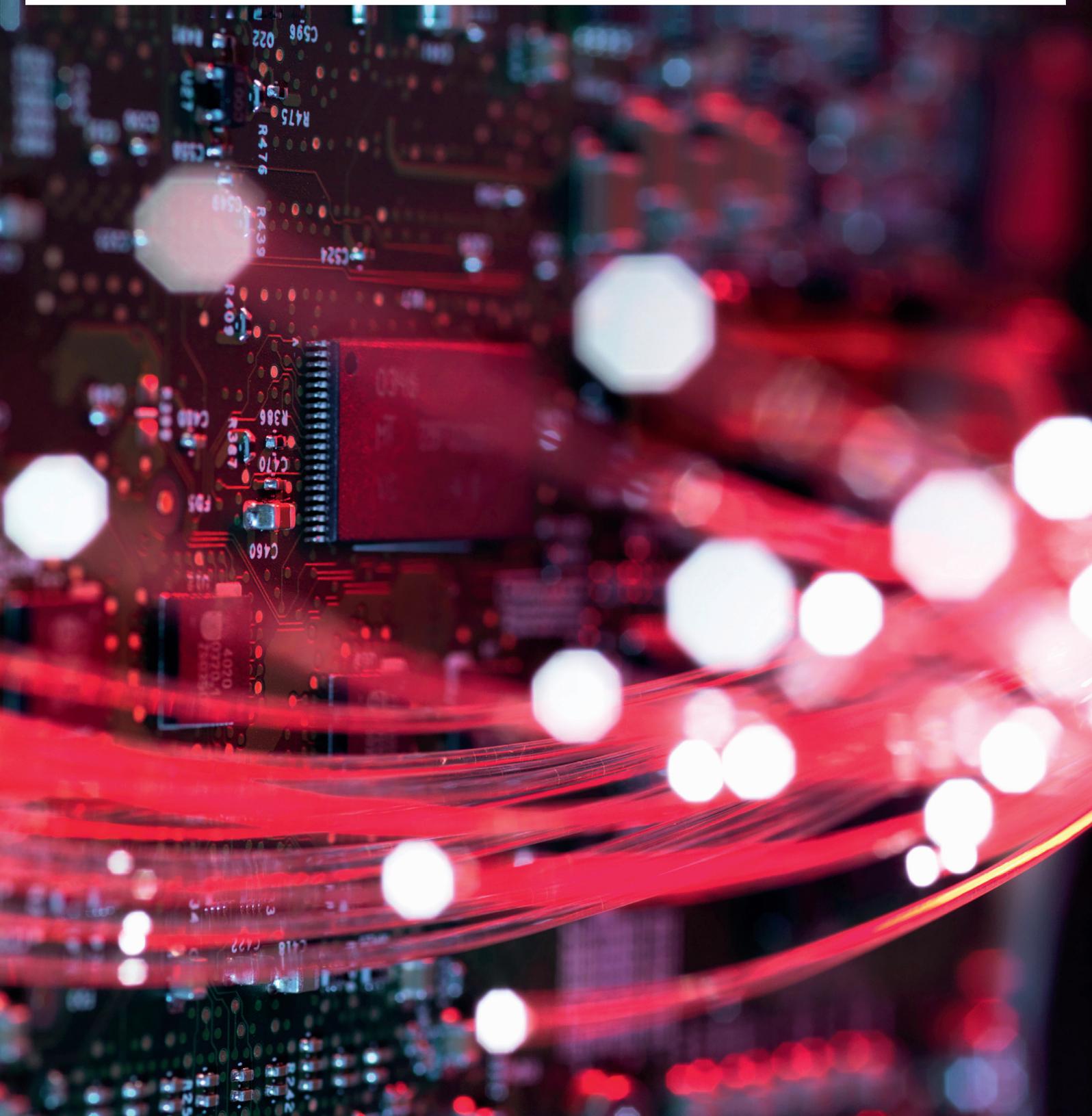




Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Digitale Zukunft: Lernen. Forschen. Wissen.

Die Digitalstrategie des BMBF



Inhalt

Vorwort	2
Unsere Grundüberzeugungen	4
Besser und nachhaltig leben, wirtschaften und arbeiten	9
Digitale Bildung und Ausbildung und ihre Institutionen stärken	18
Aus Daten Wissen und Innovationen schaffen	25
Technologische Souveränität und wissenschaftliche Vorreiterrolle für Deutschland sichern	31
Vertrauen schaffen und Sicherheit geben	36
Impressum	41

Vorwort



Die Digitalisierung so gestalten, dass sie den Menschen dient – das ist Ziel unserer Digitalisierungsstrategie.

Wie können wir uns die Bildung der Zukunft vorstellen? Ich denke an Lehrer, die Kinder in der ersten Schulstunde in den Wald mitnehmen, um Käfer zu sammeln; die ihnen in der zweiten Stunde das Insektensterben erläutern, unterstützt durch Bilder und Grafiken am Smartboard; und die in der dritten Stunde mit Lernprogrammen überprüfen, was jedes einzelne Kind verstanden hat und wo noch einmal nachgehakt werden muss.

Wie können wir uns die Medizin der Zukunft vorstellen? Ich denke an die Ärztin, die sich Zeit für ihre Patienten nimmt; die Untersuchungsergebnisse in den Computer eingibt, der sie mit anderen Fällen vergleicht und daraus Rückschlüsse zieht; die Künstliche Intelligenz nutzt, um die individuell auf den einzelnen Patienten zugeschnittene Therapie zu finden; und die sie mit dem Patienten bespricht und abstimmt.

Wie können wir uns die Mobilität der Zukunft vorstellen? Ich denke an die ältere Dame, die per Smartphone das autonom fahrende Auto vor ihr Haus auf dem Land bestellt; die damit zum Bahnhof fährt; die dann den Zug in die Großstadt nimmt, um schließlich mit dem Flugtaxi direkt vor die Haustür ihres Enkels zu fliegen.

In meiner Zukunftsvision verbessern digitale Technologien und Möglichkeiten unser Leben.

Zugleich stehen wir vor großen Herausforderungen: Wie garantieren wir unseren Lebensstandard in Zeiten wachsenden globalen Wettbewerbs? Wie schaffen wir neue Arbeitsplätze, wenn alte verloren gehen? Wie schützen wir unsere eigenen Daten und unsere Privatsphäre? Antworten auf diese Fragen geben wir mit unserer Digitalstrategie.

Mit unserer Digitalstrategie zeigen wir, wie wir die Chancen entwickeln und uns offensiv den Herausforderungen stellen: Wir nutzen unsere Strategie für Künstliche Intelligenz, um die Datensicherheit und den Schutz der Privatsphäre zu stärken. Wir fördern Forschung und Entwicklung von KI-Anwendungen zum Schutz der Verbraucherinnen und Verbraucher. Wir haben die nationale Dekade gegen Krebs ausgerufen, weil wir große Potenziale moderner Technologien bei der Krebsprävention erkannt haben. Mit dem DigitalPakt wollen wir nachwachsende Generationen zu einem eigenverantwortlichen Umgang mit digitalen Neuerungen befähigen. Der MINT-Aktionsplan legt die Grundlage, damit Deutschland in Wissenschaft, Forschung und Innovation weiterhin zur Spitze gehört.

Unsere Digitalstrategie verstehen wir als dynamischen Prozess im Sinne des offenen Dialogs, um gemeinsam den Herausforderungen des digitalen Wandels zu begegnen. Die Menschen stehen im Mittelpunkt. Ich bin überzeugt, mit Hilfe von Bildung und Forschung bereiten wir sie auf veränderte Lebens- und Arbeitsbedingungen vor, stärken die Innovationskraft unserer Wirtschaft und sichern damit unseren Wohlstand.

Anja Karliczek
Mitglied des Deutschen Bundestages
Bundesministerin für Bildung und Forschung



Unsere Grundüberzeugungen

Die Digitalisierung verändert unser Leben: wie wir lernen, uns informieren und kommunizieren, wie wir arbeiten, Wissen schaffen und einsetzen. Auf diesen Veränderungen gründen gleichzeitig vielfältige Hoffnungen und Erwartungen wie auch Sorgen und Befürchtungen.

Die Digitalisierung eröffnet große Chancen. Sie kann die medizinische Versorgung verbessern. Sie erleichtert die selbstbestimmte Lebensführung im Alter und die Mobilität. Sie ermöglicht neue Geschäftsmodelle, Wertschöpfung und Beschäftigung. Unternehmen werden gegründet, neue, vielfach anspruchsvolle Arbeitsplätze entstehen. Die Digitalisierung kann zur Versöhnung von Ökologie und Ökonomie beitragen, beispielsweise zu einer effizienten, ökologisch tragfähigen Landwirtschaft. Sie ermöglicht neue Formen des individuellen wie des gemeinschaftlichen Lernens, der politischen Beteiligung und gesellschaftlicher Innovationen.

Zugleich birgt die Digitalisierung – wie jeder tiefgreifende Veränderungsprozess – neue Risiken. Dazu gehören die zum Teil fehlende Kontrolle über persönliche Daten und deren Weiterverwendung, die Sorge, technisch und persönlich mit der Informationsflut nicht mehr mithalten zu können oder den Arbeitsplatz zu verlieren. Auch die Notwendigkeit, kritische Infrastrukturen wie Krankenhäuser oder Stromnetze zu schützen

oder die Herausforderung, ökonomisch und wissenschaftlich im Zeitalter der Digitalisierung weiterhin zur Weltspitze zu gehören, gewinnen an Bedeutung.

Staat, Wirtschaft, Wissenschaft und Gesellschaft müssen gute Antworten auf diese und andere wichtige Fragen geben: Wie können wir eine digitale Kluft in der Gesellschaft verhindern? Wie erschließen wir neue Formen der Wertschöpfung? Wie wecken wir die Potenziale innovativer Gründer? Werden sich die Lebensbedingungen in unseren Städten und in ländlichen Räumen gleichwertig entwickeln? Wie verändern neue Kommunikationswege und -formen den gesellschaftlichen Zusammenhalt? Wie stärken wir den öffentlichen Diskurs gegen Echokammern, in denen die Selbstbestätigung mehr zählt als das bessere Argument? Wie können wir mit der hohen Geschwindigkeit der Veränderungen, die unseren Alltag prägen, Schritt halten?

Chancen lassen sich nur nutzen, wenn wir die damit verbundenen Herausforderungen meistern. Dafür müssen wir die ganze Bandbreite neuer Möglichkeiten kreativ einsetzen und den digitalen Wandel aktiv gestalten. Grundlage dafür sind gute Bildung und Ausbildung für mehr digitale Kompetenzen, digital ausgestattete und vernetzte Hochschulen und Forschungseinrichtungen auf Weltniveau, exzellente Forschung und eine offene Innovations- und Wagniskultur.



Mit der Digitalstrategie verfolgt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) einen ganzheitlichen Ansatz. Hierbei leiten uns folgende Grundüberzeugungen:

- Die Digitalisierung dient dem Menschen. Seine Selbstbestimmung, seine Freiheit, seine Sicherheit, seine persönliche Entfaltung und seine Teilhabe stehen im Zentrum unseres Handelns.
- Die Digitalisierung dient der Gesellschaft. Ihr Zusammenhalt wird gestärkt, wenn Wohlstand und Lebensqualität dank digitaler Entwicklungen nachhaltig steigen und Wertschöpfung und Arbeitsplätze auch im digitalen Zeitalter in Deutschland erhalten bleiben; wenn sich alle in den politischen und gesellschaftlichen Dialog einbringen können und die gleichen Chancen auf gute Bildung für die digitale Welt haben, unabhängig von ihrer Herkunft.
- Die Digitalisierung dient der Erhaltung unserer Lebensgrundlagen. Denn nur wenn das Potenzial der Digitalisierung, unsere Gesellschaft grundlegend zu verändern, zielgerichtet für einen Wandel zur Nachhaltigkeit genutzt wird, bleiben die Bedingungen für Freiheit, Teilhabe, Wohlstand und Lebensqualität auch für nachfolgende Generationen erhalten.
- Die Digitalisierung eröffnet neue Potenziale für die Arbeitswelt. Diese reichen von der Entlastung von körperlich anstrengenden oder Routinetätigkeiten, die mehr Raum für Kreativität und soziale Interaktion schafft, über neue Wege des Kompetenzerwerbs und der Karriereplanung bis hin zu neuen Möglichkeiten der Verwirklichung eigener Ideen, etwa in Form einer Unternehmensgründung. Wir wollen diese Potenziale heben.
- Der Erfolg der Digitalisierung hängt von Vertrauen ab. Vertrauen wächst, wenn konkret erfahrbar wird, dass die Digitalisierung auf unserem Wertefundament fußt und dem Menschen und der Gesellschaft dient. Nur wer darauf vertrauen kann, ist offen für das Neue und Unbekannte. Wir brauchen diese Offenheit, um in Deutschland und in Europa den digitalen Wandel zu gestalten und zu prägen.
- Grundlage für eine Gestaltung der Digitalisierung ist technologische Souveränität. Dafür müssen Kompe-



tenzen in zentralen Schlüsseltechnologien ausgebaut werden. Sicherheit, Zuverlässigkeit, Nutzerfreundlichkeit und Nachhaltigkeit müssen schon bei der Technologieentwicklung konsequent berücksichtigt werden.

- Nur gemeinsam machen wir die Digitalisierung zum Erfolg. Deshalb setzen wir auf Partnerschaften und Dialog mit und zwischen der Wissenschaft, der Wirtschaft und der Gesellschaft in Deutschland, Europa und darüber hinaus. Denn die Digitalisierung macht nicht an nationalen Grenzen halt. Wir verschränken unsere Aktivitäten mit europäischen und internationalen Initiativen.

Aus diesen Überzeugungen heraus haben wir für unsere Arbeit in den kommenden Jahren fünf Zielbereiche entwickelt. Mit einer Reihe von aufeinander abgestimmten Initiativen werden wir diese Zielbereiche konkretisieren. Dazu gehören neue Leitinitiativen, mit denen wir die Digitalisierung und den digitalen Wandel in zentralen gesellschaftlichen Bereichen mitgestalten werden: In der Medizin, der Wissenschaft, der Wirtschaft, für mehr Nachhaltigkeit, gute Bildung und mehr Sicherheit.

1. Besser und nachhaltig leben, arbeiten und wirtschaften: Digitalisierung wird dann zum Gewinn, wenn sie unser Leben erleichtert; wenn sie unsere Lebensqualität und unsere Arbeitswelt verbessert. Wir schaffen die Voraussetzungen für digitale Anwendungen in den Bereichen Gesundheit, Mobilität, zivile Sicherheit und Arbeit und für die „Wirtschaft



4.0“. Wir tragen zu einer gleichermaßen ökonomisch wie ökologisch tragfähigen Entwicklung bei, schaffen Teilhabemöglichkeiten im ländlichen wie im städtischen Raum und befördern sichere und auf die konkreten Bedürfnisse der Nutzerinnen und Nutzer ausgerichtete „smarte“ Anwendungen und Dienstleistungen („smart homes“, „smart cities“).

Mit der Leitinitiative Digitale FortschrittsHubs wollen wir die digitale Vernetzung von Forschung und Versorgung zum Wohle von Patientinnen und Patienten in die Fläche bringen.

Durch die Verknüpfung von Umwelt- und Klimadaten wollen wir die Erforschung und Modellierung von Lokalen Klima- und Umweltmodellen für Zukunftsstädte und Regionen ermöglichen.

Mit dem Programm Zukunft der Arbeit fördern wir die Entwicklung konkreter Lösungen, um Wertschöpfung und Arbeitsplätze in Deutschland zu erhalten. Dafür bauen wir deutschlandweit Kompetenzzentren auf.

2. Digitale Bildung und Ausbildung und ihre Institutionen stärken: Wir verbessern die digitale Bildung und Ausbildung in allen Bildungseinrichtungen. Wir stärken ihre Institutionen und tragen dazu bei, dass Schülerinnen und Schüler, Lehrkräfte und Ausbilder, Auszubildende und Studierende, Berufstätige und Nichtberufstätige aller Generationen digital kompetent werden. Ziel ist die digital und medial

kompetente, verantwortungsbewusste, selbstständig handelnde Persönlichkeit.

Die Dachinitiative Berufsbildung 4.0 bündelt die vielfältigen Aktivitäten des BMBF zur Ausrichtung der dualen Ausbildung auf eine digitalisierte und vernetzte Wirtschaft.

Mit dem DigitalPakt Schule stellt der Bund Finanzhilfen in Höhe von 5 Mrd. Euro für Investitionen in digitale Lern-Infrastrukturen zur Verfügung. Länder und Kommunen sind insbesondere für die entsprechende Lehreraus- und -fortbildung und die Umsetzung von pädagogisch-didaktischen Konzepten verantwortlich.

3. Aus Daten Wissen und Innovationen schaffen: Auf der Basis von 2017 wird sich laut einer Studie des amerikanischen Festplattenherstellers Seagate und des IT-Marktbeobachtungshauses IDC das weltweite Datenvolumen bis 2025 nach vorsichtiger Schätzung verzehnfachen. Diese Daten sind ein entscheidender Rohstoff für Wissenschaft und Wirtschaft. Um diesen Schatz heben zu können, müssen Infrastrukturen fortlaufend modernisiert werden, neue Software und Betriebssysteme verfügbar und einmal gewonnene Daten geordnet aufbereitet, aufbewahrt und gesichert zugänglich gemacht werden. Insbesondere im Datenbereich sind Kooperationen von Wissenschaft und Wirtschaft ein kritischer Erfolgsfaktor für das Entstehen von Innovationen.

Die Nationale Forschungsdaten-Infrastruktur (NFDI) ermöglicht die Erschließung und Systematisierung zahlreicher Datenbestände durch den Aufbau eines föderierten und vernetzten Wissensspeichers.

Wir stärken die Spitzenposition Deutschlands im Hoch- und im Höchstleistungsrechnen.

Wir entwickeln Datenräume, die neue Wertschöpfung, digitale Souveränität und Sicherheit der IT-Systeme gleichermaßen ermöglichen.

4. Technologische Souveränität und wissenschaftliche Vorreiterrolle für Deutschland sichern: Unsere Forschung zu Digitalisierung, Schlüsseltechnologien und Sicherheit gehört heute vielfach zur Weltspitze. Wir müssen diese Position sichern und ausbauen. Nur wenn wir in der Grundlagenforschung den notwendigen langfristigen Vorlauf sichern und zugleich für den effektiven Transfer nutzbarer Erkenntnisse in Wirtschaft und Gesellschaft Sorge tragen, werden wir in einer vernetzten und sich immer rascher verändernden Welt bestehen können. Dazu leisten wir einen wesentlichen Beitrag:

Mit einem europäischen Betriebssystem für das Internet der Dinge wollen wir eine einheitliche, sichere und anwendungsfreundliche Technologie mit hohen Anforderungen an den Datenschutz entwickeln, die das Entstehen neuer Standards und technologischer Ökosysteme ermöglicht. Dadurch können neue Wertschöpfungsketten für die digitalisierte Wirtschaft 4.0 entstehen.

Wir wollen Deutschland und Europa zu einem weltweit führenden Standort für die Forschung zur Künstlichen Intelligenz machen und die Fachkräftebasis dafür ausbauen.

5. Vertrauen schaffen und Sicherheit geben: Wir stärken den gesellschaftlichen Zusammenhalt in Zeiten des digitalen Wandels. Bei der Gestaltung der Rahmenbedingungen sind wir unseren Werten verpflichtet: der Menschenwürde, der Selbstbestimmung und dem Schutz der Privatsphäre. Wir tragen zur Ausgestaltung der Rahmenbedingungen bei, fördern den offenen Austausch von Ideen und Erkenntnissen und stärken so das Vertrauen in der digitalen Welt.

Wir stärken die Forschung zu ethischen und gesellschaftlichen Fragen der Digitalisierung und bringen ihre Ergebnisse in die gesellschaftliche und politische Debatte ein.

Wir entwickeln eine Nationale Open Access-Strategie für einen freien und offenen Zugang zu wissenschaftlichen Informationen und treiben das Thema auch auf europäischer Ebene voran.

Mit dem Programm „Selbstbestimmt und sicher in der digitalen Welt“ stärken wir die Sicherheit von IKT-Systemen und tragen zum Schutz der Privatsphäre der Bürgerinnen und Bürger bei.

Durch die Leitinitiative Vertrauenswürdige Elektronik – Made in Germany wollen wir Standards für den Entwurf und die Herstellung vertrauenswürdiger, sicherer Elektronikkomponenten und -systeme entwickeln und in die Anwendung bringen.

Die Digitalstrategie des BMBF ist eng mit anderen Strategien und Vorhaben verzahnt. Zusammengenommen erzeugen sie Wechselwirkungen für eine dynamische und zugleich politisch wie gesellschaftliche verantwortete Digitalisierung:

- Alle großen gesellschaftlichen Herausforderungen, die in der Hightech Strategie der Bundesregierung (HTS) und ihren Missionen aufgegriffen werden, sind mit der Digitalisierung verknüpft, so die digital vernetzte Medizin, nachhaltiges Wirtschaften, biologische Vielfalt, Mobilität, Gleichwertigkeit der Lebensbedingungen und Künstliche Intelligenz. Die Digitalstrategie konkretisiert den Beitrag des BMBF zur HTS. Umgekehrt nimmt das BMBF aus der HTS Impulse für die Weiterentwicklung seiner Digitalpolitik auf. Mit dem 3,5 %-Ziel, der Einführung einer steuerlichen Forschungsförderung und intensivierte Transferanstrengungen trägt die HTS zur Gestaltung der Digitalisierung bei.
- Die Digitalstrategie konkretisiert zugleich den Beitrag des BMBF zur Umsetzungsstrategie Digitalisierung der Bundesregierung. Zugleich sind wesentliche Handlungsfelder dieser Strategie in die Strategie der Bundesregierung eingeflossen.

- Die Digitalstrategie knüpft unmittelbar an andere strategische Maßnahmen an wie die Strategie zur Künstlichen Intelligenz und die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung, die Bildungsoffensive für die Digitale Wissensgesellschaft und das Querschnittsprogramm KMU-innovativ des BMBF.
- Zu den zentralen Themen dieser Strategie werden wir den Austausch mit den Ländern suchen. Gemeinsame Bund-Länder-Vorhaben wie der Digitalpakt, die Nationale Forschungsdateninfrastruktur und das Hochleistungsrechnen spielen für den Erfolg der Digitalisierung in Bildung und Forschung eine entscheidende Rolle.

Eine wirksame Digitalpolitik lässt sich nicht allein national denken und umsetzen. Wir bringen unsere Ideen daher innerhalb der Europäischen Union im Austausch über gute Beispiele und bei der Weiterentwicklung des Europäischen Forschungsraums und bei der Gestaltung und Umsetzung der Programme Horizont Europa und Digitales Europa ein. Die Digitalstrategie des BMBF leistet zudem auch einen wichtigen Beitrag zur Umsetzung der Ziele, die von der Europäischen Union

in der Strategie zum Digitalen Binnenmarkt festgelegt worden sind. Auch durch unsere Teilnahme an internationalen Foren wie G7 und G20 und unsere Mitwirkung in multilateralen Gremien wie der OECD vertiefen wir die internationale Zusammenarbeit.

Mit dieser Strategie wollen wir einen offenen Dialog über den Stand der digitalen Entwicklung fördern. Wir tun dies insbesondere in unseren Wissenschaftsjahren, im Jahr 2019 zur künstlichen Intelligenz, über Veranstaltungen mit Bürgerinnen und Bürgern sowie Fachleuten und über unseren Internetauftritt www.bildung-forschung.digital.

Im Sinne des offenen Dialogs handelt es sich um eine dynamische Strategie. Wir werden sie im Lichte des Dialogs und der digitalen Entwicklungen fortentwickeln.

Unsere Zielbereiche verbinden wir mit ambitionierten Zielmarken. Sie sind Ansporn für unser Handeln. Wir treten mit anderen Akteuren in Politik, Wissenschaft, Wirtschaft, Bildung und Gesellschaft in die Diskussion, um für unsere Ziele zu werben und auf ihre Verwirklichung hinzuwirken.



Besser und nachhaltig leben, wirtschaften und arbeiten

Zukunftsbild: Die Digitalisierung erleichtert das Leben dank digitaler Anwendungen und Dienstleistungen in Bereichen wie Gesundheit und Mobilität. Sie ermöglicht anspruchsvolle, erfüllende Arbeit unter verbesserten, den menschlichen Fähigkeiten und Bedürfnissen gemäßen Bedingungen. Sie hilft, die Sicherheit der Menschen zu verbessern. Sie unterstützt eine ökonomisch wie ökologisch nachhaltige Entwicklung und schafft Teilhabemöglichkeiten im ländlichen wie im städtischen Raum. Damit trägt sie zum Zusammenhalt der Gesellschaft und zum Schutz unserer Lebensgrundlagen bei.

Herausforderungen

Der demografische Wandel stellt unsere Gesellschaft vor vielseitige Herausforderungen. Prognosen gehen davon aus, dass im Jahr 2060 in Deutschland jeder Dritte mindestens 65 Jahre oder älter sein wird. Bereits heute sind laut Statistischem Jahrbuch 2017 über 21 Prozent der Bevölkerung älter als 65 Jahre. Das hat Auswirkungen auf unser Zusammenleben, den Arbeitsmarkt und wirft Fragen für Gesundheitsversorgung und Selbständigkeit im Alter auf.

Die Digitalisierung bietet große Potenziale für Gesundheitsforschung und Gesundheitsversorgung: Digitale Gesundheitsanwendungen können helfen, die Behandlung von Krankheiten zu verbessern, das medizinische Personal zu entlasten und die Effizienz des Gesundheitssystems zu steigern. Von der OECD wird der Digitalisierungsgrad im deutschen Gesundheitswesen eher gering eingeschätzt. Damit auch Patientinnen und Patienten sowie medizinische Fachkräfte hierzulande rasch und noch stärker als bisher von der Digitalisierung profitieren, müssen wir die Entwicklung und den Transfer digitaler Innovationen stringent und zielgerichtet vorantreiben.

Wie sich die Digitalisierung insgesamt auf den Bedarf an Arbeitskräften auswirken wird, ist umstritten. Laut den OECD Social, Employment and Migration Working Papers ist aber davon auszugehen, dass die Digitalisierung zu einer Reorganisation von Arbeitsprozessen in den westlichen Ländern führen wird. Der OECD zufolge wird damit gerechnet, dass in den westlichen Ländern zwischen sechs und 33 Prozent der bestehenden Arbeitsplätze verloren gehen. Dem gegenüber stehen neue Arbeitsplätze, die durch den digitalen Wandel entstehen. Die bisherigen großen technologischen Umbrüche haben insgesamt nicht zu einem

Rückgang an Arbeitsnachfrage geführt, häufig sogar zu einem Zuwachs.

Die Digitalisierung bietet zahlreiche Chancen, die globalen Nachhaltigkeitsziele der UN Agenda 2030 zu erreichen. Sie kann dafür genutzt werden, Geschäftsmodelle nachhaltiger zu machen, die Effizienz zu erhöhen und Ressourcen wie Wasser, Energie und seltene Erden einzusparen. Digitale, disruptive Technologien können außerdem den Anstoß zu umfassenden sozialen Innovationen, wie einer „Sharing-economy“ und „Smart Cities“ bilden. Zugleich zeichnen sich große Herausforderungen wie eine geschätzte Verdreifachung des globalen Strombedarfs für Kommunikationstechnik bis 2030 ab.

Wir fördern digitale Gesundheitsinnovationen für Versorgung und Pflege

Eine gute Gesundheitsversorgung für alle Menschen in Stadt und Land, für Junge wie Ältere gehört zu den staatlichen Kernaufgaben. Wir müssen sie in Zeiten der Urbanisierung und des demografischen Wandels sicherstellen und allen ermöglichen, am medizinischen Statistisches Jahrbuch 2017, Seite 31 und Daten für das Jahr 2015 Fortschritt teilzuhaben. Digitale Gesundheitsinnovationen spielen dabei eine wichtige Rolle: Wirksame digitale Hilfsmittel und Dienstleistungen tragen dazu bei, dass Menschen in ganz unterschiedlichen Lebenssituationen länger unabhängig und selbständig bleiben können. Um Krankheiten gezielter zu bekämpfen und Heilungschancen zu erhöhen, fördern wir die intelligente und verantwortungsvolle Vernetzung von Daten aus Forschung und Versorgung. Wir treiben die Entwicklung von neuen Technologien und digitalen

Gesundheitsanwendungen voran, um die Gesundheitsversorgung zu verbessern. Wir fördern die Erforschung, Entwicklung und Erprobung von technischen Innovationen im Pflegebereich, um Pflegekräfte und pflegende Angehörige bei ihrer Arbeit zu unterstützen, mehr Zeit für menschliche Zuwendung zu ermöglichen und

die Lebensqualität der Pflegebedürftigen zu verbessern. Datenschutz und Datensicherheit sind für uns bei allem zentral. Sie sind die Basis für das Vertrauen in die neuen Möglichkeiten.

Leitinitiative: Digitale FortschrittsHubs Gesundheit – Neue Wege für bessere Forschung und Versorgung im Gesundheitsbereich

Die digitale elektronische Patientenakte gilt als das Kernstück einer vernetzten Gesundheitsversorgung. Sie soll jedem Menschen schnellen, umfassenden und sicheren Zugang zu seinen Gesundheitsdaten ermöglichen. Patientinnen und Patienten sollen dort gemeinsam mit ihren Ärztinnen und Ärzten beispielsweise ihren Impfpass hinterlegen, Diagnosen festhalten oder ihre Medikamente notieren können. Rettungskräften und medizinischem Fachpersonal sollen die Akten Aufschluss über den aktuellen Gesundheitszustand eines Patienten, einer Patientin geben. Darüber hinaus werden auch die Übermittlung von elektronischen Rezepten oder Krankmeldungen sowie Vernetzungsmöglichkeiten mit telemedizinischen Anwendungen und Gesundheits-Apps angedacht.

Die unzähligen in elektronischen Patientenakten hinterlegten Daten sind auch eine entscheidende Grundlage für den medizinischen Fortschritt. Durch Analyse dieser Daten können bislang unbekannte Krankheitsursachen erkannt und damit neue personalisierte Präventions- und Therapiemöglichkeiten aufgezeigt werden. Forschende können die Daten aber nur dann sinnvoll verarbeiten, wenn sie strukturiert und interoperabel, also mit anderen Informationssystemen dialogfähig, vorliegen. Auf dem Weg zur Nutzung forschungskompatibler elektronischer Patientenakten müssen jedoch noch zahlreiche Hürden überwunden werden. Die Medizininformatik-Initiative des BMBF schafft durch den Aufbau und die Vernetzung von Datenintegrationszentren die technischen und organisatorischen Voraussetzungen für einen standortübergreifenden Datenaustausch zwischen Krankenversorgung und biomedizinischer Forschung. Sie fokussiert zunächst auf die Universitätskliniken, weil hier die engste Verbindung zwischen Krankenversorgung und klinischer Forschung besteht.

Eine besondere Herausforderung ist es jedoch, auch Patientendaten, die an nicht-universitären medizinischen Einrichtungen entstehen, für die Gesundheitsforschung nutzbar zu machen. Dabei stellen sich neben technischen und rechtlichen, vor allem organisatorische Fragen, etwa nach einem angemessenen zeitlichen und finanziellen Aufwand für das beteiligte medizinische Personal. In den digitalen FortschrittsHubs soll im Sinne eines Real-Labors erprobt werden, wie ausgehend von einer an der Medizininformatik-Initiative beteiligten Universitätsklinik verschiedene regionale Partner, beispielsweise Krankenhäuser, Arztpraxen, Forschungseinrichtungen oder Krankenkassen, an digitalen Versorgungsansätzen zusammenarbeiten können. So sollen die Machbarkeit der forschungskompatiblen, sektorübergreifenden Datenerhebung in der medizinischen Praxis erprobt und ein Mehrwert für Patientinnen und Patienten, medizinisches Fachpersonal und Wissenschaft modellhaft überprüft werden. Dabei liegt der Fokus zunächst auf definierten Anwendungsfeldern, wie etwa Krebserkrankungen.



Ausgewählte Initiativen

Digitale Gesundheitsinnovationen

Mit der Roadmap Digitale Gesundheitsinnovationen (2019-2021) will das BMBF gemeinsam mit dem BMG und dem BMWi das Zusammenwirken aller Verantwortlichen von der Entwicklung bis zur raschen Umsetzung innovativer E-Health Lösungen optimieren.

Medizininformatik

Die Medizininformatik-Initiative des BMBF (2018-2021) hat das Ziel, Gesundheitsforschung und Patientenversorgung durch die standortübergreifende Verknüpfung von Forschungs- und Versorgungsdaten zu verbessern. Zu diesem Zweck werden Datenintegrationszentren aufgebaut, der Nutzen für Patienten, Ärzte und Forscher in praktischen Anwendungsfällen erprobt sowie der wissenschaftliche Nachwuchs in der Medizininformatik gestärkt. Die vierjährige Aufbau- und Vernetzungsphase wird vom BMBF mit 150 Millionen Euro gefördert.

Computational Life Sciences

Die enormen Fortschritte bei experimentellen Methoden in der biomedizinischen Forschung bringen auch neue Herausforderungen an die Datenanalyse mit sich. Mit der Förderinitiative „Computational Life Sciences“ soll die Entwicklung innovativer Analysewerkzeuge vorangetrieben werden. Einer der

Schwerpunkte ist die Nutzung künstlicher Intelligenz (wie „Deep Learning“) in der Biomedizin.

Medizintechnik

Im Rahmen des Fachprogramms Medizintechnik (seit 2016) fördert das BMBF medizintechnische Innovationen für die digitale Gesundheitsversorgung, denn die digitale Transformation ist einer der zentralen Innovationstreiber für das Gesundheitswesen.

Zukunft der Pflege

Im Cluster „Zukunft der Pflege“ werden in einem Pflegeinnovationszentrum und vier Pflegepraxiszentren in Zusammenarbeit von Wissenschaft und Wirtschaft sowie Anwendern und Nutzern innovative Pflegetechnologien und Assistenzsysteme für die Pflege entwickelt und erprobt.



Zielmarke

Wir unterstützen die Etablierung einer bundesweit effektiv arbeitenden Struktur zur Vernetzung medizinischer Daten an deutschen Universitätskliniken. Wir planen, diese Strukturen bis 2025 in der Breite auszubauen.

Wir nutzen digitale Technologien für intelligente Mobilität

Mobilität und Logistik verändern sich grundlegend: in Reaktion auf den Klimawandel, neue Produktionsformen, sich ändernde Mobilitätskulturen und neue Technologien. Wir wollen die Chancen der Digitalisierung für die Mobilität der Zukunft konsequent nutzen. Intelligente Verkehrssteuerung und neue Mobilitätskonzepte für Stadt und Land erleichtern den Alltag und tragen zum effizienten Einsatz von Ressourcen bei. Autonome Fahrzeuge und Systeme können dafür einen wichtigen Beitrag leisten. Wir fördern ihre Entwicklung und ihren Einsatz im Individualverkehr, im öffentlichen Personenverkehr, im Güterverkehr zu Lande und zu Wasser sowie in der Luftfahrt.

Ausgewählte Initiativen

Automobilelektronik

Im Projekt GENIAL! („Gemeinsame ElektroNik Roadmap für Innovationen der AutomobiLen Wertschöpfungskette“) werden Halbleiter-/Elektronikkomponentenhersteller zusammen mit Automobilzulieferern und Automobilherstellern an einer gemeinsamen Roadmap für die Entwicklung zukünftiger Automobilelektronik arbeiten. Durch diesen einzigartigen Ansatz sollen die unterschiedlichen Innovationsgeschwindigkeiten in den Bereichen „Auto“ und „Elektronik“ synchronisierbar werden mit dem Ziel, mittel- bis langfristig den technologischen Vorsprung der deutschen Automobil-, Zulieferer- und autospezifischen Elektronikindustrie zu erhalten und auszubauen.

Technologien für fahrerlose Fahrzeuge

Im Projekt UNICARagil werden modulare Technologien für fahrerlose Fahrzeuge für konkrete Anwendungsfälle in Logistik und Personentransport entwickelt. Damit wollen wir erreichen, dass die deutsche Wirtschaft bei der Elektronik für das Auto weltweit in der ersten Liga spielt.

KI-Datenplattform zum Entwickeln und Testen autonomer Fahrzeuge

Im Projekt „KI-Plattform“ soll erstmalig eine gemeinsame Datenbank für Lern- und Testdaten konzipiert werden, die Industrieunternehmen, Forschungsinstituten und Prüforganisationen gleichermaßen zur Verfügung steht. Mit dieser Datenbank können u.a. optimale Architekturen künstlicher neuronaler Netze für die Objekterkennung identifiziert werden, die später in elektronischen Komponenten und Systemen für automatisierte Fahrfunktionen eingesetzt werden. Eine solche akteurübergreifende KI-Plattform von Lern- und Testdaten kann die Innovationszyklen im Bereich der KI-gestützten Automobilelektronik und -sensorik erheblich verkürzen.



Zielmarke

Wir wollen fahrerlose Fahrzeuge der Stufe 4 und 5 – also ohne Fahrer und eventuell ohne Lenkrad – in urbanen Räumen und in ländlichen Räumen bis 2025 auf der Straße erproben. Der Schwerpunkt liegt dabei auf besonders sicherer und zuverlässiger KI-spezifischer Elektronik für das Auto.



Wir nutzen digitale Technologien zur Entwicklung nachhaltiger Lösungen

Deutschland will Vorreiter für mehr Nachhaltigkeit sein. Dafür steht die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, mit der die Bundesregierung die UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung umsetzt. Digitale Technologien und Anwendungen können für die Nachhaltigkeit einen wesentlichen Beitrag leisten und systemische, nachhaltige Innovationen ermöglichen.

Smarte Energienetze und eine digitale, ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft nützen dem Einzelnen wie der Gesellschaft. Deshalb fördern wir ihre Entwicklung mit dem Rahmenprogramm „Forschung für Nachhaltige Entwicklung“ (FONA). Damit sparen wir Energie und Ressourcen ein, vor allem aber entwickeln wir auf digitaler Basis neue nachhaltige Organisations- und Geschäftsmodelle. Wir tragen dazu bei, die Digitalisierung durch technische und soziale Innovationen aus der Nachhaltigkeitsforschung ökonomisch, ökologisch und sozial nachhaltig zu gestalten.

Ausgewählte Initiativen

Digital GreenTech

Mit der Initiative „Digital GreenTech“ sollen die Potenziale der Digitalisierung zur Entwicklung intelligenter Umwelttechnologien erschlossen werden. Thematische Schwerpunkte der Initiative sind die nachhaltige Wasserwirtschaft sowie Kreislaufwirtschaft und Ressourceneffizienz. Sensorik, Vernetzung, Automatisierung und digitale Plattformen sind die Grundlage für Systemlösungen und neue Geschäftsmodelle. Damit soll die führende Rolle deutscher Anbieter auf dem international stark wachsenden GreenTech-Markt weiter ausgebaut werden, um Exportchancen zu sichern und zur Schonung natürlicher Ressourcen weltweit beizutragen.

Zukunftsfähige Stromnetze

In der Initiative „Zukunftsfähige Stromnetze“ fördert das BMBF Lösungen für eine intelligente,

digitale Netzsteuerung. Diese sind ein wichtiger Baustein, um unsere Energienetze auf die Ansprüche der Energiewende vorzubereiten und sie zukunftsfähig zu machen.

Digitale Landwirtschaft

Innerhalb der der BMBF Fördermaßnahme „Agrarsysteme der Zukunft“ integriert das Vorhaben „Digital Agricultural Knowledge and Information System (DAKIS)“ Ökosystemleistungen (ÖSL) und Biodiversität in moderne Planungsprozesse, Produktion und Vermarktung. DAKIS ermöglicht eine neue ressourceneffiziente Arbeitsorganisation, liefert dem Landwirt Informationen und Entscheidungshilfen und fördert dabei Kooperationen von Landwirten durch eine digitale Plattform und vernetzte Roboter.

Leitinitiative: Lokale Klima- und Umweltmodelle für Zukunfts-Städte und -Regionen

Veränderte klimatische Bedingungen, z.B. häufigere Extremwetterereignisse, werden Städte und ländliche Regionen in Zukunft genauso herausfordern wie das tagesaktuelle Thema Luftschadstoffe und Mobilität. Dabei besteht die Herausforderung, dass sich die Folgen des globalen Klimawandels lokal sehr unterschiedlich und in Abhängigkeit von lokal spezifischen Gegebenheiten manifestieren. Computermodelle und Datenbanken haben das Potenzial, in Zukunft deutschlandweit lokal spezifische Informationen zu Umwelt- und Klimaszenarien anzubieten, und damit Städten und Regionen zu ermöglichen, sich wissenschaftlich fundiert auf ihre Zukunft vorzubereiten.

Die Klimaforschung produziert bereits eine Vielzahl an Daten, die zur Grundlage für wissenschaftsbasierte Entscheidungen in verschiedenen kommunalen und regionalen Politikfeldern dienen könnten, bisher aber in Städten und Regionen kaum genutzt werden. Ziel der Leitinitiative ist die Entwicklung von angepassten Datenbanken, Nutzerschnittstellen und die Einbindung von künstlicher Intelligenz, um die lokal aufgelösten Informationen zu Klima und Umwelt für Entscheidungsprozesse in Städten und Regionen zur Verfügung stellen zu können. Damit sollen Städte und Regionen in Deutschland in die Lage versetzt werden, mit dem Klimawandel und anderen Umweltbelastungen aktiv und zielgerichtet umzugehen. Dabei sollen von Anfang an die konkreten Bedarfe und Anforderungen der Anwender berücksichtigt werden, so dass die Daten und Werkzeuge tatsächlich die Anpassung an den Klimawandel und den Umgang mit Umweltproblemen voran bringen. Die unterschiedlichen Bedarfe und Ausgangslagen in Großstädten gegenüber ländlichen Regionen sollen dabei explizit berücksichtigt werden. Es geht daher um eine intelligente Verknüpfung der Möglichkeiten von (modellbasierten) Big Data mit den Handlungslogiken und Unterstützungsbedarfen der Anwender. Gleichzeitig soll im Projekt erforscht werden, auf welche Weise solche Daten und Werkzeuge die städtische Anpassung an den Klimawandel voran bringen.

Die Leitinitiative baut auf zwei Maßnahmen auf: zum einen auf das Design eines Stadtklimamodells, das gebäudeauflösend für ganze Städte Klima- und Luftqualitätsaspekte simuliert, zum anderen auf die Entwicklung eines Informations- und Bewertungssystems zu regionalen Klimaänderungen, das Kommunen umfassend und konkret bei der effizienten und effektiven Klimaanpassung unterstützt.

Darauf aufbauend sollen Daten zu einem breiten Spektrum lokaler Umweltaspekte mit Projektionen zur Klimaentwicklung zusammengebracht und verknüpft werden. So werden relevante Umwelt- und Klimainformationen für die Gegenwart, aber auch für die Zukunft zur Verfügung gestellt. In wissenschaftlicher Hinsicht ist hierfür ein interdisziplinärer Brückenschlag von der Klimaforschung zu Umweltwissenschaften (in einem breiten Verständnis) notwendig. Für die Verknüpfung entsprechender Modelle und Forschungsansätze sollen geeignete Methoden entwickelt und getestet werden. Künstliche Intelligenz kann hierbei eine wichtige Rolle spielen.



Zielmarke

Innerhalb der nächsten fünf Jahre etablieren wir die Digitalisierung als eine entscheidende Antriebskraft für die Nachhaltigkeitsbewegung und für die Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung der UN (SDGs). Die Leitinitiative wird bis 2025 neue digitale Werkzeuge

für klimawandel-angepasste Stadtplanung bereitstellen. Bis 2030 werden wir Anwendern in Städten und Regionen weitere digitale Tools zur Verfügung stellen, die Klima- und Umweltinformationen aus der Forschung nutzbar machen.

Wir unterstützen die Entwicklung digitaler Technologien für die innere und äußere Sicherheit

Globale Sicherheitsarchitekturen und Sicherheitsrisiken haben sich grundlegend geändert. Terrorismus, organisiertes Verbrechen, Kriminalität, auch im Cyberraum, begrenzte Ressourcen, Klimawandel und Naturkatastrophen stellen neue Anforderungen an die Sicherheit. Wir wollen die Chancen der Digitalisierung für die zivile Sicherheit ergreifen und den in diesem Bereich Beschäftigten neue, technische Möglichkeiten zur Verfügung stellen. Hierzu zählen etwa autonome Systeme für menschenfeindliche Umgebungen, innovative Simulationsmethoden zur Lagedarstellung, Trainings- und Ausbildungssysteme für Helferinnen und Helfer oder neue forensische Methoden zur Bekämpfung von Kriminalität und Spionage.

Ausgewählte Initiative

Forschung für die zivile Sicherheit

Mit dem Rahmenprogramm der Bundesregierung „Forschung für die zivile Sicherheit“ (2018-2023) unterstützt das BMBF unter anderem die Entwicklung digitaler Technologien für die Sicherheitsbehörden. Insbesondere werden Kompetenzzentren für autonome Systeme in menschenfeindlichen Umgebungen aufgebaut.

Wir nutzen die Potenziale digitaler Innovationen in der Wirtschafts- und Arbeitswelt

Die Digitalisierung verändert Produktions- und Wertschöpfungsprozesse ebenso wie Berufsbilder und Arbeitsplätze grundlegend. Schon heute ist für einen Großteil der Beschäftigten die technische Ausstattung des Arbeitsplatzes eine andere als noch vor einigen Jahren. In Zukunft werden Beschäftigte an ihren Arbeitsplätzen immer häufiger mit vernetzten Systemen zusammenarbeiten, die teilautonom oder autonom agieren, lernen und eigene Entscheidungen



treffen können. Digitale Technologien eröffnen neue Möglichkeiten für die Verwirklichung eigener Ideen, etwa für Maker oder Gründer. Branchenabgrenzungen verschwimmen zunehmend, neue Branchen entstehen und etablierte Geschäftsmodelle verändern sich. Das Verschmelzen von Produktion und Dienstleistung zu einer hybriden Wertschöpfung stellt neue Anforderungen an klassische Industrieunternehmen.

Unser Ziel ist es, sowohl die Beschäftigten mit ihren Kompetenzen auf diese Veränderungen vorzubereiten als auch eine moderne, datenbasierte Wirtschaft 4.0 wettbewerbsfähig, sicher und nachhaltig zu gestalten. Wir wollen dazu unsere erfolgreichen Ansätze in der gemeinsamen Entwicklung von Technologien, Dienstleistungen, Geschäftsmodellen und guten Arbeitsbedingungen konsequent fortführen. Ziel ist, damit eine nachhaltigere Wertschöpfung zu ermöglichen. Dabei wollen wir die Wirtschaft in ihrer gesamten Breite einbinden, von klassischen Industrieunternehmen über den Handwerksbereich bis zu Dienstleistern. Die Beschäftigten sollen unterstützt und entlastet werden, so dass sie sich mit spezifisch menschlichen Fähigkeiten wie etwa Kreativität in komplexen Situationen, Empathie und ethischen Überzeugungen einbringen können. Wir wollen zudem die Potenziale digitaler Technologien für das Entstehen neuer Arbeitsplätze heben, neue Formen des Kompetenzerwerbs und neue Karrierepfade schaffen und Menschen bei der Verwirklichung eigener Ideen unterstützen. Damit wollen wir die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und insbesondere der kleinen und mittleren Unternehmen erhalten und ausbauen.

Ausgewählte Initiativen

Zukunft der Arbeit

Im Programm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen mit der Programmlinie „Zukunft der Arbeit“ (seit 2018) unterstützt das BMBF den Aufbau einer deutschlandweiten Struktur regionaler Kompetenzzentren der Arbeitsforschung vor allem an Fachhochschulen als regionale Partner für die Betriebe. Gefördert werden darüber hinaus Felder der Arbeitsgestaltung, die in enger Verbindung mit neuen (digitalen) Produktentwicklungen und unter anderem auf digitalen Tools basierenden Geschäftsmodellen stehen.

Gründungsförderung im Bereich Digitalisierung

Um Gründungen im Bereich der Digitalisierung gezielt zu unterstützen, werden technologie-spezifische, maßgeschneiderte Förderangebote unterbreitet. So wurden an den Kompetenzzentren zur IT-Sicherheitsforschung (siehe S. xy) und der Ruhr-Universität Bochum Gründungsinkubatoren eingerichtet, in denen Gründungsinteressierte eine umfassende Beratung und Qualifizierung erhalten und gezielt Gründungsprojekte unterstützt werden. Bei Hightech-Gründungen im Bereich der Mikroelektronik bestehen Einstiegshürden für technologisch orientierte Entwicklungen. Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland baut darum in einem Gründermodul zielgruppenspezifisch einen niedrigschwelligen Zugang zu Hochtechnologie auf.

Makerförderung

Mit gezielter Technologieentwicklung und innovativen Formaten der Vernetzung von Makern mit der Wirtschaft, Wissenschaft sowie Anwendern und Nutzern wollen wir das Potenzial der Makerszene, gerade im Bereich der Digitalisierung, heben.

Handwerk 4.0

Im Handwerk ermöglichen digitale Technologien neue Geschäftsmodelle und Dienstleistungen, etwa durch die Ausstattung von Gebäudeteilen und Haustechnik mit Sensorik für die Fernwartung und Beratung, um Leistungen Gewerke übergreifend zu

erbringen und digital unterstützte Produkte in der Augenoptik, Hörakustik und Zahntechnik individuell zu fertigen. Die Anforderungen des Handwerks unterscheiden sich dabei grundlegend von denen in der Fabrik, etwa weil Anpassungen an wechselnde Umgebungen erforderlich sind. Dies ist z.B. für KI und Roboter eine der größten Herausforderungen. Hinzu kommt, dass in den häufig kleinen Betrieben keine Expertise für die digitalen Systeme vorgehalten werden kann. Das BMBF wird daher die Entwicklung neuer Technologien und darauf basierender Geschäftsmodelle für das Handwerk vorantreiben. Daneben sind auch neue Formate im Rahmen der betrieblichen Personalentwicklung erforderlich.

Hybride Dienstleistungen in der Logistik

Im Innovationslabor Hybride Dienstleistungen in der Logistik in Dortmund mit angeschlossener Startup-Factory werden neue Formen von Dienstleistungen und der Mensch-Technik-Interaktion für die Logistik entwickelt und erprobt.



Zielmarken

Wir treiben insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen die Einführung von Industrie 4.0 – Technologien und ihre Verknüpfung mit intelligenten Diensten und Methoden der Künstlichen Intelligenz voran. Bis 2023 werden wir dazu ein Portfolio an Beispielen, Methoden und Werkzeugen für die Entwicklung und Anwendung komplexer technischer Systeme entwickeln.

Mit dem Programm Zukunft der Arbeit fördern wir die Entwicklung konkreter Lösungen, um Wertschöpfung und Arbeitsplätze in Deutschland zu erhalten. Dafür bauen wir bis 2025 ein deutschlandweites Netzwerk regionaler Kompetenzzentren auf, das die Gestaltungsmöglichkeiten neuer Technologien auf die Arbeitswelt untersucht.

Wir nutzen digitale Technologien für eine moderne und effiziente Verwaltung

Gutes Arbeiten 4.0 ist für die Zukunftsfähigkeit von Institutionen und Behörden von zentraler Bedeutung. Die Digitalisierung prägt auch hier zunehmend interne Arbeitsprozesse und die Kommunikation mit Externen. Wir – das BMBF – wollen die Digitalisierung in unserer Verwaltung nutzen, um mehr Flexibilität zu erreichen.

Ausgewählte Initiativen

Arbeit im BMBF

Das BMBF wird neue Formen des zeitflexiblen und ortsunabhängigen Arbeitens erproben und verstärkt mobile IT einsetzen. Arbeitsprozesse werden zunehmend digitalisiert mit dem Ziel, sie effizienter zu gestalten. Entscheidend ist zugleich die entsprechende Qualifizierung der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sowie der Führungskräfte durch Fortbildungen und Berücksichtigung der geänderten Anforderungen schon in Einstellungsverfahren.

Digitale Verwaltung im BMBF

Um Prozesse zu verschlanken und an Bedarfsträger und Lieferanten auszurichten, hat das BMBF die elektronische Vergabe eingeführt. Das Antrags-

verfahren in der Projektförderung wird mit dem Ziel durchgängig elektronischer Verfahren weiterentwickelt. Zur Verbesserung interner Abläufe hat das BMBF frühzeitig die elektronischen E-Akte eingeführt und wird darauf aufbauend eine durchgängige elektronische Vorgangsbearbeitung und weitere Elemente durchgängig digitaler Workflows umsetzen.



Zielmarken

Wir werden neue Formen des flexiblen Arbeitens im Jahr 2019 im Rahmen einer Pilotphase erproben und bei positiver Evaluierung im Anschluss flächendeckend im BMBF einführen. Flankierend werden wir ab Anfang 2019 Führungskräfte durch gezielte Fortbildungsmaßnahmen auf die neuen Herausforderungen im Kontext Arbeiten 4.0 vorbereiten.

Wir werden im Laufe von 2019 mit der Pilotierung einer durchgängigen elektronischen Vorgangsbearbeitung starten und interne Antragsverfahren sukzessive auf digitale Workflows umstellen. Im Bereich der Projektförderung streben wir mit dem Projektförderverfahren profi an, bis Ende 2019 das für die Zuwendungsempfänger vollständig digitale Förderverfahren zu ermöglichen.



Digitale Bildung und Ausbildung und ihre Institutionen stärken

Zukunftsbild: Schülerinnen und Schüler, Auszubildende und Studierende, Lehrkräfte und Ausbilder, Berufstätige und Nichtberufstätige aller Generationen sind digital kompetent. Als selbstbestimmte Persönlichkeiten nutzen sie verantwortungsbewusst digitale Chancen, erwägen mögliche Risiken und gestalten den digitalen Wandel mit. Dazu tragen digital gut ausgestattete Bildungs- und Ausbildungseinrichtungen mit kompetentem Lehr- und Ausbildungspersonal entscheidend bei.

Herausforderungen

Deutsche Schülerinnen und Schüler lagen 2013 über dem internationalen Durchschnitt bei computer- und informationsbezogenen Kompetenzen. Zu diesem Ergebnis kommt die Studie „International Computer and Information Literacy Study Preparing for Digital Life in a Digital Age“ (ICILS 2013, ICILS-Studie 2018 wird Ende 2019 veröffentlicht). Gleichwohl erreichte auch in Deutschland fast ein Drittel der Schülerinnen und Schüler nur eine der beiden unteren von fünf Kompetenzstufen. Sie waren damit nicht in der Lage, Computer und neue Technologien so zu nutzen, dass sie in Schule, Gesellschaft und Beruf erfolgreich teilhaben können. Gleichzeitig wurde das Potenzial sehr leistungsstarker Jugendlicher nur ungenügend genutzt.

In der deutschen Bevölkerung nehmen die grundlegenden Fähigkeiten bei Computeranwendungen und Internetkompetenzen zwar stetig zu (D21-Digital-Index 2018/2019). Digitale Fertigkeiten und Kenntnisse sind aber insgesamt nur mittelmäßig verbreitet.

Laut einer Studie des Stifterverbands und Mc Kinsey fehlen rund 95 000 Akademikerinnen und Akademiker mit fortgeschrittenen Datenanalyse- und Big-Data-Kenntnissen unter anderem im Medizin- und Ingenieurbereich. Außerdem benötigt Deutschland zusätzlich 10 000 IT-Spezialfachkräfte in den Bereichen Big Data, Advanced Analytics, Business Analytics und Data Science, so der Hochschul-Bildungs-Report 2017/2018. Aber nicht nur im akademischen Berufsfeld, sondern auch in der Facharbeit besteht eine Arbeitskräftelücke. Dem 2018 veröffentlichten MINT-Herbstreport zufolge gibt es bei den MINT-Arbeitskräften in diesem Bereich mittlerweile die größten Engpässe.

Wir tragen zu einem umfassenden Verständnis von digitaler Kompetenz bei und fördern ihre Vermittlung

Digitale Kompetenz bedeutet, Medien und Informationen zielgerichtet auszuwählen, zu bewerten, für die eigenen Arbeits- und Kommunikationsprozesse zu nutzen und eigene Inhalte in digitaler Form für andere aufzubereiten. Sie beinhaltet ein Grundverständnis von digitalen Systemen, Algorithmen und Programmierung („coding“). Digitale Kompetenz muss konzeptionell Bestandteil der Allgemeinbildung und in eine umfassende Ethik- und Werteerziehung eingebettet sein. Für das selbstbestimmte Handeln in der digitalen Welt ist Orientierungswissen unentbehrlich.

Gemeinsam mit den Ländern und weiteren relevanten Akteuren tragen wir dazu bei, dass Menschen aller Generationen in diesem umfassenden Sinn digital kompetent werden: Digitale Kompetenzen werden in der beruflichen und der akademischen Bildung, im Beruf selbst und in der Erwachsenenbildung erworben und erweitert. Damit stärken wir die Teilhabemöglichkeiten in einer zunehmend digital geprägten Gesellschaft.

Die Digitalisierung bietet Chancen für alle Lernenden. Sie ermöglicht eine vertiefte individuelle Förderung durch digital unterstützte Lehr- und Lernprozesse. Die individuelle Förderung soll insbesondere auch Leistungsschwächeren und denjenigen zu Gute kommen, die von ihren Eltern beim Lernen nicht ausreichend unterstützt werden können. Dies verhindert wir die digitale Kluft und trägt zur Chancengerechtigkeit und zum gesellschaftlichen Zusammenhalt bei.

Dafür benötigen wir flächendeckend ein zeitgemäßes Angebot an digitalen Inhalten und Methoden. Im schulischen und hochschulischen Bereich sind hierfür

die Länder zuständig. In der Aus- und Weiterbildung bringen wir auf Bundesebene Ausbildungsbetriebe, Berufsschulen, Verlage und Anbieter von Inhalten („content“) zusammen und fördern empirisch gesichertes Wissen zur Didaktik.

Ausgewählte Initiativen

Berufsbildung 4.0

Die Dachinitiative „Berufsbildung 4.0“ bündelt seit 2016 die vielfältigen Aktivitäten des BMBF zur strukturellen und inhaltlichen Ausrichtung der dualen Ausbildung mit Blick auf die Erfordernisse einer zunehmend digitalisierten und vernetzten Wirtschaft. Das BMBF antizipiert technologische und arbeitsorganisatorische Entwicklungen und unterstützt die unterschiedlichen Akteure bei deren Bewältigung. Die unter dem Dach der Initiative „Berufsbildung 4.0“ gebündelten Aktivitäten zielen auf die Analyse der Auswirkungen der Digitalisierung auf die Qualifikationsanforderungen von morgen, die Förderung der Nutzung digitaler Medien in der beruflichen Aus- und Weiterbildung, die Unterstützung kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) im Transformationsprozess zur Wirtschaft 4.0. Weiterhin umfasst sie die digitale Ausstattung überbetrieblicher Berufsbildungsstätten (ÜBS) und ihrer Kompetenzzentren, die Weiterentwicklung technologieorientierter Verfahren zur Messung beruflicher Handlungskompetenzen sowie die Qualifikation von Ausbilderinnen und Ausbildern in den Betrieben und Bildungsstätten, Lehrkräften an den Berufsschulen und Prüferinnen und Prüfern.

MINT-Aktionsplan

Mit einem MINT-Aktionsplan (2019-2023) werden bisherige und neue Maßnahmen zur MINT-Bildung gebündelt (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik). Dabei ist es unser Ziel, junge Menschen und insbesondere Mädchen und Frauen für MINT-Berufsfelder zu gewinnen. Als Kernmaßnahmen sind die Schaffung eines Online-Portals, MINT-Forschungsprojekte und die Stärkung von MINT-Angeboten für Jugendliche vorgesehen.

Digitale Medien in der beruflichen Bildung

Das BMBF fördert mit dem Programm als Teil der Dachinitiative Berufsbildung 4.0 und mit dem Einsatz von Mitteln aus dem Europäischen Sozialfonds (ESF) die Entwicklung, die Erprobung und den Einsatz neuer Bildungsangebote mit digitalen Medien in der beruflichen Aus- und Weiterbildung. Unterstützt werden beispielhafte Lösungen zum Einsatz von digitalen Medien, Web 2.0 und mobilen Technologien in der Aus- und Weiterbildungspraxis und zur Stärkung von digitaler Medienkompetenz in der beruflichen Bildung.

Digitale Grundbildung

Gemeinsam mit dem Deutschen Volkshochschulverband fördert das BMBF die digitale Grundbildung und wird Kursangebote zum Lernen in digitalen Umgebungen, Vermittlung von Medienkompetenz sowie digitale Kompetenzen von Kursleitenden exemplarisch an ausgewählten Volkshochschulen fördern.



Zielmarke

Gemeinsam mit allen Verantwortlichen steigern wir den Anteil der Personen, die über digitale Grundkenntnisse verfügen, bis 2025 von den von Eurostat errechneten 68 auf 75 Prozent.



Wir unterstützen die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften

Für den erfolgreichen Einsatz von innovativen Technologien brauchen wir Spezialisten und Fachkräfte, die komplexe Systeme verstehen, entwickeln, warten und ihre sichere Nutzung gewährleisten können. Zugleich müssen alle Arbeitnehmer neben klassischen Schlüsselkompetenzen auch über digitale Grundkompetenzen verfügen. Für berufliche und gesellschaftliche Teilhabe wird Weiterbildung zunehmend wichtiger. Alle Bildungsinstitutionen müssen sich im digitalen Zeitalter als Akteure des lebensbegleitenden Lernens verstehen.

Wir stärken den wissenschaftlichen Nachwuchs in Bereichen wie Künstlicher Intelligenz oder Big Data. Dabei arbeiten wir eng mit Hochschulen und Unternehmen der Digitalwirtschaft zusammen.

Ausgewählte Initiativen

Nachwuchsinhiativen der Forschungsorganisationen

Die neue Plattform der Helmholtz-Gemeinschaft, Helmholtz Information & Data Science Academy (HIDA), dient der Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses in neu konzipierten Graduiertenschulen zu Data Science im Rahmen eines nationalen Konsortiums.

Nachwuchsförderung der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung an Forschungsinfrastrukturen

Die Grundlagenforschung an großen physikalischen Forschungsinfrastrukturen (FIS) (z.B. an CERN, ESRF, ESO oder den Helmholtzzentren) zählt zu den datenintensivsten Wissenschaften. Durch die Förderung von Hochschulen im Rahmen des Aktionsplans ErUM-Pro für die Weiterentwicklung von FIS wird der wissenschaftliche Nachwuchs in digitalen Schlüsseltechnologien ausgebildet, um die großen Datenmengen aus den Experimenten an den Großgeräten optimal zu verarbeiten und auszuwerten.

Perspektive: Sichere digitale Bildungsräume – Bildung, Weiterbildung und bessere Bildungschancen für den digitalen Wandel

Die Digitalisierung ermöglicht neue Formen des Lernens und Lehrens. Sie verändert bestehende Berufe und generiert neue, sie erfordert neue Kompetenzen und die Bereitschaft, sich ständig weiterzubilden. Lernen, Lehren, Weiterbilden und die Verbindung von Angebot und Nachfrage müssen digital und bildungssektorübergreifend neu gedacht werden. Ein zentrales staatliches Angebot kann dafür nicht die Lösung sein. Wir wollen vielmehr zentrale Bausteine so profilieren, dass daraus am Ende eine nach allen Seiten hin offene, anschluss- und anpassungsfähige digitale Architektur für Bildung, Weiterbildung und bessere Bildungschancen werden kann.

Drei eng miteinander verbundene zentrale Bausteine sind:

- Die sichere Online-Verwaltung von digitalen Bildungsdaten auf freiwilliger Basis. Ein „E-Portfolio“ sollte Lebenslauf, Kompetenzen, Qualifikationen und Zertifikate umfassen. Benutzerfreundliche Handhabung, Datensicherheit und Authentizität im Sinne von Fälschungssicherheit und notarieller Richtigkeit sollten dabei ebenso im Vordergrund stehen wie kompetenzorientierte, qualitätsgesicherte und interoperabel zugängliche Beschreibungen für Lehr-/Lerninhalte. Anknüpfungspunkte sind das Onlinezugangsgesetz (OZG), das Bund, Länder und Kommunen dazu verpflichtet, Online-Verwaltungsdienste in einem gemeinsamen Portalverbund bis 2022 zusammenzuführen und europäische Initiativen wie das Europass-Portal der EU-Kommission.
- Die Erweiterung der individuellen Möglichkeiten, passgenaue Bildungs-, Weiterbildungs- und Jobangebote zu identifizieren, zu erhalten und anzunehmen und die Erweiterung der Möglichkeiten für Anbieter und Arbeitgeber, solche Angebote zu machen („Matching“). Dafür müssen zahlreiche Elemente miteinander verbunden werden. Wir müssen
 - die Transparenz im vielfältigen Aus- und Weiterbildungsangebot steigern,
 - die IT-gestützte Information und Beratung verbessern,
 - bislang wenig verbundene Leit-Plattformen und -datenbanken verknüpfen,
 - Ansätze für die Standardisierung von Bildungszertifikaten („digital badges“) entwickeln,
 - die Interoperabilität von individuellen Kompetenzprofilen und den Profilen von Bildungsinstitutionen
 - sowie von Beschäftigungs- und Qualifizierungsangeboten erhöhen und
 - die digitalen Möglichkeiten der Analyse zum Bedarf von Kompetenzen und Qualifikationen („skills intelligence“) weiterentwickeln.
- Neue Lehr- und Lernangebote. Wir wollen den modellhaften Auf- und Ausbau konkreter digitaler, individualisierbarer Lehr- und Lernangebote für aktuell strategisch bedeutsame Felder ermöglichen: Künstliche Intelligenz soll Schwerpunkt eines Modellvorhabens werden, Elektromobilität oder Industrie 4.0 könnten Schwerpunkte der beruflichen Weiterbildung sein. Die Vorhaben werden so konzipiert, dass sie anschluss- und erweiterungsfähig zu anderen Bildungssektoren sind.

Wir stärken Lehrende und Multiplikatoren

Wir unterstützen Lehrkräfte und Lehrende, Ausbilderinnen und Ausbilder und diejenigen, die in Bildung- und Forschungseinrichtungen, in Hochschulen und Unternehmen für die Gestaltung des digitalen Wandels verantwortlich sind. Diese Akteure denken Ausstattung und Inhalte zusammen, sie machen digitale Bildung mit Hilfe digitaler Medien in neuen Lehr- und Lernprozessen konkret. Sie können Multiplikatoren, Vorbilder und „Change Agents“ sein. Sie müssen institutionell gestärkt werden und besonders kompetent sein. Dazu tragen wir bei.



Zielmarke

Wir setzen uns dafür ein, dass bis zum Jahr 2030 alle Hochschulen ihre Lehrenden professionell bei der digitalen Lehre unterstützen und sich bundesweit vernetzen.

Ausgewählte Initiativen

Digitalisierung des Wissenschaftssystems – Forschung zur digitalen Hochschulbildung

Der vom BMBF gestartete Forschungsschwerpunkt „Digitale Hochschulbildung“ widmet sich innovativen digitalen Lehr-Lern-Formaten sowie deren strukturellen Gestaltungs- und Gelingensbedingungen.

Hochschulforum Digitalisierung

Das Hochschulforum Digitalisierung (HFD) orchestriert den Diskurs zur Hochschulbildung im digitalen Zeitalter. Als Innovations- und Kompetenzzentrum informiert, vernetzt und berät es Hochschulen, Politik, Wirtschaft und Gesellschaft. Das Hochschulforum unterstützt Hochschulen bei der strategischen Verankerung der Digitalisierung und entwickelt gemeinsam mit ihnen zukunftsweisende Szenarien für Hochschulen in der digitalen Welt.

Perspektive: „digital.hochschule.2025“

Die deutschen Hochschulen leisten einen zentralen Beitrag für die technologische Leistungsfähigkeit Deutschlands. Die infolge der Digitalisierung entstehenden Veränderungen und Herausforderungen für Hochschulen sind grundlegender und struktureller Art und gehen weit über rein technologische Aspekte hinaus. Diese Herausforderungen umfassen alle Leistungsbereiche der Hochschulen. Wir wollen, dass die deutschen Hochschulen auf die neuen Anforderungen noch besser vorbereitet sind und so im internationalen Vergleich zu den Vorreitern der digitalen Transformation aufschließen. Die Chancen für orts- und zeitunabhängiges Lehren, Lernen und Forschen müssen besser genutzt werden. Ebenso brauchen wir übertragbare gute Beispiele, wie sich die Herausforderungen des digitalen Zeitalters für Hochschulen ganzheitlich und nachhaltig gestalten lassen.

Das BMBF will die Digitalisierung der Hochschulen voranbringen und damit die Qualität und die Leistungsfähigkeit des Hochschulsystems erhöhen. Wir wollen digital innovative Hochschulen und Hochschulverbünde stärken. Dabei wollen wir die Digitalisierung in allen Leistungsbereichen – Lehre, Forschung, Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, Weiterbildung, Transfer, Innovation, Verwaltung – unterstützen. Die Hochschulen und Hochschulverbünde sollen die Potenziale der Digitalisierung für ihre Erneuerung nutzen und als Vorreiter eine mobilisierende Wirkung auf das gesamte Hochschulsystem entfalten. Wir wollen den in der Online-Lehre starken Hochschulen, Hochschulverbänden und Länderinitiativen eine Plattform zur Koordinierung anbieten.

Wir führen das Bildungssystem ins digitale Zeitalter

Um gute digitale Bildung und Ausbildung zu ermöglichen, muss das Bildungssystem mit leistungsfähigen Lern-Infrastrukturen ausgestattet sein. Schulen in Deutschland müssen über einen Breitband-Internetzugang und eine technische Ausstattung verfügen, die sowohl kollaboratives Lernen und Lehren wie individuelle Förderung ermöglicht. Ausbildungsbetriebe und überbetriebliche Ausbildungsstätten müssen auf moderne digitale Technologien im Lehr- und Lernalltag zurückgreifen können. Gemeinsam mit den Ländern fördern wir die Digitalisierung der Hochschulen in allen Leistungsbereichen, darunter Lehre, Forschung, Transfer und Internationalisierung sowie die Modernisierung der Verwaltung und der amtlichen Bildungsstatistik.

Ausgewählte Initiativen

Schul-Cloud

Das BMBF fördert die Entwicklung der Schul-Cloud am Hasso-Plattner-Institut in Potsdam. Die Schul-Cloud ist eine pädagogische Software-Umgebung für den Unterricht an Schulen. Sie soll eine funktional umfassende und inhaltlich breit gefächerte Lerninfrastruktur für Lehrkräfte und Schüler bereitstellen. So sinken die technischen Anforderungen für die einzelnen Schulen, gleichzeitig wird die Nutzung sicherer. Außerdem ermöglicht die Schul-Cloud die schulinterne und schulübergreifende Zusammenarbeit sowie Kooperationen mit unterschiedlichen Anbietern von Lernlösungen und Lerninhalten, zum Beispiel Verlagen. Die Schul-Cloud wird bereits in zahlreichen MINT-EC-Schulen genutzt. Darüber hinaus wird sie in adaptierter Form als Niedersächsische Bildungscloud pilotiert.

Digitalisierung der überbetrieblichen Ausbildungsstätten

Überbetriebliche Berufsbildungsstätten ergänzen den Praxisteil der Ausbildung in KMU und sind damit prädestiniert, den Auszubildenden zu vermit-

teln, wie sie neueste Technologien und Standards anwenden. Voraussetzungen dafür sind digitale Ausstattung auf dem neuesten Stand der Technik sowie moderne Ausbildungskonzepte. Hierfür bietet das Bundesbildungsministerium finanzielle Unterstützung mit dem Sonderprogramm Digitalisierung ÜBS (2019-2023).

Online-Anträge zu bildungsbezogenen staatlichen Leistungen

Beispiel: BAföG online. Bestandteil eines modernen Bildungssystems ist ein bürgerfreundlicher digitaler Zugang zu dessen Leistungen. Wir wollen daher in enger Abstimmung mit den Ländern wesentliche Bildungsleistungen digitalisieren. So werden wir die „Antragstellung BAföG-online“ erleichtern, indem wir sie nutzerfreundlich und einheitlich konzipieren und mit dem Portalverbund „Digitale Verwaltung“ verknüpfen. Das BMBF hat für die Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes (OZG) die Federführung für das Themenfeld Bildung übernommen und wird die BAföG-Leistungen prioritär digitalisieren.

Bildungsregister

Ein Bildungsregister in der amtlichen Statistik als Teil einer modernen Registerlandschaft ist ein wichtiger Schritt auf dem Weg zu einer weiteren Digitalisierung von Staat und Verwaltung. So können mit einem Bildungsregister die für die den Zensus erforderlichen EU-Meldepflichten für Bildungsdaten erfüllt werden. Auch für die Bildungspolitik ist ein Bildungsregister ein wertvolles Informationsinstrument, da Bildungsverläufe bereichsübergreifend abgebildet werden können. Insbesondere der Verbleib von Ausbildungs- und Studienabbrechern kann damit statistisch erfasst werden. Das BMBF lässt die Rahmenbedingungen für die Einrichtung eines Bildungsregisters von Experten prüfen.

Leitinitiative: DigitalPakt Schule

Mit dem DigitalPakt Schule unterstützt der Bund die Länder und Gemeinden bei Investitionen in die digitale kommunale Bildungsinfrastruktur. Ziele des Digitalpaktes sind der flächendeckende Aufbau einer zeitgemäßen digitalen Lern-Infrastruktur unter dem Primat der Pädagogik. Dazu verpflichten sich die Länder entsprechend ihrer Strategie „Bildung in der digitalen Welt“, digitale Bildung durch pädagogische Konzepte, Anpassung von Lehrplänen u. Umgestaltung der Lehreraus- und -fortbildung umzusetzen. Im Rahmen seiner verfassungsrechtlichen Möglichkeiten stellt der Bund für Investitionen in die digitale Bildungsinfrastruktur insgesamt 5 Mrd. Euro zur Verfügung, davon 3,5 Mrd. in dieser Legislaturperiode. Die Länder tragen zusätzlich 500 Mio. Euro bei.

Der DigitalPakt Schule adressiert alle Schulformen in der allgemeinen und beruflichen Bildung unabhängig von der Trägerschaft der jeweiligen Schule. Die Schulträger koordinieren die Bedarfe ihrer Schulen und beantragen die Fördermittel über die von den einzelnen Ländern benannten Stellen.

Nachhaltige strukturelle Wirkung erzielt der DigitalPakt Schule außerdem durch die vorgesehenen regionalen oder landesweiten sowie durch länderübergreifende Maßnahmen. Mit dieser Förderung der Zusammenarbeit sollen neue, über einzelne Schulträger hinaus genutzte Lösungen für Service und Wartung der digitalen Infrastruktur entwickelt werden, aber auch die Möglichkeit für die Entwicklung von mehreren Ländern gemeinsam getragener Standards für digitale Lernangebote, oder gemeinsam genutzte pädagogische Infrastrukturen wie Schul-Clouds geschaffen werden.



Zielmarken

Durch den DigitalPakt sind bis 2025 alle Schulen, die das für ihr Lernkonzept wollen, mit digitaler Bildungsinfrastruktur ausgestattet.

Mit dem Sonderprogramm ÜBS-Digitalisierung statten wir die überbetrieblichen Ausbildungsstätten mit digitalen Technologien für eine moderne, hochwertige und flexible Fachkräfteausbildung aus. Bis 2024 werden durch unsere Investitionen die überbetrieblichen Ausbildungsstätten flächendeckend besser ausgestattet sein.

80 Prozent der Hochschulen unterstützen bis zum Jahr 2025 die Digitalisierung in Forschung, Lehre und weiteren Leistungsbereichen in einem strategiegeleiteten Verfahren.

Aus Daten Wissen und Innovationen schaffen

Zukunftsbild: Aus großen und heterogenen Datenmengen gewinnt die Wissenschaft mit innovativen Methoden neue Erkenntnisse. Deutschland treibt die hierfür erforderlichen Infrastrukturen und Methoden kontinuierlich auf nationaler und europäischer Ebene voran. Der verantwortungsvolle Umgang mit Daten ist die Regel und der Zugang ist offen und FAIR gestaltet – FAIR im Sinne von auffindbar - Findable, zugänglich - Accessible, interoperabel- Interoperable und wiederverwendbar- Reusable. Dadurch entsteht neues Wissen. Die Forschungsförderung trägt wesentlich dazu bei, exzellente Ideen aus der Wissenschaft in die Unternehmen zu bringen, um deren Innovationskraft zu stärken und sie bei der digitalen Transformation zu unterstützen. Dadurch entstehen Innovationen, die die Lebensqualität verbessern und Teil der Lösung großer gesellschaftlicher Herausforderungen sind.

Herausforderungen

Wissenschaftliche Datenbestände verdoppeln sich in immer kürzeren Zeiträumen. In der 2013 von der Landesanstalt für Medien Nordrhein-Westfalen herausgegebenen Studie „Kleine Daten, große Wirkung“ wurde errechnet, dass die von der gesamten Menschheit bis 2003 generierte Datenmenge heute in nur zwei Tagen produziert wird.

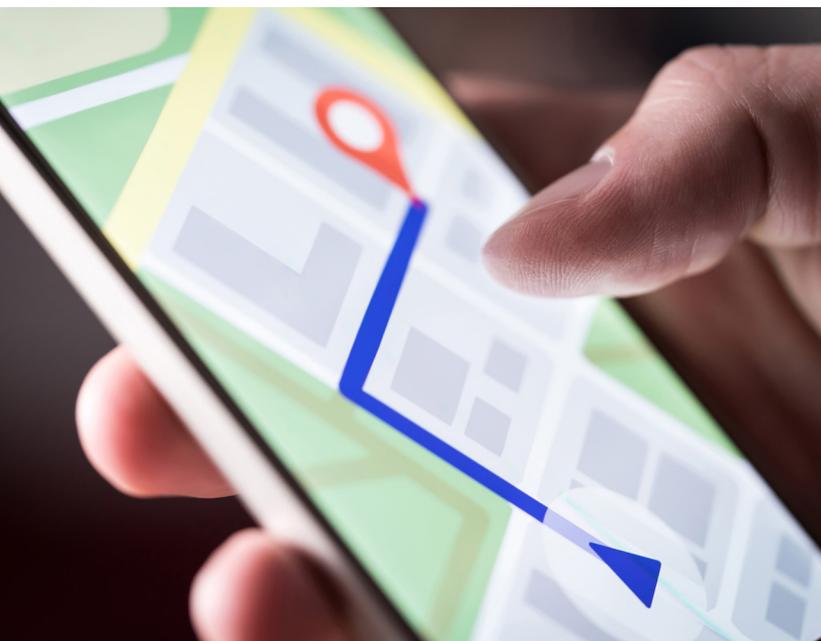
Seit 2011 sind die Patentanmeldungen im Bereich Datenverarbeitungsverfahren für betriebliche Zwecke (z.B. Big Data, Cloud Computing) um 77,9 Prozent gestiegen. Dies belegt den hohen Stellenwert der Technologien. Die Herausforderung der nächsten Jahre wird es sein, den erreichten Standard zu halten und vermehrt das Wissen der Universitäten für die wirtschaftliche Wertschöpfung zu nutzen.

Der internationale Wettbewerb um Innovationen und Wertschöpfung aus Daten wird zunehmend härter: Datenorientierte Unternehmen, vor allem aus den USA und China, dominieren neue Wertschöpfungsmodelle, gewinnen an politischem Einfluss, haben ihre Umsätze in den letzten zehn Jahren im Schnitt um über 20 Prozent pro Jahr gesteigert und zählen heute zu den Unternehmen mit der höchsten Marktkapitalisierung und den höchsten F&E-Ausgaben.

Neue Spitzenuniversitäten und Forschungseinrichtungen zum Beispiel in China und datenorientierte Unternehmen verschärfen den Wettbewerb um die besten Köpfe.

Wir verbessern die technischen Voraussetzungen für Wissenschaft in der digitalen Welt

Daten sind der Rohstoff des 21. Jahrhunderts für Wissen und Wohlstand. Sie liegen in höchst unterschiedlicher Form und Güte vor. Neue Dimensionen des Wissens können nur erschlossen werden, wenn die verteilten Datenbestände hervorragend verknüpft und aggregiert werden können. Dabei ist es entscheidend, Informationen über vorliegende Datensätze standardisiert, lesbar, gut wieder auffindbar und sicher zur Verfügung zu stellen. Einen Modellversuch hierzu hat der Helmholtz-Inkubator „Information & Data Science“ gestartet. Um neue Innovationspotenziale einer Datenökonomie heben zu können, fördern wir zudem eine leistungsfähige technische Infrastruktur für das Hoch- und Höchstleistungsrechnen auch im europäischen Rahmen und ein zeitgemäßes Management von Forschungsdaten: im Sinne neuer Methoden und Konzepte, um Daten zu erfassen, zu speichern, zu verarbeiten und zu vernetzen.



Ausgewählte Initiativen

Nationales Hochleistungsrechnen

Das BMBF stärkt das Hochleistungsrechnen als Basis für wissenschaftliche Exzellenz in Deutschland und Wertschöpfungspotenziale der Wirtschaft durch den Ausbau der Hochleistungsrechenkapazitäten, der Infrastruktur und der Technologie an Hochschulen.

Höchstleistungsrechnen

Ertüchtigung der drei in der Gauß-Allianz zusammengeschlossenen Höchstleistungsrechner in der europäischen High Performance Computing Initiative. Die Gauß-Allianz unterstützt die wissenschaftliche Gemeinschaft in Deutschland durch die Schaffung der Voraussetzungen zur nachhaltigen und effizienten Nutzung von Supercomputing-Ressourcen der obersten Leistungsklassen.

Außeruniversitäre Infrastruktureinrichtungen 1

Das FIZ Karlsruhe, das Leibniz-Institut für Informationsinfrastruktur, ist eine der großen außerhochschulischen Infrastruktureinrichtungen in Deutschland und versorgt in öffentlichem Auftrag Forschung und Wirtschaft mit wissenschaftlicher Information. Dazu werden sehr große Datenmengen aus unterschiedlichsten Quellen erschlossen und innovative Produkte und Dienstleistungen entwickelt. Diese stärken den Wissenstransfer und unterstützen Innovation und Zusammenarbeit in der Forschung. FIZ Karlsruhe forscht zu Themen des Information Service Engineering, zum wissenschaftlichen Datenmanagement, und damit zusammenhängenden rechtlichen Fragestellungen und berät zum Thema Informationsinfrastruktur.

Außeruniversitäre Infrastruktureinrichtungen 2

Die Helmholtz-Gemeinschaft (HGF) erarbeitet eine übergreifende Digitalisierungsstrategie zum Umgang mit den Herausforderungen im Bereich Digitalisierung, BigData und Open Science. Bestandteile sind u.a. die Fokussierung eines von insgesamt sechs Forschungsbereichen der HGF auf das Thema Information, die Einrichtung eines forschungsbereichsübergreifenden Inkubators „Information & Data Science“, in dem zentrale Fragestellungen

aus verschiedenen Bereichen der Digitalisierung in der HGF bearbeitet werden, sowie die Helmholtz Data Federation (HDF). In ihr sind sechs führende Datenzentren der Helmholtz Gemeinschaft zusammengeschlossen, um die Ströme an Forschungsdaten aus den verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen geordnet zu speichern, miteinander zu verknüpfen und eine gemeinsame Nutzung ermöglichen.

Wir fördern eine vernetzte Wissenschaft

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler müssen ungehindert und einfach auf Daten aus bisheriger Forschung zugreifen und sie weiter nutzen können. Mit der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) wollen wir über die technischen Voraussetzungen hinaus auch eine Kultur des Datenteilens etablieren. Durch die Offenheit des Systems werden die Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure in der deutschen Wissenschaftslandschaft und die Kooperation über Grenzen von Forschungsgebieten, Institutionen und Ländern hinweg erleichtert. Auch mit unseren europäischen Nachbarn und internationalen Partnern suchen wir einen offenen und fairen Austausch, damit wir den digitalen Wandel in der Wissenschaft zu unserem gemeinsamen Wohl gestalten.

Zusammen wollen wir übergreifende technische Standards schaffen und geeignete Schnittstellen entwickeln. Wir setzen uns dafür ein, dass wissenschaftliche Daten nach den sogenannten FAIR-Prinzipien auffindbar, zugänglich, interoperabel und wiederverwendbar sind. Nationale und europäische Initiativen, wie die NFDI und die European Open Science Cloud (EOSC), werden aufeinander abgestimmt und unterstützen sich in ihrer Weiterentwicklung.

Ausgewählte Initiativen

European Open Science Cloud (EOSC)

Mit der EOSC wird seit 2017 eine offene Plattform zum Austausch von Forschungsdaten aufgebaut, die zukünftig Forscherinnen und Forscher in ganz

Leitinitiative: Nationale Forschungsdateninfrastruktur

Damit aus Forschungsdaten wissenschaftlich breit nutzbare Datenschätze mit gesellschaftlichem Mehrwert werden, haben sich Bund und Länder darauf geeinigt, eine Nationale Forschungsdateninfrastruktur (NFDI) aufzubauen und gemeinsam zu fördern.

Derzeit oft dezentral, projektförmig und temporär gelagerte Datenbestände von Wissenschaft und Forschung sollen im Rahmen der NFDI für das gesamte deutsche Wissenschaftssystem systematisch erschlossen werden. Die NFDI soll von Nutzern und von Anbietern von Forschungsdaten ausgestaltet werden, die dazu in Konsortien zusammenarbeiten. In den Konsortien – Zusammenschlüsse von Hochschulen, außeruniversitären Forschungseinrichtungen, Ressortforschungseinrichtungen, Akademien und anderen öffentlich geförderten Informationsinfrastruktureinrichtungen oder weiteren entsprechenden Akteuren – sollen existierende Datensammlungen und Dienste zusammengeführt und neue, übergreifende Dienste und die sich daraus ergebenden Lösungen für das Forschungsdatenmanagement in Deutschland etabliert werden.

Für die Förderung der NFDI stellen Bund und Länder im Zeitraum von 2019 bis 2028 bis zu 90 Mio. Euro jährlich zur Verfügung. Der Großteil des Geldes soll dabei bis zu 30 Konsortien in drei zeitlich versetzten Ausschreibungsrunden zugutekommen. Die Auswahl der Konsortien erfolgt in einem wissenschaftsgeleiteten Verfahren.

Die NFDI soll Standards im Datenmanagement setzen und als digitaler, regional verteilter und vernetzter Wissenspeicher Forschungsdaten nachhaltig sichern und nutzbar machen. Damit schaffen wir eine unverzichtbare Voraussetzung für neue wissenschaftliche Erkenntnisse und Innovationen in Forschung und Gesellschaft, leisten einen wesentlichen Beitrag zur Beantwortung interdisziplinärer Forschungsfragestellungen und schaffen einen Mehrwert für das gesamte Wissenschaftssystem. Gleichzeitig sorgen wir mit der NFDI für Anschlussfähigkeit z.B. an die Europäische Forschungscloud (European Open Science Cloud, EOSC) sowie weitere internationale Entwicklungen.

Europa verbindet. Durch die EOSC sollen Forschungsergebnisse und Forschungsdaten leichter gemeinsam genutzt und wiederverwendet werden, wovon nicht nur die Wissenschaft, sondern auch Wirtschaft und Gesellschaft profitieren.

Datenraum „made in Europe“

Deutschland schafft einen Datenraum, der den Zugang zu Forschungsdaten konsequent verbessert, die Nutzbarkeit von qualitätsgesicherten Forschungsdaten erhöht und die Datenqualität und -standards fördert. Deutschland wird den Datenraum „made in Europe“ in den Fokus der deutschen EU-Ratspräsidentschaft 2020 nehmen.

Weltweiter Verbund von Rechenzentren für CERN

Die Experimente am Large Hadron Collider am CERN in Genf produzieren zusammen ca. 50 Petabytes an Daten pro Jahr. Das Worldwide LHC Com-

puting Grid (WLCG) ist ein weltweiter Verbund von Rechenzentren um die Verteilung, Speicherung und Verarbeitung gemeinsam zu bewältigen. Das BMBF fördert den nationalen Beitrag zum WLCG über fünf Rechenzentren an deutschen Hochschulen und in Zusammenarbeit mit Zentren der HGF und MPG.



Zielmarke

Bis zum Jahr 2026 haben wir bis zu 30 Konsortien in die Nationale Forschungsdateninfrastruktur aufgenommen, um fach- und disziplinübergreifende Standards zu etablieren und für eine bessere, über Fachgebiete und Institutionen hinausreichende Vernetzung zu sorgen.

Wir ermöglichen Innovationen aus Daten

In der Wirtschaft 4.0 werden Daten zunehmend zum Produktionsfaktor. Sie sind die Grundlage für Innovationen. Sie ermöglichen neue Dienste und Geschäftsmodelle, sind die Grundlage für die Plattformökonomie und eine wesentliche Voraussetzung, um die Wertschöpfungspotenziale der Künstlichen Intelligenz zu heben. Der Zugang zu Daten wird für Unternehmen damit zunehmend zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Wir wollen den Aufbau einer Datenökonomie vorantreiben, die datenbasierte Innovationen und Wertschöpfung ermöglicht und zugleich das Recht auf informationelle Selbstbestimmung achtet. Dazu fördern wir die Entwicklung von neuen Produkten, Diensten und Geschäftsmodellen sowie von entsprechenden Technologieplattformen und schaffen Real- und Innovationslabore sowie Experimentierräume, um die Forschungsergebnisse in der Praxis zu erproben.

Zudem erarbeiten wir Referenzarchitekturen für sichere Systeme und für Datenräume, in denen die Unternehmen, Bürgerinnen und Bürger selbstbestimmt über die Verwendung und Weitergabe ihrer Daten entscheiden können.

Über die Plattform Industrie 4.0, die Plattform Lernende Systeme und weitere Initiativen wie dem Industrial Data Space fördern wir Innovationen und neue Geschäftsmodelle. Ziel ist, die Wettbewerbsfähigkeit des Produktionsstandorts Deutschland mit Industrie 4.0 weiter zu steigern und eine wichtige Rolle bei der Entwicklung internationaler Standards zu spielen.

Begleitend entwickeln wir auch die Indikatoren zur Messung von Innovationen weiter, denn zum einen stehen mit der Digitalisierung neue Messmethoden zur Verfügung, zum anderen können mit den bisherigen Methoden neue Innovationsformen nicht ausreichend erfasst werden.



Ausgewählte Initiativen

Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen

Im Forschungsprogramm „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ fördert das BMBF verstärkt die Entwicklung lernender und intelligenter Produktionssysteme, neuer datenbasierter Dienste und neuer Geschäftsmodelle, sowohl in der Industrie als auch in den Dienstleistungsbranchen.

Ein Datenraum für die Industrie

Mit der Initiative zum Industrial Data Space wird seit 2014 ein sicherer Datenraum geschaffen, der Unternehmen verschiedener Branchen und aller Größen die souveräne Bewirtschaftung ihrer Datengüter ermöglicht. Der dadurch sichere Austausch und die einfache Kombination von Daten in Wertschöpfungsnetzwerken ist die Voraussetzung für smarte Services, innovative Leistungsangebote und automatisierte Geschäftsprozesse. Mit einer Förderung des BMBF geht die Initiative jetzt in die zweite Phase.

Geschäftsmodellinnovationen

In den beiden Plattformen Industrie 4.0 und Lernende Systeme wurden eigene Arbeitsgruppen etabliert, die sich mit neuen, datenbasierten Geschäftsmodellinnovationen beschäftigen und entsprechende Empfehlungen für Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte formulieren.

Weiterentwicklung der Indikatrix für Forschung und Innovation

Die beiden Förderrichtlinien „Weiterentwicklung der Indikatrix für Forschung und Innovation“ haben zum Ziel, die dynamischen Veränderungen des Innovationssystems im Zuge der Digitalisierung besser abzubilden und Indikatoren neu und weiter zu entwickeln.

Wir unterstützen die Digitalisierung in den Fachdisziplinen

Das Sammeln, Verknüpfen, Interpretieren, Speichern und Zugänglichmachen von Daten ist seit jeher Teil der Wissenschaft. Digitalisierung ermöglicht eine offene Innovationskultur („open innovation“), in der Daten, Informationen und Ideen frei eingebracht und ausgetauscht werden können. Wir tragen zu diesem Kulturwandel bei.

Ausgewählte Initiativen

Geistes- und Sozialwissenschaften

Das BMBF unterstützt seit 2011 die Geistes- und Sozialwissenschaften mit dem Aufbau von Forschungsdateninfrastrukturen. Zudem werden interdisziplinäre Forschungsprojekte gefördert, in denen geisteswissenschaftliche und informatiknahe Fächer an gemeinsamen Fragestellungen arbeiten. Die vom BMBF geförderten ESFRI-Projekte DARIAH-DE und CLARIN-D unterstützen die mit digitalen Methoden und Verfahren arbeitende Forschung in den Geistes- und Kulturwissenschaften mit einer Forschungsinfrastruktur aus vier Säulen: Lehre, Forschung, Forschungsdaten und Technische Komponenten. Als Partner in DARIAH-EU trägt DARIAH-DE dazu bei, europaweit Aktivitäten der Digitalen Geisteswissenschaften zu bündeln und zu vernetzen. CLARIN-D ist als forschungsbegleitende Infrastruktur ein Partner der Geistes- und Sozialwissenschaften, die sich mit Sprache im weitesten Sinne beschäftigen.

Lebenswissenschaften

Das BMBF fördert de.NBI, das deutsche Netzwerk für Bioinformatik-Infrastruktur. Dabei handelt es sich um eine verteilte Forschungsinfrastruktur, die

Lebenswissenschaftlerinnen und -wissenschaftlern Rechenkapazitäten in der de.NBI-Cloud, Datenressourcen, bioinformatische Werkzeuge sowie Beratung und Trainingskurse zur Verfügung stellt. Es bildet den deutschen Knoten von ELIXIR, einer verteilten europäischen Forschungsinfrastruktur für lebenswissenschaftliche Daten. Das de.NBI-Netzwerk stellt mehrere Core-Datenressourcen von ELIXIR und ist auch maßgeblich in die European Open Science Cloud für die Lebenswissenschaften eingebunden.

Materialforschung

Mit der Umsetzung der BMBF-Initiative „Material digital“ wird die digitale Transformation der Materialforschung in Deutschland angestoßen, um die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wissenschaft und Wirtschaft zu stärken, neue Wertschöpfungs- und Beschäftigungspotenziale zu schaffen, die Materialvielfalt und -zuverlässigkeit insgesamt zu erhöhen und die Industrie und insbesondere KMU für die Zukunft zu stärken. Mit „Material digital“ soll ein Werkzeugkasten geschaffen und der essentielle Transformationsprozess eingeleitet werden, der in der deutschen Forschungslandschaft beginnen muss, um die Industrie in diesem komplexen Themenfeld kompetent zu unterstützen.

Physikalische Grundlagenforschung

An den bestehenden und künftigen Forschungsinfrastrukturen der naturwissenschaftlichen Grundlagenforschung werden aufgrund der enormen Menge an anfallenden Daten modernste Rechner- und Softwaretechnologien entwickelt, um diese Daten effizient und zielorientiert nutzen zu können, beispielsweise für neue Speicher- und Auswertungsmethoden. So werden mit dem Aktionsplan ErUM-Data (Arbeitstitel: Von Big Data zu Smart Data an der Grenze des Machbaren – Die Digitalisierung in der Grundlagenforschung) neue Chancen für den wissenschaftlichen Erkenntnisgewinn und zukunftssträchtige Innovationen geschaffen. Die neuen Methoden werden unter anderem auch für Themen in der Umwelt- und Klimaforschung anwendbar sein.

Bioökonomie

Ziel ist die Förderung von digitalen Zukunftstechnologien in der Bioökonomie, um neuartige Technologieplattformen und Verfahrenskonzepte zu ermöglichen und so das Potenzial der Bioökonomie besser auszuschöpfen. So sollen zum Beispiel der Scale-up von Produktionsprozessen durch Simulation optimiert und industrielle Bioprozesse automatisiert und digital steuerbar werden.

Klimaforschung

Um Klimavorhersagemodelle noch präziser zu machen, fördern wir die Forschung zur Erhebung von Klimadaten in der Arktis, besonders im polaren Winter. Den Auftakt dazu bildet eine Mission des Forschungsschiffes FS Polarstern, welches 2019 in der Arktis überwintern und dabei autonome Messsysteme entwickeln und erproben wird. Dies soll eine fortwährende Datenerhebung an den Polen in Zukunft ermöglichen. Die Weiterentwicklung von Dateninfrastruktur und Analysemethodik wird daher ebenfalls gefördert, um diese neuen Daten beispielsweise in verfeinerten Modellen nutzbar zu machen.

Technologische Souveränität und wissenschaftliche Vorreiterrolle für Deutschland sichern

Zukunftsbild: Exzellente und breit angelegte Grundlagenforschung erschließt neue Zukunftsfelder und schafft immer wieder neue Optionen für die wirtschaftliche Entwicklung. Sie ist eng mit der Anwendungsforschung verzahnt, hohe technologische Kompetenz ist flächendeckend verbreitet. Der kontinuierliche Transfer von Forschungsergebnissen in Wirtschaft und Gesellschaft macht Deutschland zum Innovations- und Technologieführer. Die Digitalisierung trägt damit entscheidend zum Wohlstand in Deutschland und der Europäischen Union bei.

Herausforderungen

Für die Innovationsfähigkeit der Wirtschaft sind die umfassende Beherrschung und die generelle Verfügbarkeit aktueller Technologien von strategischer Bedeutung.

Die deutsche Informations- und Kommunikations-Branche hat ihre Wertschöpfung in den letzten 20 Jahren mehr als verdoppelt. Der Anteil an der gesamten Wertschöpfung der deutschen Wirtschaft beträgt, ähnlich wie in anderen Industriestaaten, etwa sechs Prozent. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit, den Transfer der Technologien in klassische Branchen voranzutreiben. Die Hebelwirkung auf Komponenten und Systeme, die erst durch IKT markt- und wettbewerbsfähig werden, ist erheblich. So sind z. B. 80 % aller Innovationen im Auto IKT-getrieben – mit weiter steigender Tendenz mit Blick auf das autonome elektrische Fahren.

Gerade digitale Technologien haben sich in den letzten Jahren sehr schnell weiterentwickelt und damit zahl-

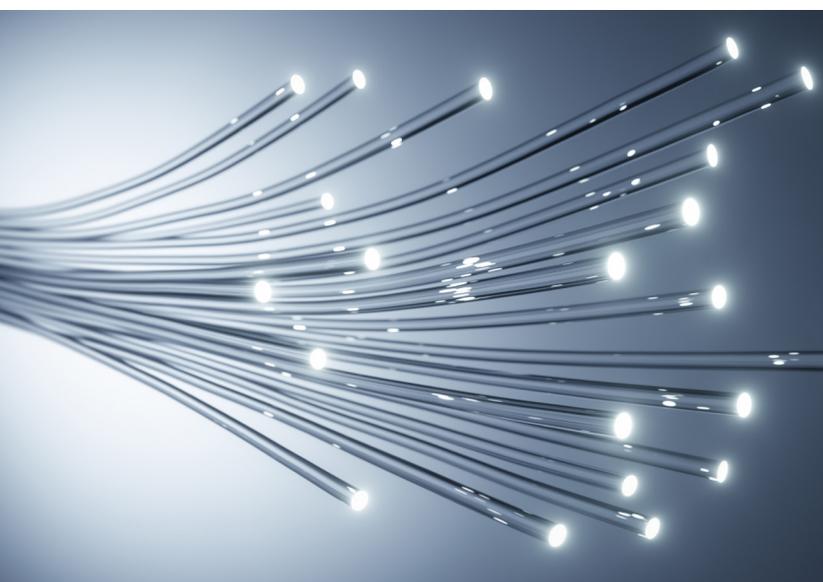
reiche neue Anwendungen ermöglicht. So hat sich die Leistungsfähigkeit von Computerchips seit den 1970er Jahren etwa alle zwei Jahre verdoppelt (Moore'sches Gesetz). Die Verkleinerung der Strukturen auf den Chips stößt mittlerweile an physikalische Grenzen. Deshalb werden neue Pfade der Technologieentwicklung erschlossen. Beispielsweise geht es verstärkt um die anwendungsgetriebene Integration vielfältiger Funktionen, einschließlich KI-spezifischer Designs (More-than-Moore). Es gilt daher, mit den nächsten Technologiegenerationen neue Anwendungsfelder zu erschließen.

Wir fördern Schlüsseltechnologien für die Digitalisierung

Wir entwickeln Schlüsseltechnologien wie künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen, Mikroelektronik, Kommunikationssysteme, IT-Sicherheit, intelligente Produktionstechnologien und Robotik weiter und investieren massiv in diese relevanten Bereiche. Diese Technologien stellen die Basis dar für eine Vielzahl von Innovationen und neuen Wertschöpfungsketten dar.

Wir stärken die Mikroelektronik-Forschung und treiben die Entwicklung energieeffizienter Elektroniksysteme etwa für das autonome Fahren oder Industrie 4.0 voran. Für die Kommunikationssysteme der Zukunft fördern wir sichere intelligente Architekturen, die mit Hilfe von KI verfügbare Ressourcen effizient nutzen. Wir werden außerdem grundlegende Technologien für die Vernetzung über den zukünftigen Mobilfunkstandard 5G und Nachfolgestandards entwickeln und so neue innovative Anwendungen ermöglichen.

Im Schwerpunkt Künstliche Intelligenz werden wir mit der nationalen KI-Strategie unsere Kompetenzen in diesem Themenfeld gezielt fortentwickeln. Wir fördern



zudem die Entwicklung neuer Verfahren zur Aufbereitung und Analyse großer und heterogener Datenmengen (Big Data/Smart Data). Für die nutzerfreundliche Umsetzung neuer Technologien fördern wir gezielt neue Lösungen der Mensch-Technik-Interaktion.

Durch Förderung der zentralen Schlüsseltechnologien wollen wir Wert schöpfen, Grundlagen für unseren zukünftigen Wohlstand schaffen und – vereint mit

unseren europäischen Partnern – unsere nationale und europäische Souveränität und technologische Unabhängigkeit sicherstellen. Wir wollen, dass Deutschland im Bereich der Digitalisierung mit anderen Ländern kooperiert, wo dies im Einvernehmen über die Ziele und zum gemeinsamen Nutzen geschieht.

Leitinitiative: Ein europäisches Betriebssystem für das Internet der Dinge (European OSI)

Die Zahl an vernetzten Geräten im „Internet der Dinge“ (IoT) wächst stetig. Prognosen zufolge wird 2025 jeder Mensch 4.800-mal am Tag mit Maschinen interagieren. Die dabei entstehenden Daten sind die Grundlage für neue Produkte und Dienstleistungen. Es ist von immenser Bedeutung, ein konkurrenzfähiges und sicheres System für diese entscheidende wirtschaftliche Schnittstelle anbieten zu können. Die Technologien, Standards und darauf basierenden Komponenten und Systeme treffen dabei allein in Europa auf einen Markt von mehr als 500 Millionen Bürgerinnen und Bürgern. Dieser soll nicht ausländischen Systemanbietern überlassen, sondern im Sinne technologischer Souveränität durch deutsche und europäische Lösungen abgedeckt werden.

Im Rahmen des Projektes soll ein Betriebssystem für das Internet der Dinge entwickelt werden. Das System soll zum Standard für den europäischen Binnenmarkt werden und auch international Wirkung entfalten. Ziel ist eine einheitliche, sichere und datenschützende Technologie, die das Entstehen neuer Plattformen sowie europäischer und internationaler Geschäftsmodelle ermöglicht. Zentral sind dabei eine hohe Vertrauenswürdigkeit und Sicherheit sowie ein starker Markenkern „Made in Germany“. Das Betriebssystem soll als europäisches digitales Ökosystem einen Software-Stack, eine Software-Architektur und eine Entwicklungsplattform darstellen, die die Interoperabilität von bestehenden und künftigen IoT-Systemen sicherstellt. Zudem soll das System in konkreten Anwendungsfeldern wie Industrie 4.0, Logistik oder autonomen Fahrzeugen eingebettet und marktgängig gemacht werden. Entscheidend ist daher insbesondere die Skalierbarkeit des Systems, von kleinen Temperatursensoren bis hin zu ganzen Logistikketten. Dabei ist neben einer Referenzarchitektur und Software-Algorithmen auch entsprechende Hardware zu entwickeln. Das Projekt vereint Entwicklungen aus verschiedenen Schlüsseltechnologien (u.a. Softwaretechnologien, Mikroelektronik, IT-Sicherheitsforschung) und Anwendungsfeldern (u.a. Produktionsforschung, autonomes Fahren, Medizin) der Digitalisierung. Es erfordert ein Zusammenwirken von Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft in einer Vielzahl von Bereichen.

Kern des Projekts ist das Basissystem BaSys 4.0, das seit 2016 entwickelt wird. In der im August 2018 gestarteten zweiten Phase soll nun die Weiterentwicklung des Systems und dessen Überführung in zentrale Anwendungsbereiche erreicht werden. Erste Projekte hierzu gehen 2019 in die Umsetzung, weitere Fördermaßnahmen sind in Planung. Parallel wird ein Industriekonsortium aufgebaut, um das System in die Breite der Wirtschaft zu tragen.

Gemeinsam mit der Leitinitiative „Vertrauenswürdige Elektronik – Made in Germany“ soll diese Leitinitiative als technologischer Vertrauensanker bei Hard- und Software dienen und so die Diffusion digitaler Technologiesysteme in die Breite von Wirtschaft und Gesellschaft ermöglichen.

Ausgewählte Initiativen

Strategie Künstliche Intelligenz

Die KI-Forschung in Deutschland wird ausgebaut, unter anderem durch die Förderung weiterer Kompetenzzentren zur Künstlichen Intelligenz, ihre Vernetzung mit den bestehenden Zentren und mit Forschungseinrichtungen von Bund und Ländern zu Künstlicher Intelligenz und Big Data mit dem Ziel eines nationalen Forschungskonsortiums. Mit einer Nationalen KI-Strategie will die Bundesregierung die Erforschung, Entwicklung und Anwendung von künstlicher Intelligenz in Deutschland auf ein weltweit führendes Niveau bringen. Die Nutzung von KI soll verantwortungsvoll und zum Wohle der Gesellschaft vorangebracht und neue Wertschöpfungspotenziale sollen erschlossen werden. Ab 2019 wird ein deutsch-französisches Forschungszentrum für künstliche Intelligenz aufgebaut werden, das Europa als „Innovationsmotor“ neu entdecken und im Bereich der KI weltweit an die Spitze bringen soll.

Internationale Zukunftslabore Künstliche Intelligenz

„KI made in Germany“ soll eine internationale Marke werden. Dafür wollen wir die besten Köpfe nach Deutschland holen. Für sie brauchen wir attraktive Bedingungen. Mit den Internationalen Zukunftslaboren schaffen wir Orte, die internationale und deutsche KI-Forscher in Deutschland zusammenbringen. So bringen wir „KI made in Germany“ auch in die Anwendung.

Mikroelektronik

Das Rahmenprogramm der Bundesregierung für Forschung und Innovation 2016–2020: „Mikroelektronik aus Deutschland – Innovationstreiber der Digitalisierung“ stärkt die forschungsintensive Mikroelektronik als deutsche Schlüsseltechnologie, wichtigen Industriezweig und Treiber der Digitalisierung. Es unterstützt insbesondere die Entwicklung von Industrie 4.0, automatisiertem elektrischen Fahren, nachhaltiger und effizienter Energieversorgung sowie intelligenter Medizintechnik.

Photonik

Das Programm „Photonik Forschung Deutschland“ fördert eine Schlüsseltechnologie für die Digitalisierung. Sie bietet zahlreiche Ansätze zur Lösung drängender gesellschaftlicher Fragen und trägt dazu bei, in Zukunftsfeldern wie im Life Science-Bereich, der Sensorik, Energie und Beleuchtung, Produktion und Fertigungsverfahren sowie Kommunikation eine ressourcenschonende Wirtschaft zu gestalten.

Technik zum Menschen bringen

Das Forschungsprogramm „Technik zum Menschen bringen“ fördert seit 2016 innovative und digitale Lösungen in immer mehr Lebensbereichen. Digitale Gesellschaft und Gesundes Leben sowie intelligente Mobilität sind die drei Schwerpunkte. Das Programm ist Dachmarke für die Weiterentwicklung des Förderschwerpunkts „Mensch-Technik-Interaktion“ (MTI).

Neue Materialien und Werkstoffe

Neue Materialien und Werkstoffe sind entscheidende Innovationstreiber, um die Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit in Deutschland auszubauen und den gesellschaftlichen Wohlstand und die Lebensqualität in unserem Land nachhaltig zu verbessern. Wir fördern sie im Programm „Vom Material zur Innovation“. Mit der Initiative „Material Digital“ wollen wir die Digitalisierung der Materialforschung voranbringen



Zielmarke

Wir wollen Deutschland und Europa zu einem weltweit führenden Standort für im Bereich KI machen und die Fachkräftebasis für KI ausbauen. Dazu werden wir die Kompetenzzentren für Big Data und KI bis 2022 ausbauen und vernetzen. Wir unterstützen zudem die Schaffung von 100 KI-Professuren bis 2025.

Wir ermöglichen Grundlagenforschung für das nächste Level der Digitalisierung

Rechnerkapazitäten werden immer größer, Rechenoperationen immer schneller, Geräte immer kleiner. Digitale Technologien begleiten uns im Alltag. Auch künstliche Intelligenz wird in zahlreichen Produkten, Dienstleistungen und Prozessen eingesetzt. Aber die Entwicklung geht weiter. Damit Deutschland die nächsten Phasen und Schritte der Digitalisierung mitgestaltet und führend an der Entwicklung künftiger Technologien beteiligt ist, treiben wir Spitzenforschung voran, darunter auch zur Quantentechnologie.

Zu Grundlagenforschung gehören Mut und Risikobereitschaft. Wir fördern Forschung auch in Bereichen, die vielleicht erst übermorgen relevant sind. Breit angelegte Grundlagenforschung schafft wirtschaftliche und gesellschaftliche Optionen für die Zukunft. Zugleich wollen wir Zukunftsfelder frühzeitig erkennen und besetzen.

Ausgewählte Initiative

Regierungsprogramm Quantentechnologie

Mit dem Regierungsprogramm Quantentechnologie soll die Anwendung von Quanteneffekten der 2. Generation vorangetrieben werden, um die Effekte zum Rechnen bislang ungelöster Probleme, für eine sichere Kommunikation oder Metrologie und Sensorik zu nutzen.

Wir unterstützen den Wissenstransfer in die Wirtschaft

Wir wollen Ideen umsetzen in Verfahren, Produkte und Dienstleistungen, die auf dem Markt erfolgreich sind. Dafür unterstützen wir die gesamte Innovationskette von der ersten abstrakten Forschungs idee bis hin zur konkreten Anwendung, damit die Früchte der



Forschungsförderung auch bei den Unternehmen und den Menschen im Land ankommen. Dazu schaffen wir Netzwerke von Forscherinnen und Forschern aus universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, der Industrie und sonstigen Anwendern von Forschungsergebnissen. Dabei beziehen wir gerade kleine und mittelständische Unternehmen ein. Auch die Offenheit der Gesellschaft für Neues und den Mut von Innovatoren zum Risiko wollen wir stärken.

Ausgewählte Initiativen

Agentur für Sprunginnovationen

Die durch das Bundeskabinett im August 2018 beschlossene Agentur zur Förderung von Sprunginnovationen soll Innovationsakteuren die finanziellen Mittel und Freiräume eröffnen, um bahnbrechende Ideen in die Anwendung zu überführen. Ausgestattet werden soll die Einrichtung mit rund einer Milliarde Euro über zehn Jahre. Mit dem Geld sollen Forschungen, aber auch konkrete Projekte gefördert werden.

Offene Innovationskultur

Das Dachkonzept Offene Innovationskultur soll die Förderung innovativer Transferstrukturen und -methoden bündeln, die zur Öffnung von Innovationsprozessen beitragen und Forschungsergebnisse schneller in wirtschaftliche, gesellschaftliche und soziale Innovationen überführen. Die Digitalisierung bietet hier neue Möglichkeiten.

Internet für die Industrie

Die Fraunhofer-Gesellschaft will ein „Internet für die Industrie“ mit der Entwicklung kognitiver Internet-Technologien fördern. Hierzu sollen die breit gefächerten Technologie- und Anwendungskompetenzen mit agilen Entwicklungsformaten zum Einsatz kommen. Entwickelt werden sollen Lösungen aus den Bereichen der kognitiven Sensorik, Datensouveränität und Datenökonomie sowie neuen Methoden des maschinellen Lernens, mit denen in Zukunft in Echtzeit auf Ereignisse reagiert, Komplexität von Systemen beherrschbar gemacht und datengetriebene Wertschöpfungsketten ermöglicht werden.

Gründungsförderung im Bereich Digitalisierung

Um Gründungen im Bereich der Digitalisierung gezielt zu unterstützen, werden in ausgewählten Bereichen spezifische Förderangebote unterbreitet. An den Kompetenzzentren zur IT-Sicherheitsforschung (siehe unten) und der Ruhr-Universität Bochum wurden Gründungsin Kubatoren eingerichtet, in denen Gründungsinteressierte eine umfassende Beratung und Qualifizierung erhalten und Gründungsprojekte gezielt unterstützt werden. Bei Hightech-Gründungen im Bereich der Mikroelektronik bestehen Einstiegshürden für technologisch orientierte Entwicklungen. Die Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland baut darum in einem Gründermodul zielgruppenspezifisch einen niedrigschwelligen Zugang zu Hochtechnologie auf.

Vertrauen schaffen und Sicherheit geben

Zukunftsbild: Die Auseinandersetzung mit den ethischen Aspekten der Digitalisierung, eine offene und faire Kommunikation, das wertebasierte Handeln der Verantwortlichen und ein allgemeines Verständnis der Auswirkungen der Digitalisierung schaffen Vertrauen in der digitalen Welt. Dazu tragen auch gute Rechtsetzung und verlässliche Sicherheitsarchitekturen für einzelne Anwendungen wie für kritische Infrastrukturen bei.

Herausforderungen

Deutschland wird nicht selten als ein Land der Internet-Skepsis beschrieben. Die Internetnutzung ist in den letzten 20 Jahren aber kontinuierlich angestiegen und im OECD-Vergleich konnte Deutschland bei der Nutzung innerhalb von einem Jahr von Platz 18 auf Platz 14 vorrücken. Gleichzeitig scheint insbesondere das Vertrauen in öffentliche digitale Dienste bei den Bürgern noch nicht in der Breite verankert zu sein. Hier belegt Deutschland laut DESI Länderbericht bei der Nutzung 2017 wie 2018 im EU-Vergleich Platz 21. Auch intelligente Techniken, die viel Vertrauen des Verbrauchers und Konsumenten erfordern, wie Assistenzrobotik oder selbstfahrende Autos, treffen häufig auf erhebliche Vorbehalte in der deutschen Bevölkerung, so der D21 Index. Obwohl die Menschen in Deutschland grundsätzlich den Schutz ihrer Privatsphäre befürworten, tun sie selbst im Alltag wenig dafür. Schützende Apps oder beschränkende Einstellungen werden noch vergleichsweise selten eingesetzt (sog. „Privacy Paradox“).

Wir stärken Forschung und öffentliche Debatte zur vernetzten Gesellschaft

Die digitale Transformation ist ein vielschichtiges soziales Phänomen. Ethische, rechtliche, wirtschaftliche und gesellschaftliche Fragen der Digitalisierung müssen wir daher über die technologische Perspektive hinaus in ihren gemeinsamen und wechselseitigen Auswirkungen betrachten und erforschen. Wir wollen die Herausforderungen der Digitalisierung meistern und den gesellschaftlichen Zusammenhalt stärken. Dazu brauchen wir eine breite Wissensbasis über ihre vielfältigen Auswirkungen ebenso wie eine Orientierung an unserem Wertefundament: Die Würde des Menschen, seine Privatsphäre, seine informationelle Selbstbestimmung und die Chancengerechtigkeit reflektieren wir in unseren Entscheidungen und

Fördermaßnahmen. Wissenschaftliche Erkenntnisse stellen wir einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung und entwickeln sie gemeinsam weiter. Um Vertrauen zu schaffen, berücksichtigen wir die Sorgen, Hoffnungen und Erwartungen der Menschen. Wir stärken den Dialog mit der Öffentlichkeit.

Ausgewählte Initiativen

Internet und Gesellschaft

Im Weizenbaum-Institut für die vernetzte Gesellschaft – das Deutsche Internet-Institut – werden die Bedingungen und Anforderungen für gesellschaftliche Selbstbestimmung in zentralen Bereichen wie etwa selbstbestimmtes Arbeiten, digitale Souveränität, Digital Citizenship, Partizipation sowie Demokratie erforscht.

Wissenschaftskommunikation

Im Rahmen der BMBF-Wissenschaftsjahre werden Forschungsergebnisse und deren gesellschaftliche Implikationen vorgestellt und der Dialog mit der Gesellschaft gesucht. Nach dem Wissenschaftsjahr 2018 „Arbeitswelten der Zukunft“ setzte sich die Bundesregierung gemeinsam mit Bürgerinnen und Bürgern sowie Expertinnen und Experten im Jahr 2019 intensiv mit dem Thema Künstliche Intelligenz auseinander.



Zielmarke

Wir berücksichtigen zukünftig in allen Förderrichtlinien zur Digitalisierung ethische Aspekte und gesellschaftliche Fragen.



Wir fördern eine offene Wissenschaft

Wissenschaft lebt vom offenen Austausch und der Weiterentwicklung von Ideen. Forschungsergebnisse, insbesondere von öffentlich geförderter Forschung, sollen für die Wissenschaft und die breite Öffentlichkeit möglichst frei verfügbar sein. Deshalb fördern wir den unentgeltlichen Zugang zu Publikationen über das Internet im Sinne des Open Access. Dabei wirken wir insbesondere darauf hin, dass Publikationen, die bereits im Internet frei zugänglich sind, unter ein sicheres Open Access Lizenzierungsmodell gestellt werden. Die Entwicklung neuer offener Publikationsmodelle stellt insbesondere für kleine und mittlere Verlage eine Herausforderung dar. Wir unterstützen diese bei der Entwicklung von Umsetzungskonzepten.

Projekte, die den freien Zugang zu wissenschaftlichen Publikationen über das Internet unterstützen. Mit der Einführung einer Open Access-Klausel in die Projektförderung hat das BMBF im eigenen Zuständigkeitsbereich bereits einen wichtigen Schritt getan. Die Open Access-Strategie des BMBF soll unter Einbindung der Länder, der Wissenschaft und weiterer Stakeholder dynamisch zu einer Nationalen Open Access-Strategie weiterentwickelt werden.

Ausgewählte Initiativen

Open Access

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung setzt sich mit seiner Open Access-Strategie für einen freien und offenen Zugang zu wissenschaftlichen Informationen ein und fördert innovative

Zielmarke

Bis zum Jahr 2025 werden 70 Prozent aller neu erscheinenden wissenschaftlichen Publikationen in Deutschland ausschließlich oder zusätzlich im Wege des Open Access veröffentlicht.



Wir gestalten den rechtlichen Rahmen für Bildung und Forschung im digitalen Zeitalter mit

Daten, Informationen und Wissen sowie deren Weitergabe erlangen im digitalen Wandel eine immer größere Bedeutung. Bestehende rechtliche Regelungen müssen überprüft und gegebenenfalls mit Blick auf individuelle und gesellschaftliche Interessen neu ausbalanciert werden – sei es zu Fragen von Eigentum an und Verfügungsmacht über Daten, sei es zum Schutz der Persönlichkeit oder von Immaterialgüterrechten. Wir setzen uns dafür ein, dass die spezifischen Belange von Bildung und Forschung und ihrer Akteure in den nationalen, europäischen und internationalen Debatten und Gesetzgebungsverfahren berücksichtigt werden.

Wir ermöglichen Sicherheit und Datenschutz durch Technologie

Damit digitale Technologien angewendet werden, müssen sie den Anforderungen einer offenen Gesellschaft gerecht werden. Für eine breite Akzeptanz sind Sicherheit, Zuverlässigkeit und Nutzerfreundlichkeit der Technologien von entscheidender Bedeutung. Wir wollen digitale Technologien so gestalten, dass sie gegen äußere Angriffe, aber auch Fehlfunktionen und Ausfälle geschützt sind. Die Bürgerinnen und Bürger sollen ihre Datensouveränität mit Hilfe der Technologie bewahren. Wir wollen technische Lösungen für den Datenschutz schaffen, mit denen die Verfügungsmacht über die eigenen Daten und die Transparenz der Verbreitung und Verwendung der Daten gestärkt wird. Unser Ziel ist die Entwicklung sicherer Datenräume, in denen jeder Einzelne auf einfache Weise selbst über die Verwendung der eigenen Daten entscheiden kann und die zugleich neue Dienste und Geschäftsmodelle ermöglichen.

Gleichzeitig wollen wir uns für rechtliche Regelungen einsetzen, durch die Potenziale für Innovationen und Wertschöpfung ausgeschöpft werden können.

Ausgewählte Initiativen

IT-Sicherheit

Mit der Umsetzung des Forschungsrahmenprogramms der Bundesregierung zur IT-Sicherheit „Selbstbestimmt und sicher in der digitalen Welt 2015–2020“ soll die Sicherheit von IKT-Systemen verbessert und die Privatsphäre der Bürgerinnen und Bürger geschützt werden. Wir fördern daher die Entwicklung neuer innovativer Sicherheitstechnologien bspw. unter Einsatz von Künstlicher Intelligenz oder quantencomputerresistenter Verschlüsselung. Für eine zuverlässige abhör- und manipulationssichere Datenübertragung der Zukunft treiben wir zudem die Entwicklung von Schlüsselkomponenten der Quantenkommunikation voran. Mit den Kompetenzzentren für die IT-Sicherheitsforschung CISPA in Saarbrücken, CRISP in Darmstadt und KASTEL haben wir in den letzten Jahren drei international äußerst anerkannte Forschungs- und Beratungszentren geschaffen. Die Zentren werden weiter ausgebaut und ihre Förderung verstetigt.

IT-Sicherheit in der Industrie 4.0

Im Forschungsvorhaben IUNO wurden umfassende generische Modelle, Werkzeuge und Referenzimplementierungen zur Stärkung der IT-Sicherheit in der Industrie 4.0 entwickelt. Der Transfer dieser IT-Sicherheitstechnologien in die industrielle Praxis ist gegenwärtig von zentraler Bedeutung. In einer neuen Fördermaßnahme werden daher kleine und mittlere Unternehmen bei der Umsetzung von IT-Sicherheitslösungen unterstützt. Die Ergebnisse von IUNO werden dazu weiterentwickelt und in Form von anwendungsorientierten Lösungsbausteinen ausgestaltet.

Privatheit

Privatheit ist eine grundsätzliche Voraussetzung für Demokratie, Rechtsstaatlichkeit und informationelle Selbstbestimmung. Digitalisierung und umfassende globale Vernetzung stellen neue Anforderungen an den Schutz aber auch die kritische Neubestimmung von Privatheit im Spannungsfeld individueller und gesellschaftlicher Erwartungen sowie ökonomischer Chancen. Das „Forum Pri-



vatheit“ erarbeitet durch Verbindung technischer, juristischer, ökonomischer sowie geistes- und gesellschaftswissenschaftlicher Ansätze ein interdisziplinär fundiertes und zeitgemäßes Verständnis von Privatheit. Hieran anknüpfend werden Konzepte zur (Neu-)Bestimmung und Gewährleistung von informationeller Selbstbestimmung und dem Schutz des Privaten in der digitalen Welt entwickelt.

Zielmarke

Wir werden die Sicherheit und Zuverlässigkeit von Informations- und Kommunikationssystemen weiter erhöhen und Deutschland zu einem führenden Standort für vertrauenswürdige IT-Sicherheitslösungen machen. Dazu bauen wir die Kompetenzzentren für IT-Sicherheit in den nächsten Jahren weiter aus und entwickeln bis 2025 ein Pilotnetz für die Quantenkommunikation.

Leitinitiative: Vertrauenswürdige Elektronik - Made in Germany

Die Diffusion digitaler Technologien in die Breite von Wirtschaft und Gesellschaft hängt entscheidend vom Vertrauen in die Sicherheit dieser Technologien ab. Bei komplexen digitalen Systemen, wie autonomen Fahrzeugen, ist dafür ein Vertrauen in die Einzelkomponenten erforderlich. Dies betrifft nicht nur die Software, sondern auch die Hardware, insbesondere zentrale Elektronikkomponenten wie Chips. Dabei kann auch bei größtenteils in Deutschland und Europa gefertigten Systemen eine Abhängigkeit von ausländischen Anbietern bei Einzelkomponenten risikoreich sein. Um Technologiesouveränität sicherzustellen, braucht Deutschland daher Spitzenkapazitäten in der Erforschung, Entwicklung und industriellen Anwendung von Elektronikkomponenten und -systemen. Trotz der aktuell führenden Rolle Deutschlands und Europas, etwa bei integrierten Schaltkreisen und chipbasierter sicherer Authentifizierung, erfordern neue Anwendungsfelder wie autonomes Fahren, Servicerobotik, KI und Industrie 4.0 weitere Anstrengungen. Für den Erhalt und Ausbau der Wettbewerbsposition Deutschlands im europäischen Verbund ist die Ausweitung der Kompetenz im Bereich Elektronikdesign und -fertigung, bei der IT-Sicherheit cyber-physikalischer Systeme sowie die Entwicklung neuer leistungsfähiger und energiesparender Prozessor- und Sensortechnologien notwendig.

Im Rahmen des Projektes sollen Standards für den Entwurf und die Herstellung vertrauenswürdiger, sicherer Elektronikkomponenten und -systeme auf der Grundlage einer nationalen Chipsicherheitsarchitektur entwickelt und in die Anwendung gebracht werden. Dafür soll die Kompetenz deutscher Forscherinnen und Forscher in Wissenschaft und Wirtschaft im Bereich Entwurf, Analyse und Verifikation der Sicherheit von Hardware und cyber-physikalischen Systemen gestärkt werden. Dies soll in einer gemeinsamen Projektinitiative unter Einbeziehung des komplexen Ökosystems für die Herstellung moderner Elektronik gebündelt werden. Ziel ist ein eigenes unabhängiges und sicheres Chipdesign „Made in Germany“. Neben dem Aufbau von Kapazitäten für die Chipproduktion und weitere wichtige Elektronikkomponenten soll das Projekt auch die gesamte Palette an Mikroelektronik-Dienstleistungen abdecken. Um die Sicherheit der Hardwaresysteme zu garantieren, sind dabei neue Ansätze notwendig, die von der Design-Phase bis zur Zertifizierung greifen und Blackbox-Lösungen vermeiden. Auch die Entwicklung zuverlässiger Erkennungsmethoden von Fälschungen oder Manipulationen bei Bauteilen, die zum Aufbau von Systemen zugekauft werden müssen, ist ein wichtiges Element. Das Projekt kann perspektivisch zum Kern einer europäischen Initiative weiterentwickelt werden, ähnlich dem American Trusted Foundry Program.

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium
für Bildung und Forschung (BMBF)
Referat Grundsatzfragen der Digitalisierung;
Strategien für die Wissensgesellschaft; Koordinierung
10117 Berlin

Stand

April 2019

Text

Bundesministerium für Bildung und Forschung

Gestaltung

VDI/VDE-IT, Berlin

Bildnachweise

Getty Images/Rafe Swan (Titel)
BMBF/Laurence Chaperon (S. 2)
Adobe Stock/Gorodenkoff (S. 3)
Adobe Stock/goodluz (S. 4)
Adobe Stock/Ana Blazic Pavlovic (S. 5)
Adobe Stock/Tyler Olson (S. 6)
Adobe Stock/zapp2photo (S. 8)
Adobe Stock/Kzenon (S. 11)
Thinkstock/camij (S. 13)
Adobe Stock/industrieblick (S. 15)
Adobe Stock/contrastwerkstatt (S. 17)
Adobe Stock/Kzenon (S. 20)
Adobe Stock/terovesalainen (S. 25)
Adobe Stock/Kir Smyslov (S. 28)
Adobe Stock/peterschreiber.media (S. 31)
BMBF/Hans-Joachim Rickel (S. 34)
Adobe Stock/katatonina (S. 37)

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.

