Produkte und Produktionssysteme, die in Echtzeit auf Störungen reagieren, Prozesse und Ressourcen optimieren und eine Variantenvielfalt beherrschen können. Forschung zu Digitalen Zwillingen, KI-gestützten Planungs- und Steuerungsverfahren und zu resilienten Produktions- und Organisationssystemen ist essenziell, um die Leistungsfähigkeit industrieller Ausrüster und Anwender in Deutschland im Kontext ihrer weltweiten Wertschöpfungssysteme zu steigern.

Gleichzeitig verschiebt sich Wertschöpfung zunehmend von Produkten hin zu datenbasierten Dienstleistungen. Produkt-Service-Systeme, Plattform-ökonomie und datengetriebene Geschäftsmodelle





verändern die Rollen von Unternehmen innerhalb industrieller Ökosysteme. Industrie 4.0 adressiert auch diese Entwicklung, indem Lösungen zu interoperablen Datenräumen und sicheren Dateninfrastrukturen erarbeitet werden. Zusammen mit der Forschung zur Mensch-Technik-Interaktion, Personalqualifizierung sowie zu modernen Arbeitssystemen und -umgebungen eröffnet Industrie 4.0 neue Chancen.

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und Produktionstechnologien wirken als Schnittstelle zu allen Schlüsseltechnologien der HTAD und haben somit Relevanz für alle Branchen des Entwicklungs- und Produktionsstandortes Deutschland mit seinen vielfältigen Arbeitsplätzen. Die Integration aller Technologien ist die Voraussetzung, um Abhängigkeiten auf internationalen Märkten zu reduzieren und Arbeitsplätze sowie die Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Industrie 4.0 setzt daher auf offene Standards, interoperable Systeme und eine starke Forschungslandschaft, die eng mit der Industrie kooperiert.

Im Rahmen der Plattform Industrie 4.0, die Akteure aus Industrie, Verbänden, Wissenschaft und Politik vereint, wird Industrie 4.0 kontinuierlich weitergedacht. Geleitet wird sie gemeinsam von Unternehmen,

Vertreterinnen und Vertretern der Wissenschaft sowie vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWE). Drei Handlungsstränge prägen die Aktivitäten: fachliche Vordenkerschaft, nationale wie internationale Kooperationen sowie die Unterstützung des Mittelstands und der kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) bei der Anwendung von Lösungen und Forschungsergebnissen in der unternehmerischen Praxis.

Im Forschungsbeirat Industrie 4.0 kommen Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft und forschenden Unternehmen ehrenamtlich zusammen. Dieser ist ein unabhängiges, strategisches und interdisziplinär besetztes Netzwerk, das als Impulsgeber und Sensor für neue wissenschaftliche und technologische Entwicklungen der Industrie 4.0 fungiert. Um Industrie 4.0 fachlich weiterzuentwickeln und vorwettbewerblich umzusetzen, nutzt der Forschungsbeirat den direkten Austausch mit den verschiedenen Gremien der Plattform Industrie 4.0. Strategiepapiere und Roadmaps zu Engineering, Geschäftsmodellen, Nachhaltigkeit und Zukunft der Arbeit bilden die Grundlagen der Aktivitäten.

Internationale Zusammenarbeit

Netzwerke der Wertschöpfung enden nicht an nationalen Grenzen. In einer zunehmend multipolaren Innovationslandschaft bedarf es starker, grenzüberschreitender Netzwerke, um sowohl Exzellenz in den Schlüsseltechnologien als auch strategische Handlungsfähigkeit zu sichern. Dementsprechend betrachtet die Forschung zur Wertschöpfung viele Fragestellungen im internationalen Kontext und arbeitet dazu in internationalen Teams oder Verbänden.

Die deutschen Forschungs- und Industrieakteure kooperieren mit den besten Einrichtungen weltweit. Dies erfolgt in Projekten der wissenschaftlich-technologischen Zusammenarbeit (WTZ), in denen die Forschungspartner durch das jeweilige Partnerland gefördert werden. Für bilaterale Kooperationen in der Forschung schaffen die Abkommen Deutschlands zur WTZ den Rahmen. Die wissenschaftlich-technologische Zusammenarbeit ist das wichtigste Instrument für die Kooperation mit Staaten außerhalb der Europäischen Union.

Ergänzt wird dies durch die EUREKA Initiative, die sowohl inner- als auch außereuropäische Zusammenarbeit ermöglicht. EUREKA unterstützt grenz-

überschreitende, marktnahe und industriebetriebene Kooperationen von Unternehmen und wissenschaftlichen Einrichtungen.

Innerhalb der Europäischen Union setzt das Rahmenprogramm für Forschung und Innovation „Horizont Europa“ mit einer Laufzeit von 2021 bis 2027 sowie das Nachfolgeprogramm ab 2028 den Rahmen für wegweisende europäische Innovationskooperationen. Es schafft die Grundlage für eine nachhaltige und technologische Transformation in Europa durch kollaborative Forschung von Wissenschaft und Industrie. Mit ihrer Beteiligung an „Horizont Europa“ prägen deutsche Unternehmen und Forschungseinrichtungen den europäischen Forschungsraum mit.

Der Zugang zum Rahmenprogramm wird durch die nationalen Kontaktstellen in den Mitgliedsländern erleichtert. Die Kontaktstellen beraten und unterstützen die deutschen Akteure in den unterschiedlichen Forschungs- und Entwicklungsbereichen und schaffen so die Grundlage für die Verzahnung der deutschen und europäischen Innovationspolitik.



Vernetzung

Das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ besitzt viele Anknüpfungspunkte zu weiteren Fachprogrammen des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR), anderer Ministerien sowie zu weiteren Initiativen der Bundesregierung. Die folgenden Beispiele zeigen, wie die ausgewählten Initiativen mit einzelnen Aspekten des Programms vernetzt sind.

Initiativen der Bundesregierung

Das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ ist Bestandteil der Forschungs- und Innovationspolitik der Bundesregierung. Es fügt sich ein in die Hightech Agenda Deutschland (HTAD), deren Ziel es ist, die Innovationskraft Deutschlands zu stärken und die technologische Souveränität Europas zu sichern. Mit Innovationen für das Wertschöpfungssystem leistet es einen Beitrag, um die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen, die internationale Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu sichern, die Resilienz von Wertschöpfungssystemen zu stärken und die Wirtschaftskraft auszubauen.

Das Programm fördert den Aufbau nachhaltiger Wertschöpfung in Bezug auf Rohstoffe, Maschinen, Kompetenzen, Strukturen etc. Mit seinen Handlungsfeldern „Datenorientierte Wertschöpfung“, „KI-integrierende Wertschöpfung“, „Kreislauffähige Wertschöpfung“ und „Resiliente Wertschöpfung“ trägt es zu allen Initiativen bei, die sich für einen verantwortungsvollen Umgang mit natürlichen und menschlichen Ressourcen einsetzen. Viele dieser Initiativen bauen auf der Agenda 2030 auf. Darin haben die Vereinten Nationen 17 globale Ziele formuliert, die ökonomische, ökologische und soziale Nachhaltigkeit anstreben. Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie beschreibt Ansatzpunkte für Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft, um diese Ziele in konkrete Maßnahmen zu überführen. Das Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ trägt insbesondere zu den Zielen „Innovationen unterstützen“, „Nachhaltig wirtschaften als Chance für alle“ und „Nachhaltig produzieren und konsumieren“ bei.

Das Ziel der Bundesregierung, die Digitalisierung in Deutschland voranzutreiben, betrifft in großem Maße auch die Wertschöpfung. Wo immer es darum geht, Prozesse, Produkte und Dienstleistungen zu optimieren, leistet die Digitalisierung einen Beitrag.



Das Programm unterstützt den Einsatz digitaler Technologien und die Nutzung von Daten in allen Aspekten der Wertschöpfung. Beiträge entstehen dadurch zu allen darauf ausgelegten Initiativen und Strategien.

Schlüsseltechnologie künstliche Intelligenz

Die HTAD setzt ambitionierte Ziele für die verstärkte Entwicklung und Anwendung künstlicher Intelligenz in Deutschland. Im Fokus stehen innovative Grundlagen für KI-Methoden und Modelle des maschinellen Lernens, Grundlagen für die Entwicklung sicherer und vertrauenswürdiger Software, domänenspezifische KI-Modelle, die Weiterentwicklung der KI-Servicezentren und KI-Kompetenzzentren sowie die Entwicklung von wettbewerbsfähigen KI-Systemen „Made in Germany“. Es gilt, exzellente KI-Forschung in Schlüsselbranchen wie der Produktion oder der Biotechnologie und in zentralen Anwendungsfeldern zu integrieren. Sichere, menschenzentrierte und nachhaltige KI-Modelle können in allen Sektoren eingesetzt werden und bieten enormes Wertschöpfungspotenzial. Viele Aspekte des Programms „Zukunft der Wertschöpfung“ sind mit zentralen Forschungsfeldern und Themen im Umfeld der KI vernetzt, wie KI-Fabriken, Software-Engineering, domänenspezifische KI-Modelle und KI-Modelle der nächsten Generation, semantisch strukturierte interoperable Systeme oder Mehrzweckrobotik. Werden modernste Automatisierungstechnologien und Industrie 4.0 mit KI-Modellen in Datenökosystemen verknüpft, entstehen Möglichkeiten, Fabriken und ganze Unternehmensnetzwerke auszubauen und damit eine KI-basierte Wertschöpfung in Deutschland zu erhöhen.

Soziale Innovationen und Wirkungsmessung

Soziale Innovationen sind neue Praktiken oder Organisationsmodelle, die gesellschaftliche Herausforderungen nachhaltig lösen. Soziale Innovationen gelten als wichtige Partner technologischer Lösungen und tragen auf vielfältige Art zur Wertschöpfung bei. Eine verlässliche, vergleichbare und kontinuierliche Datenerhebung zu Verbreitung, Wirkung und Entwicklung Sozialer Innovationen in Deutschland wird derzeit geschaffen. Mit der Plattform für Soziale Innovatio-

nen werden Akteure im Themenfeld Soziale Innovationen spezifisch informiert, vernetzt und befähigt. Verschiedene Wissenschaftsbereiche widmen sich der Indikatorik von Sozialen Innovationen. Die Wirkung von Sozialen Innovationen soll in Fördermaßnahmen in den Vordergrund gerückt werden.

Foresight im BMFTR

Mit seinen Foresight-Prozessen nimmt das BMFTR mögliche Entwicklungen in den kommenden zehn Jahren in den Blick. Ziel ist es, schon heute Orientierungswissen für die Welt von morgen zu schaffen. Die Frage, wie Wertschöpfung in Zukunft aussehen könnte, ist dabei zentral. So wurden in Zusammenarbeit mit einzelnen Fachreferaten vertiefte Foresight-Studien zu Themen wie etwa „Die Zukunft des Vertrauens in digitalen Welten“, „Entgrenzung zwischen Biologie und Technologie“ oder „Purpose Economy“ erarbeitet. Aktuell stehen bei Foresight im BMFTR vor allem auch neue Entwicklungen mit Blick auf die Schlüsseltechnologien der HTAD im Fokus.

„Materialinnovationen für die Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft (Mat2Twin)“ – Fachprogramm zur Förderung der Materialforschung

Neue Werkstoffe helfen, die Material- und Energieeffizienz zu steigern, die Lebensqualität zu verbessern und die Wettbewerbsfähigkeit sowie die Ressourcensouveränität Deutschlands zu erhöhen. Die Materialforschung profitiert auf vielfältige Weise von Digitalisierung, Automatisierung und Industrie 4.0. Diese ermöglichen eine effiziente Prozesssteuerung sowie eine beschleunigte Materialentwicklung. Daher werden die gemeinsamen Aktivitäten des Programms „Zukunft der Wertschöpfung“ und des Fachprogramms zur Materialforschung weitergeführt und vertieft, beispielsweise in den Bereichen Biologisierung der Technik und kreislauffähige Wertschöpfung, und auf die Innovationsplattform MaterialDigital und andere Datenökosysteme ausgedehnt.

Robotikforschung

Deutschland steht in den kommenden Jahren vor großen gesellschaftlichen Herausforderungen, wie etwa dem demografischen Wandel. Die Robotik ist dabei eine Schlüsseltechnologie, die beispielsweise durch den mit KI verknüpften, intelligenten Einsatz weiter an Bedeutung gewinnen wird. Sie besitzt großes Potenzial für Disruptionen in branchenübergreifenden Anwendungsspektren. Das BMFTR bündelt die Forschungsaktivitäten im Bereich Robotik und richtet sie strategisch für die nächsten Jahre aus. Die Vernetzung von Spitzenforschung und die Fachkräfteentwicklung werden gezielt gefördert, um aus der Forschung Lösungen für die intelligente Robotik zu liefern.

Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit“ (FONA)

Damit leistet FONA einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der UN-Nachhaltigkeitsziele und setzt schon heute Impulse für die Post-2030-Agenda. Gleichzeitig bezieht sich FONA auf zentrale Ziele der HTAD.

Die FONA-Strategie bündelt verschiedene Förderinstrumente, die an unterschiedlichen Stellen des Forschungs- und Innovationsökosystems ansetzen. Sie reicht von der Generierung neuen Wissens über erdsystemische Zusammenhänge und Transformationsprozesse bis hin zur Entwicklung und Erprobung

innovativer Lösungen für komplexe ökonomische, ökologische und soziale Herausforderungen. So wirkt FONA als zentraler Treiber für Fortschritte, z. B. in den Bereichen biobasiertes, kreislauforientiertes Wirtschaften mithilfe von industriellen und agrarischen Biotechnologien sowie klimaneutrale Energieerzeugung und Mobilität.

Medizintechnik und Gesundheitstechnologien

Die Forschungsförderung in diesem Bereich adressiert zentrale Zukunftsthemen der Medizintechnik – etwa Technologien für den Operationssaal, digitale Assistenzsysteme und adaptive Orthesen und Prothesen. Durch den Einsatz von künstlicher Intelligenz, Robotik, Virtual Reality und nutzerzentriertem Design entstehen innovative Produkte und Anwendungen im Bereich biomedizinischer Technik. Patienten profitieren von verbesserter Versorgung, Rehabilitation und Pflege. Für diese Innovationen bedarf es geeigneter Fertigungsverfahren und Produktionsausrüstungen, deren Entwicklung im Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ erfolgt. Beide Forschungsbereiche eint das Bestreben, strategische Partnerschaften zwischen Wirtschaft und Wissenschaft aufzubauen. So wird der Transfer von Forschung in marktfähige Technologien gestärkt und neue Wertschöpfung entlang der gesamten Innovationskette im Gesundheitssektor ermöglicht.





Initiative „Neue Qualität der Arbeit“

Die Initiative „Neue Qualität der Arbeit“ (INQA) des Bundesministeriums für Arbeit und Soziales (BMAS) begleitet Unternehmen und Organisationen auf dem Weg zu einer positiven Unternehmenskultur, bei der der Mensch im Mittelpunkt steht. Mit Praxiswissen, Beratung, Selbstchecks, Vernetzungsangeboten und Projektförderungen hilft sie Betrieben und Beschäftigten dabei, sich zukunftsfest aufzustellen und Fachkräfte zu sichern. Die Schnittstelle zum Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ liegt im Transfer. Ergebnisse der Arbeitsforschung sind in der Regel noch nicht in der Breite angekommen. INQA greift sie auf, damit der Transfer in die betriebliche Praxis und in die Gesellschaft gelingt, und steht dazu in Kontakt mit wichtigen Multiplikatoren. Einen wichtigen Baustein zum Transfer in die betriebliche Praxis stellen die INQA-Experimentierräume dar.

Im Dezember 2025 sind die letzten fünf INQA-Experimentierräume zum Themenschwerpunkt „Mit mehr Vielfalt zu einer erfolgreichen Fachkräftesiche-

rung in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU)“ an den Start gegangen. Ziel ist es, in betrieblichen Experimentierräumen Ansätze für eine vielfältige und inklusive Unternehmenskultur zu erproben, insbesondere mit Blick auf ältere Beschäftigte und die Integration ausländischer Fachkräfte.

Eine wichtige Verbindung stellen darüber hinaus die Zukunftszentren des BMAS dar. Die Zukunftszentren entwickeln und erproben insbesondere mit KMU innovative Qualifizierungskonzepte, um die Selbstlern- und Gestaltungskompetenz von KMU, ihren Beschäftigten und (Solo-)Selbstständigen in den Veränderungsprozessen zu fördern und ihre Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit im digitalen, demografischen und ökologischen Wandel zu stärken. Übergeordnetes Ziel ist es, schwerpunktmäßig KMU bei der ko-kreativen Einführung digitaler Technologien und KI-basierter Systeme zu unterstützen und diese gemeinsam mit den Beschäftigten menschengerecht zu gestalten.

Lernendes Programm und Evaluation

Umfeld und Rahmenbedingungen für die Wertschöpfung sind am Standort Deutschland einem permanenten Wandel unterworfen. Das Programm berücksichtigt diese Dynamik durch eine offene, lernfähige und wandlungsfähige Programmsteuerung mit einem flexibel einsetzbaren Instrumentarium. Maßnahmen zur Vorausschau ermöglichen, Veränderungen zu analysieren, um Handlungsfelder und Förderungsschwerpunkte während der Laufzeit anzupassen. Entsprechend wurden in der vorliegenden Neuauflage die Handlungsfelder in den blauen Kästen sowie die wichtigsten Beiträge des Programms zur Umsetzung der HTAD aktualisiert.

Das Programm berücksichtigt die Evaluationsergebnisse der Vorgängermaßnahmen und orientiert sich am aktuellen Stand der Forschung. Bis zum Ende seiner Laufzeit wird es nach den vorgegebenen Richtlinien evaluiert. Im Rahmen einer Wirkungsanalyse werden die Programmziele sowie deren Zielerreichungsgrad bewertet und Handlungsempfehlungen für zukünftige Fördermaßnahmen formuliert. Die Evaluation soll effiziente Prozessstrukturen aufzeigen und gegebenenfalls Optimierungsbedarf für die Zukunft offenlegen. Die Ergebnisse gehen in die strategische und thematische Weiterentwicklung der Forschungsförderung zur Wertschöpfung ein.



Aktuelle Informationen zum Forschungsprogramm „Zukunft der Wertschöpfung –
Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ finden Sie unter:
zukunft-der-wertschoepfung.de



Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR)
Referat Wertschöpfung und Arbeit
53175 Bonn

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

Stand

Überarbeitete Neuauflage, April 2026

Text

BMFTR/Projektträger Karlsruhe

Gestaltung

familie redlich AG – Agentur für Marken und Kommunikation,
KOMPAKTMEDIEN – Agentur für Kommunikation GmbH
(Version 2021)
neues handeln AG (aktualisierte Versionen 2024 und 2026)

Druck

BMFTR

Bildnachweise

Titel: Festo SE & Co. KG und Adobe Stock/安琦王
S. 2, 11, 19, 29, 31: Fraunhofer IML/Michael Neuhaus
S. 5: Markus Breig (KIT/CroM) für BMFTR/Otto GmbH & Co. KG
S. 6/7, 32: Markus Breig (KIT/CroM) für BMFTR/cirp GmbH
S. 8: Markus Breig (KIT/CroM) für BMFTR/TRUMPF GmbH + Co. KG
S. 9, 18: Markus Breig (KIT/CroM) für BMFTR/TU Braunschweig/NFF
S. 12/13: Adobe Stock/Nay
S. 16/17: AdobeStock/Viktor
S. 20/21, 30, 33, 39: Adobe Stock/Gorodenkoff
S. 22: Markus Breig (KIT/CroM) für BMFTR/Open Hybrid LabFactory e. V.
S. 24/25: Adobe Stock/Eman Suardi (generiert mit KI)
S. 26: WITTENSTEIN SE
S. 28: Markus Breig (KIT/CroM) für BMFTR/KIT-ifab
S. 34: Adobe Stock/DC Studio
S. 35: Cynthia Ruf (KIT/CroM) für BMFTR/wagner GmbH
S. 37: Adobe Stock/Itsanan
S. 38: Markus Breig (KIT/CroM) für BMFTR/TU Braunschweig/IWF

