Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Departement für Wirtschaft,
Bildung und Forschung WBF

**Staatssekretariat für Bildung,
Forschung und Innovation SBFI**

Herausforderungen der Digitalisierung für Bildung und Forschung in der Schweiz

Juli 2017

Zusammenfassung

Die Digitalisierung verändert Wirtschaft und Arbeitswelt rasant und hat einen wesentlichen Einfluss auf den Strukturwandel und das Wirtschaftswachstum. Kaum ein Wirtschaftssektor bleibt von diesem Wandel derzeit unberührt. Für ein ressourcenarmes Land wie die Schweiz ist es deswegen von zentraler Bedeutung, die Potenziale, die sich durch die Digitalisierung ergeben, bestmöglich zu nutzen.

Vor diesem Hintergrund hat der Bundesrat am 11. Januar 2017 den «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft» verabschiedet. Dieser nimmt innerhalb der Strategie des Bundes «Digitale Schweiz» eine systematische Auslegeordnung der anstehenden Herausforderungen in Bezug auf die Digitalisierung in wirtschaftspolitisch wichtigen Themenfeldern vor. Der Bericht gibt zudem eine allgemeine Standortbestimmung hinsichtlich der Bereiche *Bildung* sowie *Forschung und Entwicklung/Innovation* und identifiziert beide Bereiche als zentrale Erfolgsfaktoren zur erfolgreichen Bewältigung des Wandels im Zuge der zunehmenden Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft.

Gestützt auf die im «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft» skizzierte Auslegeordnung hat der Bundesrat das WBF (SBFI) damit beauftragt, die Herausforderungen der Digitalisierung für Bildung und Forschung in der Schweiz vertiefter zu untersuchen. Dabei soll unter Einbezug der Kantone einerseits geprüft werden, welche horizontalen und vertikalen systemischen Auswirkungen die Digitalisierung auf den Bildungsbereich hat und welche Konsequenzen daraus allenfalls zu ziehen sind. Hierbei ist namentlich aufzuzeigen, inwiefern die Berufsbildung (berufliche Grundbildung, höhere Berufsbildung) und die Schweizer Hochschulen (akademische Ausbildung) ihren jeweiligen Beitrag zur Ausbildung des Nachwuchses in genügender Zahl leisten können. Andererseits ist bezüglich Forschung und Entwicklung an den Hochschulen zu untersuchen, inwiefern für die Bewältigung der digitalen Transformation Forschungslücken an den Hochschulen behoben werden müssen, und ob die Zusammenarbeit unter den Disziplinen und Institutionen angepasst werden muss. Vertieft zu prüfen ist in diesem Zusammenhang, in welcher Breite Forschungskapazitäten in der Schweiz vorhanden sein müssen, um den Wissens- und Technologietransfer in die Wirtschaft und den sicheren Betrieb kritischer Infrastrukturen zu gewährleisten. Ebenfalls ist zu untersuchen, wie die etablierten Forschungs- und Innovationsförderinstrumente des Bundes unterstützend genutzt werden können.

Der vorliegende Bericht «Herausforderungen der Digitalisierung für Bildung und Forschung in der Schweiz» kommt dem Auftrag des Bundesrates nach und leitet aus den Analysen einen «Aktionsplan Digitalisierung im BFI-Bereich in den Jahren 2019 und 2020» ab – mit Aktionsfeldern und Massnahmen, welche geeignet sind, den identifizierten Schwächen der Schweiz im Hinblick auf die Herausforderungen der Digitalisierung entgegenzuwirken.

Digitalisierungstechnologien als neue Basistechnologien

Neuartig am derzeitigen Strukturwandel ist die Geschwindigkeit und Breite der Durchdringung der Technologien der Digitalisierung in verschiedenen Sektoren Dabei verändern Digitalisierungstechnologien zunehmend auch bestehende Schlüsseltechnologien in anderen Bereichen (Transversalität). Dies gilt auch für Technologien, bei welchen die Schweiz führend ist. So erlauben beispielsweise Technologien der Sensorik oder Robotik fundamental andere Einsatzmöglichkeiten in Kombination mit selbstlernenden und vernetzten Systemen. Besondere Herausforderungen der fortschreitenden Digitalisierung in der Industrie (oftmals auch Industrie 4.0 genannt) bestehen für viele Industrieunternehmen und insbesondere für KMU im Bereich moderner Fertigungstechnologien («Advanced Manufacturing»), da die Digitalisierung aller Schlüsselprozesse über die gesamte Wertschöpfungskette in Kombination zum Beispiel mit additiven Fertigungsverfahren neuartige Fertigungsprozesse von zunehmender Komplexität ermöglicht. Die Entwicklung solcher Fertigungstechnologien erfordert eine intensive trans- und interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Spezialisten verschiedener Disziplinen.

Aus der Kombination dieser Basistechnologien ergeben sich immer neue Technologiefelder, Innovationen und Geschäftsmodelle, welche wiederum neue Möglichkeiten der Kombination eröffnen. Diese Nicht-Linearität verunmöglicht eine Vorhersage, welche neuen Technologien sich in den kommenden Jahren ergeben werden und welche Relevanz ihnen in etablierten oder neuen Branchen zukommen wird. Die

Digitalisierung bringt aber nicht nur neue Technologien und neue Anwendungen mit sich. Es ist zu erwarten, dass diese auch zu Veränderungen in Gesellschaft, Wirtschaft, Recht und Politik führen werden.

Herausforderungen für Bildung, Forschung und Innovation

Bildung, Forschung und Innovation spielen eine zentrale Rolle in der Entwicklung, Anwendung und Nutzbarmachung der neuen Technologien: Die Digitalisierung verändert die auf dem Arbeitsmarkt nachgefragten Qualifikationen und erforderlichen Kompetenzprofile. Gleichzeitig entstehen vollkommen neue Berufe und Kompetenzprofile. Es wird ein zunehmender Bedarf an digitalen Skills in praktisch allen Bereichen sowie ein zunehmender Bedarf an qualifizierten IKT-Fachkräften festgestellt. Dies stellt die Bildung einerseits vor die Herausforderung, den Nachwuchs qualifizierter Fachkräfte zu sichern. Das Interesse der Kinder und Jugendlichen muss dazu bereits früh geweckt werden. Andererseits müssen auf allen Ebenen des Bildungssystems die relevanten Kompetenzen zeitnah und unter Einbezug der neuen Medien vermittelt werden. Sowohl die Bildungsinhalte wie auch das Lehren und Lernen verändern sich in zunehmender Kadenz über das ganze Bildungssystem hinweg. Dies stellt wiederum sowohl die einzelnen Bildungsangebote wie auch die Koordination zwischen den Bildungsangeboten und -stufen vor grosse Herausforderungen.

Die computergestützte Wissenschaft gewinnt von den Natur- bis zu den Geisteswissenschaften zunehmend an Bedeutung. Die Sicherung von Forschungskompetenzen hinsichtlich der Grundlagentechnologien in ihrer ganzen Breite ist daher von zentraler Bedeutung für die Bewältigung des Strukturwandels. Gleichzeitig gewinnen mit der zunehmenden Geschwindigkeit der Entwicklung neuer digitaler Technologien und deren Durchdringung von bestehenden Technologien und Branchen die interdisziplinäre Grundlagenforschung für die erfolgreiche Anwendung von Schlüsseltechnologien sowie die Geschwindigkeit des Wissens- und Technologietransfers weiter an Bedeutung. Wissenschaft und Forschung spielen allerdings nicht nur eine zentrale Rolle in der Bewältigung der Herausforderungen der Digitalisierung. Zahlreiche Wissenschaftsbereiche selbst, bzw. die Lehre und Forschung im Allgemeinen unterliegen mit der Verbreitung digitaler Technologien einer eigenen Transformation, etwa im Hinblick auf die zunehmende Bedeutung der Verfügbarkeit und Nutzungsmöglichkeiten von Daten oder bzgl. des vermehrten Einsatzes und der Weiterentwicklung digitaler Lehr- und Lernformen.

Von besonderer Relevanz sind Digitalisierungstechnologien[1] auch bei den Herausforderungen bei einer Vielzahl zentraler Politikbereiche, darunter die Bereiche Energie, Verkehr, Gesundheit oder Sicherheit. Hier bestehen nicht nur enorme Potenziale für neue Lösungsansätze, sondern auch grosse Herausforderungen in der Bewältigung der digitalen Transformation, wofür aus Sicht der zuständigen Bundesstellen und Fachämter gezielte Massnahmen zur Gewährleistung der Sicherheit, zur Sicherung von Forschungskompetenzen sowie zur Stärkung der Fachkräftequalifikation notwendig sind. Unter der Perspektive des «digitalen Wandels» stellen sich überdies auch ganz grundlegende Fragen zu den gesellschaftlichen Auswirkungen der fortschreitenden Digitalisierung, z.B. im Hinblick auf Herausforderungen in der Arbeitswelt, Verteilungs- und Bildungsfragen, Privatsphäre, Gesundheit, Sicherheit, Mobilität oder demokratische Prozesse, deren Bearbeitung eine stärker interdisziplinär orientierte Forschung erfordert.

Handlungsbedarf

Der Bericht zeigt auf, dass die Schweiz grundsätzlich eine gute Position aufweist: Das differenzierte, komplementäre und durchlässige Schweizer Bildungssystem ist eine wichtige Basis für die Bewältigung der Anforderungen der Digitalisierung und bietet gute Voraussetzungen, um die Anforderungen des Arbeitsmarktes erfüllen zu können. Die Bildungsbereiche haben im Hinblick auf die gestiegene Bedeutung der Digitalisierung bereits reagiert, wie etwa die Anpassung der sprachregionalen Lehrpläne der obligatorischen Schule oder die neuen Berufsbilder in der Berufsbildung zeigen.

[1] Darunter werden neue Technologien aus der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sowie leistungsfähigere Computer und Netzinfrastrukturen verstanden, welche die technische Grundlage der Digitalisierung darstellen (vgl. Bundesrat (2017): «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft»).

Insgesamt ist sowohl die Verfügbarkeit als auch die Qualifikation von IKT-Fachkräften in der Schweiz im internationalen Vergleich durchaus hoch. So zählt die Schweiz mit einem Anteil von fast 5% der Beschäftigten zu den Ländern mit der höchsten Dichte an IKT-Spezialisten. Dies ist neben der Zuwanderung auf die stark gestiegene Ausbildungstätigkeit in der Schweiz, insbesondere auf die Zunahme der Anzahl Abschlüsse in der Berufsbildung zurückzuführen.

Die Fachkräfte im IKT-Bereich verfügen insgesamt überdurchschnittlich oft über einen Tertiärabschluss, was nicht zuletzt auf die zugewanderten Erwerbstätigen zutrifft. Neben der höheren Berufsbildung kommt den Hochschulen für die Ausbildung dieser Fachkräfte eine wichtige Rolle zu. Sowohl die Anzahl Abschlüsse als auch die Studierendenzahlen im IKT-Bereich an den Schweizer Hochschulen haben in den letzten zehn Jahren zwar zugenommen. Im internationalen Vergleich handelt es sich aber um ein relativ schwaches Wachstum. Dabei stützt sich die Schweiz stärker auf die Ausbildung an Fachhochschulen ab, während Anteil und Entwicklung der Anzahl universitärer Abschlüsse im internationalen Vergleich unterdurchschnittlich ausfallen. Trotz der bereits hohen Verfügbarkeit von Fachkräften gibt es bei den meisten Informatikberufen nach wie vor deutliche Anzeichen für einen ungedeckten Fachkräftebedarf. Dies stellt auch aus Unternehmenssicht das mit Abstand grösste Problem für den weitergehenden Einsatz von IKT dar.

Entgegen der guten Position bei den Fachkräften, befindet sich die Schweiz beim Anteil an IKT-Anwendern im internationalen Vergleich lediglich im Mittelfeld. Diesbezüglich stellt die Digitalisierung auch den Bildungsbereich vor grosse Herausforderungen, etwa bei der Stärkung der Kompetenzen der Lehrenden und Lernenden. Die benötigten Kompetenzen müssen effektiv und effizient vermittelt und gelernt werden können. Die Analyse zeigt, dass die Ausstattung der Schulen mit digitaler Infrastruktur durchaus gut ist. Die möglichen Vorteile des Einsatzes der digitalen Hilfsmittel sollten umfassend ausgeschöpft werden. Auch bezüglich der Adaption der Bildungsinhalte an die sich wandelnden Qualifikationsanforderungen des Arbeitsmarktes besteht Handlungsbedarf. In Zukunft werden alle Bildungsangebote in schnellerer Kadenz auf die sich durch die Digitalisierung ergebenden Herausforderungen überprüft werden müssen. Der Bildungsbereich muss also systemisch flexibler auf neue Anforderungen reagieren können und seine Stärken bezüglich Durchlässigkeit und Komplementarität pflegen. Bestehende Hürden sind nach Möglichkeit abzubauen. Hier kommt der engen Koordination von Bund und Kantonen eine hohe Bedeutung zu. Die im Rahmen der Bildungszusammenarbeit von Bund und Kantonen geschaffenen Strukturen müssen dazu intensiv genutzt werden.

Auch bezüglich Forschung im Bereich Informatik weist die Schweiz zwar hinsichtlich Forschungsaktivität (gemessen an der Produktion wissenschaftlicher Publikationen) insgesamt keinen Schwerpunkt in Forschungsbereichen digitaler Technologien auf, verfügt aber gleichwohl über Forschungsleistungen von teilweise höchster Qualität (gemessen am relativen Impact der wissenschaftlichen Publikationen).

Dennoch sind auch bei der Forschung deutliche Schwächen auszumachen, namentlich im Hinblick auf jene Forschungskapazitäten, welche notwendig sind, um die Digitalisierung in ihrer ganzen Breite auf höchstem Niveau abzudecken.

So fällt die Schweiz innerhalb der IKT-bezogenen Forschungsfelder im internationalen Vergleich gerade in jenen Bereichen ab, die einen Grossteil der derzeit aufkommenden Digitalisierungstechnologien abdecken, darunter die Beschaffung, Verarbeitung, Speicherung, Verwaltung und Verbreitung von Informationen (zentrale Bestandteile von «Big Data») und den Einsatz digitaler Technologien in Produktionsprozessen und neuen Fertigungsverfahren (zentrale Aspekte des «Internets der Dinge», resp. der «Industrie 4.0»). Hier verlief die Zunahme der Forschungsleistung in der Schweiz im Vergleich mit führenden Ländern stark unterdurchschnittlich, so dass die Schweiz klar an Terrain verloren hat.

Die IKT-Forschung ist hinsichtlich der institutionellen Abdeckung in der Schweiz vergleichsweise wenig breit abgestützt: Der überwiegende Anteil der Forschung entstammt dem ETH-Bereich, welcher zudem im Vergleich mit anderen, weltweit führenden Forschungsinstitutionen bezüglich der personellen Ausstattung bzw. der Anzahl Professuren ausgesprochen geringe Forschungskapazitäten aufweist.

Auch die Patentaktivität, welche in erster Linie die Wissensbasis des Wirtschaftssektors widerspiegelt, bestätigt weitgehend dieses Bild. So ist die Schweiz in wichtigen aufkommenden Technologiefeldern der

Digitalisierung zurückgefallen und zählt nicht zu den führenden Forschungsnationen. Insbesondere bei Digitalisierungstechnologien, welche in den vergangenen zehn Jahren am stärksten an Bedeutung gewonnen haben, ist die Schweiz teilweise deutlich untervertreten.

Da nicht voraussehbar ist, welche Schlüsseltechnologien der Digitalisierung zukünftig entstehen und bedeutsam sein werden, müssen die Forschungskompetenzen – insbesondere auch im Hinblick auf die forschungsbasierte Ausbildung und den Transfer in die Wirtschaft – im Bereich der Grundlagentechnologien in ihrer ganzen Breite («Computing Science») gewährleistet werden, was eine Stärkung der IKT-bezogenen Grundlagenforschung erfordert. Mit der enormen Geschwindigkeit und Breite der Durchdringung der Digitalisierung, gewinnt die Forschungsnähe für zahlreiche Branchen weiter an Bedeutung. Die Schweizer Wirtschaft ist angesichts der grossen Abhängigkeit von F&E, Innovationen und neuen Technologien besonders darauf angewiesen, die Chancen dieser Entwicklungen zu nutzen. Weitere Optimierungen im WTT-Bereich sind vor diesem Hintergrund angezeigt.

Eine selektive Übersicht über verschiedene internationale Initiativen zur Digitalisierung zeigt schliesslich die enormen Investitionen zahlreicher Länder in diesem Bereich. Der rasante Bedeutungszuwachs der Digitalisierung für die Wirtschaft wird von einer Vielzahl an staatlichen Initiativen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen begleitet, welche schwerpunktmässig auch die Forschung, Innovation und Lehre an den Hochschulen betreffen.

Aktionsfelder und Massnahmen

Gestützt auf die Analyse werden im Bericht acht Aktionsfelder, mit entsprechenden Mass-nahmen in der (Mit-) Verantwortung des Bundes vorgeschlagen, welche geeignet sind, den identifizierten Schwächen der Schweiz im Hinblick auf die Herausforderungen der Digitalisierung entgegenzuwirken. Davon betreffen vier Aktionsfelder den Bildungsbereich (Bildung / Berufsbildung) und vier den Hochschulbereich (Forschung, Innovation und Hochschulen). Mit den Aktionsfeldern werden bereits kurzfristig angelegte Massnahmen für die Jahre 2019 und 2020 als zielführend empfohlen.

Aktionsfeld 1: Verbesserung der digitalen Kompetenzen in der Schule

Das Bildungssystem muss es den Kindern und Jugendlichen von der obligatorischen Schule bis zur Sekundarstufe II ermöglichen, sich die erforderlichen digitalen Kompetenzen anzueignen, um sich in einer zunehmend digitalisierten Gesellschaft und Arbeitswelt behaupten zu können.

Aktionsfeld 2: Nutzung der IKT beim Lehren und Lernen

Die Digitalisierung verändert den Kontext von Lehren und Lernen von Grund auf. Um vermehrt von den Vorteilen der IKT profitieren zu können, müssen gute Rahmenbedingungen in den Schulen gewährleistet werden.

- Angebote zur Stärkung der digitalen Kompetenzen und der Wissensvermittlung der Lehrpersonen und der Schulleitungen auf der Sekundarstufe II
- Sicherheit und Vertrauen im Umgang mit den Daten stärken mit der Schaffung einer Föderation von Identitätsdiensten

Aktionsfeld 3: Rasche Anpassung des Bildungssystems an die Anforderungen des Marktes

Um die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Schweiz zu gewährleisten, muss das Bildungssystem rasch auf die Entwicklung der vom Markt geforderten Kompetenzen reagieren. Dies betrifft alle Bildungsstufen.

- Weitere Stärkung der MINT-Förderung
- Stärkung und Dynamisierung der beruflichen Grundbildung und der höheren Berufsbildung
- Weiterbildung: Die Beschäftigten sind den digitalen Anforderungen der Arbeitswelt gewachsen
- Cyber-Defence: Schaffung eines Kontingents an Spezialisten für Cyber-Defence zu Gunsten der Armee und der Betreiber kritischer Infrastrukturen

Aktionsfeld 4: Koordination und Kommunikation in der Bildungszusammenarbeit

Auf allen Bildungsstufen und in allen Bildungsgängen führt die Digitalisierung zu Veränderungen, wenn auch auf unterschiedliche Arten und in vielerlei Ausprägungen. Die Strategien und Massnahmen, die auf einer Stufe getroffen werden, haben dabei Auswirkungen auf andere Stufen und damit auf das Bildungssystem als Ganzes. Umso wichtiger ist die stufenübergreifende, auf das Gesamtsystem ausgerichtete Koordination der Strategien und Massnahmen im Bildungsbereich.

- Verstärkung der systemischen Koordination und der Kommunikation im Rahmen der Bildungszusammenarbeit

Aktionsfeld 5: Stärkung der Nachwuchsqualifikation («digital skills»)

Die fortschreitende Digitalisierung stellt auch die Hochschulen selbst vor grosse Herausforderungen hinsichtlich wissenschaftlicher Informationsstrukturen, der ständigen Weiterentwicklung von Lehr- und Lernformen und Lehrinhalten sowie der Vermittlung entsprechender Anwendungskompetenzen mit digitalen Technologien («Digital Skills») in allen Fachbereichen. Es wird folgende, für die Jahre 2019 und 2020 angelegte Massnahme empfohlen:

- **Stärkung digitaler Anwendungskompetenzen in der Lehre («digital skills») im Rahmen projektgebundene Beiträge (PgB)**

  Als kurzfristig wirkende Massnahme wird swissuniversities[2] Kooperationsprojekte zwischen den Hochschulen vorschlagen, die zur Stärkung der Digital skills beitragen: Das Spektrum ist bewusst weit gefasst und kann von den Bereichen Fachdidaktik, «educational technology», Lehr- und Lernformen, curriculare Anforderungsprofile bis hin zu Massnahmen im Bereich der «digital humanities» und wissenschaftlichen Information reichen.

Aktionsfeld 6: Sicherung der interdisziplinären Forschung zu den Konsequenzen des digitalen Wandels für Wirtschaft und Gesellschaft in der Schweiz

Die Digitalisierung bringt nicht nur neue Technologien und neue Anwendungen mit sich, sie berührt und verändert auch viele weitere Aspekte unserer Gesellschaft und Wirtschaft. Verschiedenen Forschungsdisziplinen kommt bei der kritischen Analyse und der Entwicklung von Lösungen zu diesen Herausforderungen eine zentrale Rolle zu, weshalb für die Periode 2019-2023 folgende Massnahme empfohlen wird:

- **Lancierung einer interdisziplinär ausgerichteten Serie Nationaler Forschungsprogramme (NFP) «Digitaler Wandel»**

  Zur Ergründung der Auswirkungen der Digitalisierung auf Wirtschaft und Gesellschaft soll eine interdisziplinäre NFP-Serie lanciert werden, in deren Rahmen die übergeordneten Herausforderungen der Digitalisierung in ihrem Zusammenwirken systematisch und unter dem Aspekt von weiterführendem Handlungsbedarf analysiert werden.

Aktionsfeld 7: Stärkung von Kompetenzen in der Grundlagenforschung

Der Wissensgenerierung und damit der Grundlagenforschung in den Bereichen Informatik / Computing Science kommt eine zentrale Bedeutung zu. Der Kompetenzaufbau muss hierbei vor allem die transversale Funktion der Digitalisierung aufgreifen und als Grundlagenforschung über Fachgrenzen hinweg das Generieren von Wissen für neue Anwendungen ausbauen und sicherstellen. Es werden folgende, bereits für die Jahre 2019 und 2020 angelegte Massnahmen empfohlen:

- **Stärkung der kompetitiven Forschungsförderung über Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS/NCCR; 5. Serie)**
  Mit langfristig angelegten Forschungsprojekten von höchster Qualität soll die Grundlagenforschung im Bereich der Informatik/Computing Science in der erforderlichen Breite und nationalen Vernetzung gestärkt werden.

- **Kompetenzaufbau «Informatik / Computing Science» im ETH-Bereich**
  Mit einem zeitlich gestaffelten Kompetenzaufbau im ETH-Bereich mittels Schaffung zusätzlicher Professuren soll die Grundlagenforschung für die vielfältigsten Anwendungsbereiche der Digitalisierung gestärkt und diesbezüglich eine institutionelle Basis gesichert werden, welche es den beiden ETH ermöglicht, mit den weltweit führenden Referenzzentren ressourcenmässig mithalten zu können.

[2] Die Rektorenkonferenz der schweizerischen Hochschulen.

Aktionsfeld 8: Innovationsförderung: Beschleunigung des Wissenstransfers

Besondere Herausforderungen der fortschreitenden Digitalisierung in der Industrie («Industrie 4.0») bestehen für viele Industrieunternehmen und insbesondere für KMU im Bereich fortschrittlicher, stärker digitalisierter Fertigungstechnologien. Die Entwicklung solcher Fertigungstechnologien («Advanced Manufacturing») erfordert nicht nur eine intensive trans- und interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Spezialisten verschiedener Disziplinen, sondern auch eine direkte Zusammenarbeit mit der Industrie. Folgende, für die Jahre 2019 und 2020 angelegte Massnahmen werden empfohlen:

- **Lancierung eines Impulsprogramms KTI/Innosuisse «Fertigungstechnologien»**
  Ein Impulsprogramm an der Schnittstelle von Grundlagenforschung und wissenschaftsbasierter Innovation ermöglicht Projekte, in denen grössere Konsortien oder Forschungsverbünde mit interdisziplinären Teams aus Forschung und Industrie zusammenarbeiten. Damit sind in Projekten zur Entwicklung komplexer Technologien alle notwendigen Kenntnisse und Kompetenzen für einen beschleunigten WTT integral vorhanden.

- **Aufbau eines nationalen Verbunds von Technologietransferzentren für Fertigungstechnologien («Advanced Manufacturing Technology Transfer Centers»)**
  Mit der Schaffung von Technologietransferzentren soll die Lücke zwischen Forschung und industrieller Anwendung geschlossen werden. In einem Verbund von regionalen Zentren mit individuellen Schwerpunkten, die als Public-Private-Partnership (PPP) organisiert sind, können sich sowohl Hochschulen und Forschungsinstitutionen als auch Unternehmen am Aufbau und dem Betrieb von technischen Plattformen und Pilotanlagen beteiligen. Die Infrastruktur in diesen Zentren soll allen Parteien aus Forschung und Industrie in der Schweiz zugänglich sein, so dass sie sowohl für öffentlich geförderte Forschung als auch für Versuche privater Unternehmen genutzt werden können und damit einen wichtigen Beitrag für die Entwicklung und den Einsatz von fortschrittlichen Fertigungstechnologien leisten.

Betroffen sind überdies auch zentrale Politikbereiche, etwa über die Herausforderungen bei kritischen Infrastrukturen u.a. in den Bereichen Energie und Verkehr. Hierbei besteht Bedarf nicht nur bezüglich Grundlagenforschung, sondern insbesondere auch bei der beschleunigten Nutzung ihrer Ergebnisse zur Umsetzung, da bestehende Infrastrukturen nicht von Grund auf neu gestaltet werden können, sondern vielmehr im laufenden Betrieb ersetzt und ergänzt werden müssen. Dies bringt u.a. auch hohe Anforderungen an die Sicherheit (Cyber-Risiken) mit sich. Es wird hierfür die folgende, bereits für die Jahre 2019 und 2020 angelegte Massnahme empfohlen:

- **Stärkung der Fördermassnahmen von KTI/Innosuisse im Bereich der Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER)**
  Drei der acht zwischenzeitlich aufgebauten Forschungskompetenzzentren sollen mit stärkerer Fokussierung auf Digitalisierung weitergeführt werden, um das Potenzial neuer Technologien zur Bewältigung der Herausforderungen in den Bereichen Energie und Verkehr noch weiter optimiert nutzen zu können.

Inhaltsverzeichnis

1 Auftrag des Bundesrates ... 11

2 Digitalisierungstechnologien als neue Basistechnologien ... 13

2.1 Durchdringung der Wirtschaft ... 15

2.2 Durchdringung von Bildung und Wissenschaft ... 18

2.3 Bedeutung der Forschung für Wissens- und Technologietransfer ... 20

2.4 Herausforderungen für andere Politikbereiche ... 21

3 Herausforderungen im Bereich Bildung ... 23

3.1 Grosser und wachsender IKT-Fachkräftebedarf in der Schweiz ... 23

3.2 Beschleunigter Strukturwandel – Schnelle Anpassung an neue Kompetenzanforderungen und Qualifikationsprofile nötig ... 29

3.3 Lehren und Lernen an den Schulen ... 35

3.4 Handlungsbedarf im Bereich Bildung ... 38

4 Herausforderungen im Bereich Forschung & Innovation ... 41

4.1 Stärken/Schwächen im IKT-Forschungsprofil der Schweiz ... 41

4.2 Fehlende kritische Masse ... 45

4.3 Schwächen im WTT-Profil der Schweiz ... 46

4.4 Handlungsbedarf im Bereich «Forschung & Innovation» ... 50

5 Aktionsfelder und Massnahmen im Bereich Bildung ... 54

5.1 Aktionsfeld 1: Verbesserung der digitalen Kompetenzen in der Schule ... 54

5.2 Aktionsfeld 2: Nutzung der IKT beim Lehren und Lernen ... 55

5.3 Aktionsfeld 3: Rasche Anpassung des Bildungssystems an die Anforderungen des Marktes ... 59

5.4 Aktionsfeld 4: Koordination und Kommunikation in der Bildungszusammenarbeit ... 64

6 Aktionsfelder und Massnahmen im Bereich Forschung/Innovation und Hochschulen ... 66

6.1 Aktionsfeld 5: Stärkung der Nachwuchsqualifikation («digital skills») ... 67

6.2 Aktionsfeld 6: Sicherung der interdisziplinären Forschung zu den Konsequenzen des digitalen Wandels für Wirtschaft und Gesellschaft in der Schweiz ... 68

6.3 Aktionsfeld 7: Stärkung der Kompetenzen in der Grundlagenforschung (Informatik/Computing Science) ... 69

6.4 Aktionsfeld 8: Innovationsförderung: Beschleunigung des Wissenstransfers ... 71

Anhang 1: Herausforderung in weiteren Politikbereichen gemäss Eingaben der betroffenen Bundesämter ... 75

1. Bundesamt für Energie ... 75
2. Bundesamt für Kommunikation ... 77
3. Bundesamt für Raumentwicklung ... 78
4. Bundesamt für Verkehr ... 78
5. Bundesamt für wirtschaftliche Landesversorgung ... 79
6. Informatiksteuerungsorgan des Bundes ... 80
7. Bundesamt für Gesundheit ... 80
8. Bundesamt für Bevölkerungsschutz ... 81

Anhang 2: Ergänzende Analysen ... 82

1. Ergänzende Informationen zu Kapitel 2: Digitalisierungstechnologien als neue Basistechnologien ... 82
2. Ergänzende Informationen zu Kapitel 3: Herausforderungen im Bereich «Bildung» ... 84
3. Ergänzende Informationen zu Kapitel 4: Herausforderungen im Bereich «Forschung & Innovation» ... 85

Anhang 3: Ausgewählte Initiativen zum Thema Digitalisierung im Bereich Forschung, Innovation und Hochschulen ... 94

1. Initiativen in der Schweiz ... 94
2. Initiativen ausserhalb der Schweiz ... 98

1 Auftrag des Bundesrates

Die Digitalisierung verändert Wirtschaft und Arbeitswelt rasant und hat einen wesentlichen Einfluss auf den Strukturwandel und das Wirtschaftswachstum. Kaum ein Wirtschaftssektor bleibt von diesem Wandel derzeit unberührt. Gerade für ein ressourcenarmes Land wie die Schweiz wird es zunehmend wichtig sein, die Potenziale die sich durch die Digitalisierung ergeben, bestmöglich zu nutzen.

Vor diesem Hintergrund hat der Bundesrat am 11. Januar 2017 den Bericht «Rahmenbedingungen der digitalen Wirtschaft» verabschiedet. Dieser nimmt innerhalb der Strategie «Digitale Schweiz» eine systematische Auslegeordnung der anstehenden Herausforderungen in Bezug auf die Digitalisierung in wirtschaftspolitisch wichtigen Themenfeldern vor.

Gemäss Bericht liegt ein Schlüssel zur erfolgreichen Bewältigung der Herausforderungen der Digitalisierung in der Bildung und deren Anpassung an die zukünftig benötigten Kompetenzen. Im Bericht wird festgehalten, dass das differenzierte, komplementäre und durchlässige Schweizer Bildungssystem bestens geeignet ist, die Menschen auf eine erfolgreiche Bewältigung des Strukturwandels vorzubereiten und eine ideale Grundlage für eine funktionierende und innovationsfähige Wirtschaft bietet. Im Kontext der zunehmend forschungsbasierten Digitalisierung der Wirtschaft stellen sich dennoch verschiedene Fragen, beispielsweise inwiefern die Schweizer Hochschulen im Bereich der Lehre zur Lösung dieser Herausforderung beitragen können. Daneben stellen sich weitere bildungssystemische Herausforderungen, insbesondere bei der Frage, welche horizontalen Veränderungen (innerhalb einer Bildungsstufe) zielführend erscheinen und wie die vertikale Koordination unter den verschiedenen Bildungsstufen für die Bewältigung der digitalen Transformation nötig und umsetzbar ist.

Wesentliche Grundlage des digitalen Wandels sind neue Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT). Forschung und Innovation sind wichtige Voraussetzung für die Beherrschung dieser grundlegenden Technologien der Digitalisierung. Es stellt sich somit die Frage, mit welchen Herausforderungen sich auch der Forschungsstandort unmittelbar konfrontiert sieht. Zu nennen sind beispielsweise die tatsächliche und die notwendige Breite der einzelnen Fachdisziplinen, respektive die benötigten Forschungskapazitäten, die Zusammenarbeit an den Schnittstellen unterschiedlicher Disziplinen und die damit verbundenen allfälligen Auswirkungen auf das Gefüge der etablierten Forschungs- und Innovationsförderinstrumente.

Gestützt auf die im «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft» skizzierte Auslegeordnung hat der Bundesrat am 11. Januar 2017 das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) damit beauftragt, die Herausforderungen im Bildungsbereich sowie in der Forschung und Entwicklung an den Hochschulen wie folgt zu untersuchen:

(1) **Bildungssystemische Herausforderungen**:
Es ist unter Einbezug der Kantone und gegebenenfalls weiterer Partner zu prüfen, welche horizontalen und vertikalen systemischen Auswirkungen die Digitalisierung auf den Bildungsbereich hat und welche Konsequenzen daraus allenfalls zu ziehen sind. Namentlich ist aufzuzeigen, inwiefern die Berufsbildung (berufliche Grundbildung, höhere Berufsbildung) und die Schweizer Hochschulen (akademische Ausbildung) ihren jeweiligen Beitrag zur Ausbildung des Nachwuchses in genügender Zahl leisten können. Dabei ist der systemischen Koordination im Rahmen der Bildungszusammenarbeit besonderes Augenmerk zu schenken.

(2) **Herausforderungen in der Forschung und Entwicklung an den Hochschulen:**

Es ist in Zusammenarbeit mit UVEK (BAKOM, BFE, BAV, ASTRA, ARE), VBS (GS, BABS), EDI (GS) und unter Einbezug der SHK zu prüfen, inwiefern für die Bewältigung der digitalen Transformation Forschungslücken an den Hochschulen behoben werden müssen, und ob die Zusammenarbeit unter den Disziplinen und Institutionen angepasst werden muss. Namentlich ist vertieft zu prüfen, in welcher Breite Forschungskapazitäten in der Schweiz vorhanden sein müssen, um den Wissens- und Technologietransfer in die Wirtschaft und den sicheren Betrieb kritischer Infrastrukturen zu gewährleisten. Ebenfalls ist zu untersuchen, wie die etablierten Forschungs- und Innovationsförderinstrumente des Bundes unterstützend genutzt werden können.

Der vorliegende Bericht kommt dem Auftrag des Bundesrates nach und analysiert die Herausforderungen der Digitalisierung für die Bereiche Bildung sowie Forschung und Entwicklung/Innovation an den Hochschulen. Kapitel 2 stellt zunächst dar, warum die Digitalisierung eine neuartige Herausforderung im Vergleich zu früheren Erfahrungen von Strukturwandel darstellt. In Kapitel 3 und 4 werden Herausforderungen der Digitalisierung in den Bereichen «Bildung» bzw. «Forschung & Innovation» thematisiert und es wird dargelegt, inwiefern im Bildungs- und Forschungsbereich im Hinblick auf die gestiegene Bedeutung der Digitalisierung bereits reagiert wurde. Diese Kapitel legen auch dar, wie sich die Schweiz hierbei im internationalen Vergleich positioniert. Kapitel 5 und 6 leiten daraus für die Bereiche «Bildung / Berufsbildung» sowie «Forschung & Innovation» Aktionsfelder mit verschiedenen Massnahmen ab, welche geeignet sind, den identifizierten Schwächen der Schweiz im Hinblick auf die Herausforderungen der Digitalisierung entgegenzuwirken. Der Bericht enthält zudem einen Teil «Anhang», mit einer detaillierteren Übersicht zu den Herausforderungen der Digitalisierung aus Sicht anderer Politikbereiche (Anhang 1), mit weitergehenden Analysen zur Bedeutung der Digitalisierungstechnologien als Basistechnologien und zur Position der Schweiz in den Bereichen «Bildung / Berufsbildung» bzw. «Forschung & Innovation» (Anhang 2) sowie schliesslich (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) mit einer Übersicht über bereits laufende Initiativen in der Schweiz und in ausgewählten Ländern in den Bereichen «Forschung & Innovation» (Anhang 3).

2 Digitalisierungstechnologien als neue Basistechnologien

Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) verändern unseren privaten und geschäftlichen Alltag nachhaltig. Ein Leben ohne Mobiltelefon, E-Mail, digitale Agenda oder Internet ist längst undenkbar geworden und bis heute gibt es keine Anzeichen dafür, dass die rasante technologische Entwicklung der vergangenen Jahre in absehbarer Zeit abflauen wird.

Doch viel bedeutsamer als diese Konsumentensicht ist die Bedeutung der IKT als Basistechnologien. Ähnlich wie bei der Elektrizität handelt es sich bei den IKT um Querschnittstechnologien, die nach und nach nicht nur zahlreiche Lebensbereiche verändern, sondern die bereits eine Vielzahl an Branchen durchdrungen haben. Dementsprechend werden die Informations- und Kommunikationstechnologien vom Bundesrat auch als sogenannte kritische Infrastrukturen eingestuft.[3] Aktuelle Anwendungsbeispiele sind etwa die Unternehmen Uber und Airbnb, die innert kurzer Zeit zu einer bedeutenden Konkurrenz für die etablierten «klassischen» Anbieter wurden und auf Basis von Technologieplattformen auch bislang weniger dynamische Branchen einem rasanten Wandel unterworfen haben. In anderen Branchen stellen etablierte Unternehmen und Branchen zunehmend IKT ins Zentrum ihres Kerngeschäftes; dazu zählen z.B. Biotechnologie, Medizintechnologie, Maschinenindustrie, Finanztechnologie.

Das Potenzial für weitere grundlegende Veränderungen ist nach wie vor beträchtlich. Die Leistungsfähigkeit digitaler Technologien steigt rasant und erlaubt die schnelle Verarbeitung zunehmend grösserer Datenmengen. Der kostengünstige und leicht skalierbare Zugriff auf IT-Infrastrukturen in der «Cloud» senkt die Markteintrittsbarrieren für junge Unternehmen. Durch Vernetzung und personalisierte Kommunikationsgeräte werden die Zusammenführung von bisher unverbundenen Daten und die Anwendung maschinellen Lernens möglich. Und internetbasierte Technologien erlauben es, intermediäre Wirtschaftsaktivitäten fast gänzlich durch Plattformen zu ersetzen.

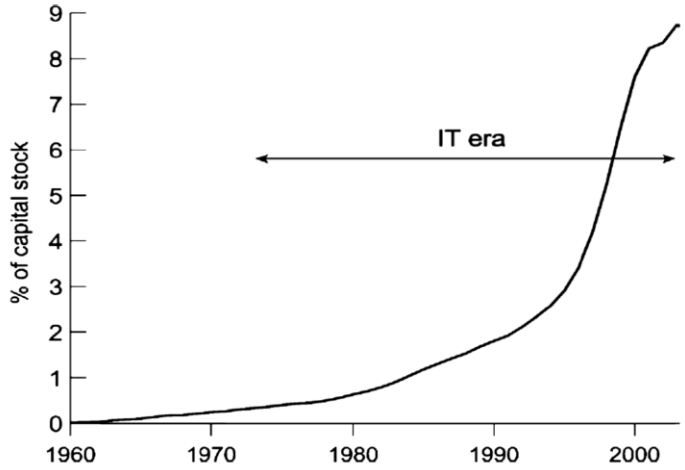
Solche Technologien, welche eine sehr hohe Produktivitätswirkung auf eine Vielzahl verschiedener Wirtschaftsbereiche aufweisen, werden als Basistechnologien[4] bezeichnet. Die ökonomische Literatur betont die hohe Bedeutung von Basistechnologien für das Wirtschaftswachstum, die Produktivität und Beschäftigungsentwicklung. Vergleicht man unter diesem Aspekt etwa die Auswirkungen der Elektrizität mit jenen der Informationstechnologien, so zeigt sich, dass die Erfindungen der Informationstechnologien einerseits radikaler und durchdringender sind, als es jene der Elektrizität waren.[5] Andererseits scheint die Diffusion von Informationstechnologien in der gesamten Wirtschaft, etwa gemessen an ihrem Anteil am Kapitalstock, nach wie vor sehr rasch zuzunehmen, so dass davon auszugehen ist, dass die Bedeutung für die Unternehmen weiterhin stark zunehmen wird (vgl. Abbildung 1).

[3] Vgl. nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen (BBl 2012 7715).

[4] General Purpose Technologies weisen vier Merkmale auf (vgl. EFI-Gutachten, 2014):
1. Sie lassen sich in einer Vielzahl von Anwendungsbereichen produktiv nutzen.
2. Preise und Leistungsmerkmale dieser Technologie werden im Zeitablauf stark verändert.
3. Sie ermöglichen Folgeinnovationen für zahlreiche Produkte, Prozesse und Geschäftsmodelle.
4. Es gibt grosse Wechselbeziehungen mit anderen, komplementären Technologien und Folgeentwicklungen.

[5] Vgl. Jovanovic/Rousseau (2005): «General Purpose Technologies, Handbook of Economic Growth», in: Aghion/Durlauf (Hrsg.), Handbook of Economic Growth, S. 1181–1224, Elsevier.

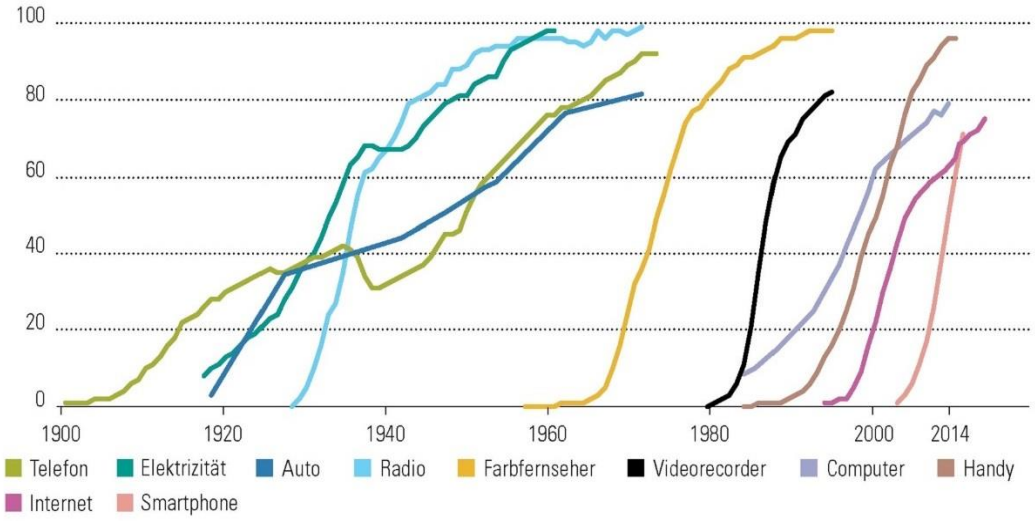
Abbildung 1: Diffusion der IK-Technologien: Anteil von Software und Computerausrüstungen am Kapitalstock in den USA (1960-2003)



Quelle: Jovanovic/Rousseau/Peter (2005)

Neu ist auch die zunehmende Geschwindigkeit, mit welcher Technologien den Markt durchdringen (vgl. Abbildung 2). Die Adoption von Basistechnologien erfolgt zudem meist in einer nicht-linearen Entwicklung, wobei sich aus der Kombination von Technologien neue Technologiefelder, Innovationen und Geschäftsmodelle ergeben. Diese Nicht-Linearität verunmöglicht es vorherzusehen, welche weiteren Möglichkeiten sich aus der Kombination und Durchdringung dieser neuen Technologien in etablierten oder neuen Branchen in den kommenden Jahren ergeben werden.

Abbildung 2: Zunehmende Beschleunigung der Technologie-Adoption (Durchdringungsrate in den USA, 1900-2014)



Quelle: Blackrock Investment Institute/NZZ

Vor diesem Hintergrund dürfte die Phase des Einsatzes und der Weiterentwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien wohl gerade erst begonnen haben. Nach wie vor verläuft die Entwicklung der Rechenkraft exponentiell; die darauf aufbauenden Innovationen könnten somit in Zukunft viel schneller erfolgen als bisher. Es ist davon auszugehen, dass damit noch sehr viel mehr möglich sein wird; allein schon deshalb, weil mit Informationstechnologien seit einigen Jahren nicht nur die

menschliche Arbeitskraft erweitert wird, sondern «Rechen- und Verbindungkapazitäten» weit über die menschlichen Kapazitäten hinaus ermöglicht wurden. Potenziell stellen die heutigen Technologien daher radikalere Innovationen dar als die bisherigen Basisinnovationen. Bereits absehbar ist, dass Algorithmen in naher Zukunft auch anspruchsvolle Analysetätigkeiten hervorbringen werden, die bislang Menschen vorbehalten waren.

2.1 Durchdringung der Wirtschaft

2.1.1 Gesamtwirtschaftliche Bedeutung

Obwohl Studien davon ausgehen, dass die Durchdringung digitaler Technologien in vielen Branchen noch am Anfang steht, ist die Bedeutung für das Wirtschaftswachstum und die Produktivitätsentwicklung bereits heute enorm. Die hohen Auswirkungen von IKT-Investitionen auf die Produktivität einzelner Branchen wie auch der Volkswirtschaften insgesamt sind durch zahlreiche neuere Studien belegt.[6] So wird insbesondere die Produktivitätssteigerung in den USA zwischen 1995 und 2005 auf die verstärkte Anwendung neuer IK-Technologien zurückgeführt. Zudem kann auch der starke Produktivitätsunterschied zwischen den USA und Europa weitgehend durch die höhere Intensität des IKT-Einsatzes in den USA erklärt werden.[7] Studien zum Einfluss von IKT belegen auch für andere Länder die starke Wirkung unterschiedlicher IKT-Nutzung auf die nationale Wettbewerbsfähigkeit. Als besonders bedeutsam ist überdies die Zunahme der Bedeutung der Digitalisierung für die Innovationsfähigkeit einzustufen. Allein die IKT-produzierenden Industrien (inkl. digitale Medien) waren 2011 für etwa ein Viertel der Ausgaben für F&E in der OECD verantwortlich.

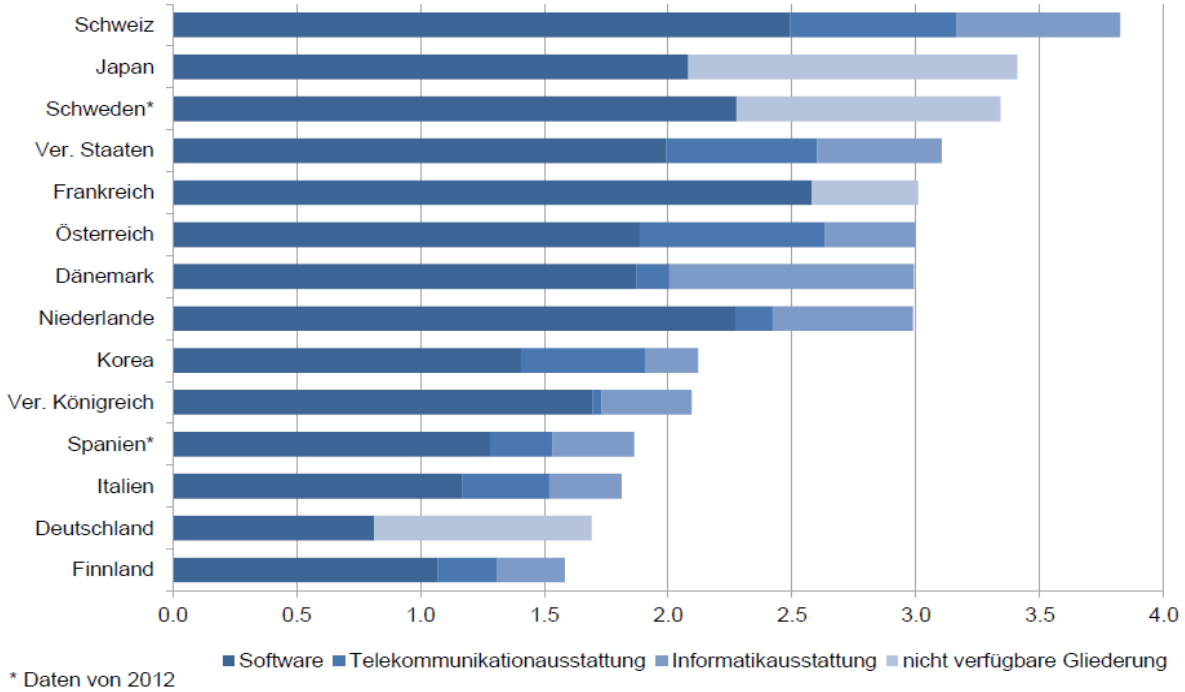
Für die Schweiz liegt bisher keine Studie zu den gesamtwirtschaftlichen Effekten der Digitalisierung vor. Allerdings belegen die im internationalen Vergleich sehr hohen Investitionen in IKT die überaus grosse Bedeutung von Digitalisierungstechnologien für die hiesige Wirtschaft (vgl. Abbildung 3). Berechnungen der OECD für die Jahre 1995 bis 2014 zeigen, dass alleine die Investitionen in IKT-Sachkapital im Mittel einen Fünftel des jährlichen BIP-Wachstums ausgemacht haben.[8]

[6] EFI-Gutachten 2014 und Literatur dort, S. 198.

[7] Für die Zeit zwischen 1995 und 2000 belegen Studien einen Beitrag von IKT zum Wachstum der gesamtwirtschaftlichen Produktivität von bis zu 42% für Europa und von 59–66% für die USA (vgl. Cardona/Kretschmer/Strobel (2013): «The Contribution of ICT to Productivity: Key Conclusions from Surveying the Empirical Literature» Information Economics and Policy, 25(3), S. 109-125).

[8] Vgl. Bundesrat (2017): «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft».

Abbildung 3: IKT-Investitionen 2013, in Prozent des BIP



Quelle: BFS/OECD (2015): «Digital Economy Outlook 2015»

Allgemein betrachtet ist bei der Entwicklung der IKT-Investitionen in der Schweiz ein Aufwärtstrend festzustellen. Insbesondere die Investitionen in Software und Datenbanken haben sich in den vergangenen 20 Jahren mehr als verdreifacht und sind von rund 6 Milliarden CHF Mitte der 1990er-Jahre auf 16 Milliarden CHF im Jahr 2014 gestiegen (vgl. Anhang 2, Abbildung B). Laut Berechnungen des Bundesamtes für Statistik BFS lag das Wachstum des IKT-Sektors seit Ende der 1990er-Jahre deutlich über jenem der Gesamtwirtschaft, wobei – trotz nach wie vor geringer Grösse des Sektors – der mittlere Wachstumsbeitrag des IKT-Sektors zum BIP für die Jahre 1998 bis 2013 mit 17% bereits nahezu bei einem Fünftel lag.

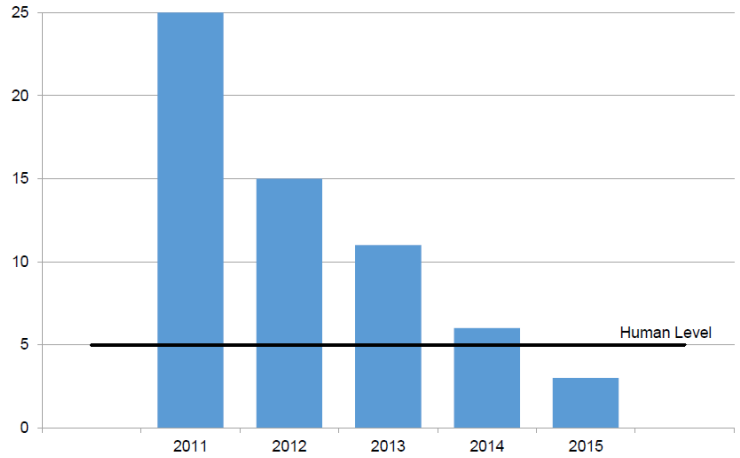
Aus verschiedenen Gründen vermögen solche Analysen und Statistiken nur einen Teil der Wachstumseffekte der Digitalisierung zu erfassen.[9] Vor allem radikale, durch die Digitalisierung ausgelöste Umbrüche innerhalb von Branchen lassen sich nur unzulänglich abbilden. Diesbezüglich war insbesondere in den Jahren seit der Finanz- und Wirtschaftskrise (etwa ab 2008) eine deutliche Beschleunigung in der Durchdringung von IKT-bezogenen Anwendungen feststellbar. Dazu zählen exemplarisch folgende Beispiele:

Aufkommen neuer, «disruptiver» Geschäftsmodelle in bislang weniger stark von technologischen Umbrüchen betroffenen Branchen: Bereits begonnen hat eine solche Entwicklung etwa im Detailhandel, mit den zunehmenden E-Commerce-Anbietern, in der Musikbranche, im Personentransport und bei Beherbergungs-Dienstleistungen («Sharing Economy»).

Insbesondere *Systeme «künstlicher Intelligenz»* erlauben erste Anwendungen, welche bislang wenig automatisierbare kognitive und komplexe Tätigkeiten automatisieren (z.B. Übersetzungen, medizinische Diagnostik, selbstfahrende Autos, vgl. Abbildung 4).

[9] Vergleiche Bundesrat (2017): «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft».

Abbildung 4: Fehlerrate der maschinellen Bilderkennung (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge)



Quelle: Economist.com / ImageNet[10]

Radikale Innovationen in bereits wertschöpfungsstarken Hochtechnologiebranchen: Die hochproduktiven High-Tech-Sektoren waren angesichts des globalen Wettbewerbs bereits in der Vergangenheit einem starken Strukturwandel ausgesetzt, dem sie in der Schweiz durch hohe Investitionen und eine Fokussierung auf wertschöpfungsintensive Tätigkeiten erfolgreich begegneten. Die zunehmende Digitalisierung hat jedoch auch in diesen erfolgreichen Branchen der Schweiz das Potenzial, den Strukturwandel weiter zu beschleunigen – mit zunehmenden Risiken, aber auch mit Chancen für die Schweiz. Beispiele für laufende Technologieentwicklungen mit Veränderungspotenzial für in der Schweiz stark präsente Branchen im Zusammenhang mit der Digitalisierung sind etwa die additiven Fertigungstechniken und die «Vernetzung der Dinge» in der Maschinenindustrie, das Aufkommen «intelligenter» Uhren in der Uhrenindustrie, Fintech-Lösungen im Bereich der Finanz- und Versicherungsdienstleistungen oder die personalisierte Medizin in der Pharmaindustrie.

2.1.2 Transversale Durchdringung bestehender Schlüsseltechnologien

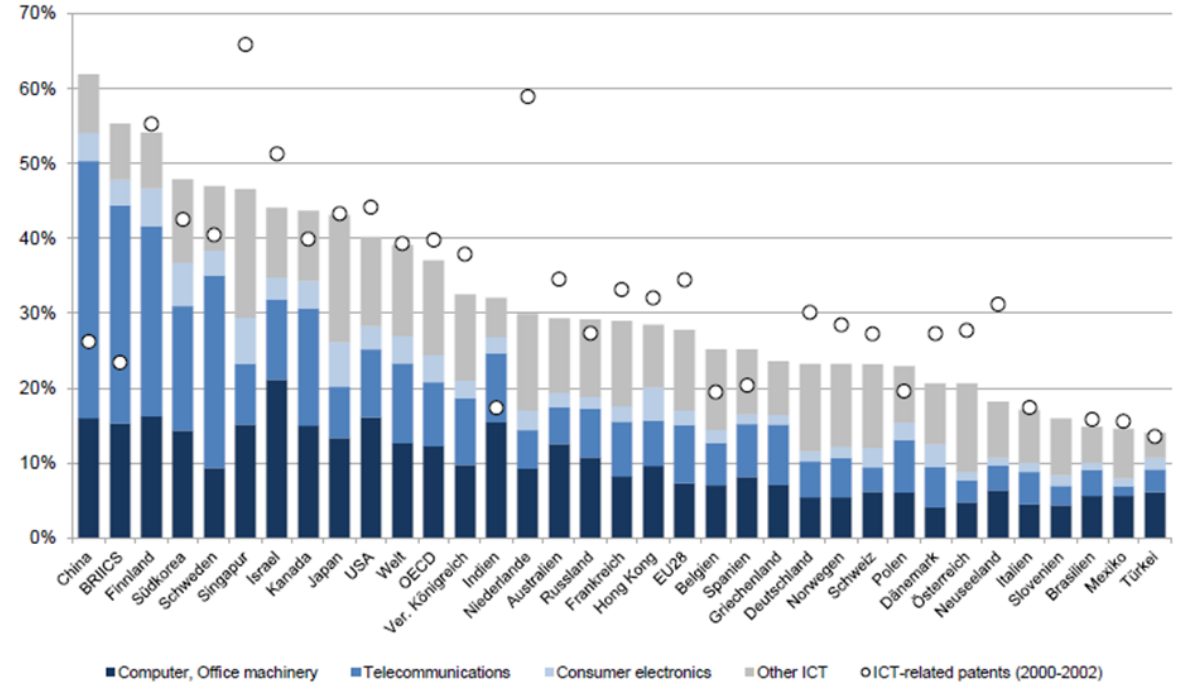
Entscheidend für die durchdringende Bedeutung digitaler Technologien ist, dass diese zunehmend die Anwendungsmöglichkeiten bestehender Schlüsseltechnologien in anderen Bereichen fundamental verändern (Transversalität). Neue technische Entwicklungen wie Cloud Computing, Mobile Computing, Big Data und Internet der Dinge ermöglichen neue Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle, die zunehmend in einer Vielzahl von Branchen zum Einsatz kommen können. Dies gilt auch für Technologien, bei welchen die Schweiz führend ist; Technologien der Sensorik oder Robotik erlauben beispielsweise fundamental andere Einsatzmöglichkeiten in der Kombination mit selbstlernenden Systemen).

Diese Transversalität zeigt sich z.B. in der Patenttätigkeit. Weltweit machen Patente in IK-Technologien bereits rund 40% aller Patentanträge aus. In den OECD-Ländern beträgt der Anteil 37%, in den BRIIC-Staaten 55% – als Ergebnis der gestiegenen Patentaktivitäten von China in diesen Bereichen (vgl. Abbildung 5).[11] Während viele neue Technologien auf Innovationen in den IKT beruhen, nimmt deren Bedeutung auch in «klassischen» Technologiebereichen zu. Das zeigt sich etwa an der steigenden Anzahl Patente in diesen Bereichen, welche zusätzlich einen Bezug zu zentralen Digitalisierungstechnologien aufweisen; die Digitalisierung wird hier teilweise zum Treiber dieser Branchen (vgl. Abbildung 6 für einige ausgewählte Kombinationen mit IKT). Gemäss der OECD sind heute denn auch 25% der IKT-Patente gleichzeitig auch einem Nicht-IKT-Bereich zuzuordnen. Durch die IKT ist der Zugang zu Erfindungen und Innovationen schneller, billiger und besser geworden. Die weit verbreitete Einführung von

[10] http://www.economist.com/news/special-report/21700756-artificial-intelligence-boom-based-old-idea-modern-twist-not
[11] OECD (2015): «Digital Economy Outlook 2015».

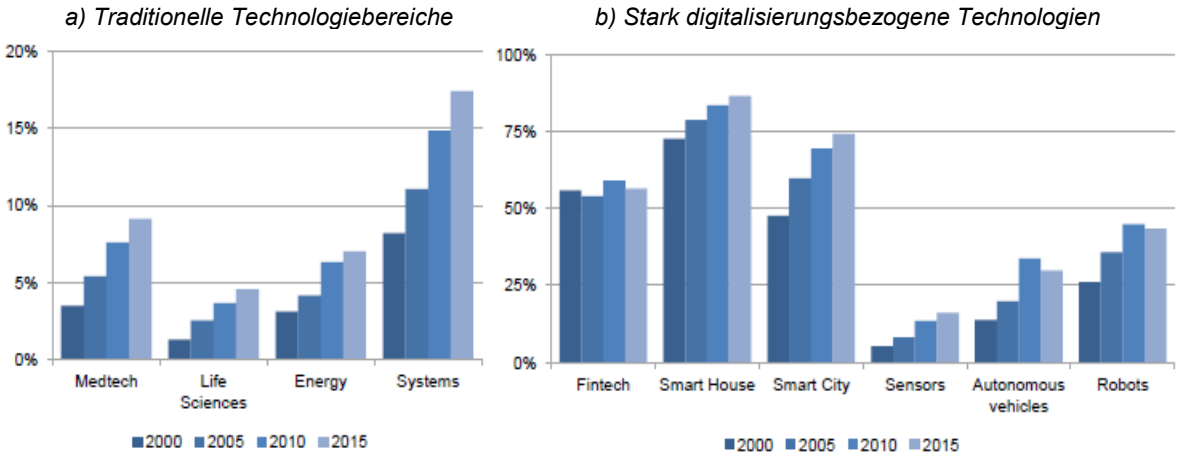
Breitbanddiensten hat den Nutzern eine Welt digitaler Inhalte erschlossen. Cloud Computing hat grosses Potenzial als Plattform für neue Dienste gezeigt und hat die IKT-Hemmnisse für KMU erheblich reduziert, sodass diese schneller und innovativer expandieren können.

Abbildung 5: Spezialisierung in IKT-bezogenen Patenten (Anteil Patentanträge mit IKT-Bezug an den gesamten Patentanträgen; Werte von 2010-2012 mit Vergleichswerten aus der Periode 2000-2002)



Quelle: OECD (2015): «Digital Economy Outlook 2015»

Abbildung 6: Digitalisierungsanteile in ausgewählten Technologien



Definition: Anteil Patente in der jeweiligen Technologie oder im jeweiligen Technologiebereich, welche zusätzlich einen Bezug zu «Digital Communication» oder «Computer Technology» aufweisen.
Quelle: BAKBASEL (2017): «Digitalisierungstechnologien in Patentaktivitäten», Studie im Auftrag des SBFI.

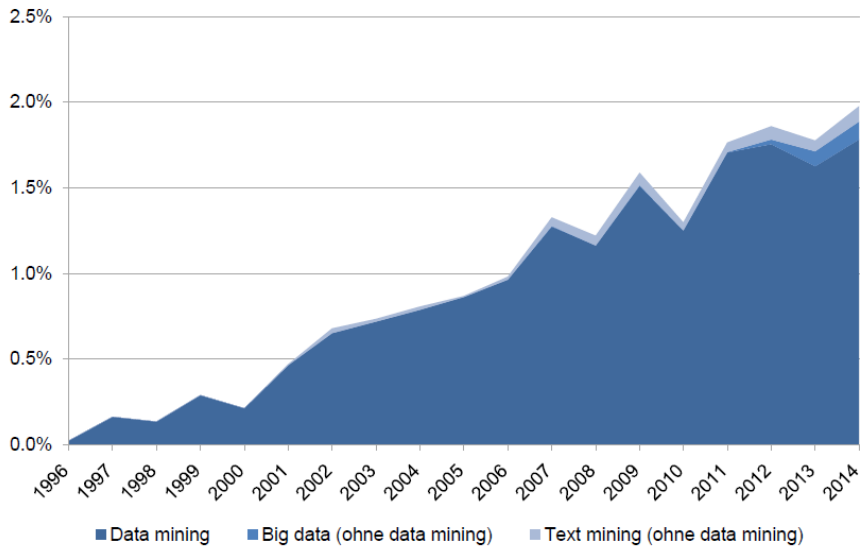
2.2 Durchdringung von Bildung und Wissenschaft

Bildung und Wissenschaft spielen eine zentrale Rolle in der Generierung von Wissen und in der Ausbildung notwendiger Kompetenzen. Die Digitalisierung verändert den Kontext des Arbeitens, des Lehrens und Lernens auf allen Bildungsstufen und in allen Bildungsangeboten. Sowohl formale Ausbildung wie auch Weiterbildung und informelle Bildung finden heute zunehmend lebenslang und vernetzt statt. In

persönlicher, gesellschaftlicher und auch beruflicher Hinsicht fordern sie den fortwährenden Erwerb und die ständige Verbesserung von Wissen, Qualifikationen und Kompetenzen. Dabei ist von einer zunehmenden Vernetzung auszugehen, weil durch mobile und ubiquitäre Technologien Daten, Informationen und Medien allgegenwärtig verfügbar sind und sich dadurch die traditionelle räumliche und zeitliche Begrenzung der Wissensaneignung auf das Schulhaus, den Unterricht, eine Bildungseinrichtung oder die Arbeitsstelle auflöst. Die neuen Technologien stellen eine grosse Herausforderung für die Bildungsanbieter dar, eröffnen aber zugleich neue Möglichkeiten in Bezug auf die Art und Weise der Wissensvermittlung und auf den Zugang zu Bildung. Traditionelle Formen des Lehrens und Lernens, der Lehrmittel wie auch die bisherigen Lernorte werden dadurch keineswegs grundsätzlich in Frage gestellt; zentrale Dimensionen der Wissensvermittlung und des Wissenserwerbs werden jedoch deutlich erweitert. Diese neue Situation definiert den Lernprozess neu und verändert die Rollen der Lehrenden, der Schülerinnen und Schüler sowie der Studierenden.

Zahlreiche Wissenschaften unterliegen angesichts der Digitalisierung auch einer eigenen Transformation.[12] Neue Technologien ermöglichen neue Methoden der Forschung, und die empirischen Wissenschaften generieren und verarbeiten zunehmend grössere Daten, was neue Instrumente und Qualifikationen benötigt (siehe Abbildung 7, vgl. auch OECD STI Outlook 2016).

Abbildung 7: Zunehmende Bedeutung der datengestützten Forschung (Anteil wissenschaftlicher Artikel mit Bezug zu «Data mining»)



Quelle: OECD (2014): «Measuring the Digital Economy: A New Perspective».

Die Digitalisierung wird zur Weiterentwicklung bestehender Technologiefelder, zur Entstehung gänzlich neuer Technologien und voraussichtlich auch zu ganz neuartigen Verknüpfungen führen. Die Beherrschung dieser im weitesten Sinne als «Cybertechnologien» bezeichneten Themen setzt nach Einschätzung zahlreicher Experten im In- und Ausland einerseits teils neue, teils andere Grundlagenforschung als zentrales impulsgebendes Element voraus. Andererseits durchdringt die Computerwissenschaft damit zunehmend auch andere Wissenschaftsgebiete (Transversalität). Dabei wird die zunehmend computergestützte Wissenschaft eine neue Art von Forschung generieren, von den Natur- bis zu den Geisteswissenschaften. Die Digitalisierung verändert vor diesem Hintergrund auch innerhalb der Wissenschaft die Profile der Forschenden, Lehrenden und Absolventinnen und Absolventen in nahezu allen Fachbereichen (Nachwuchsqualifikation), wobei der Vermittlung von mit der Entwicklung von digitalen Technologien verbundenen Anwendungskompetenzen («digital skills») eine zentrale Bedeutung zukommt.

[12] Vgl. Bundesrat (2017): «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft».

Die fortschreitende Digitalisierung stellt schliesslich auch ganz neue Herausforderungen an die Verbreitung und Verarbeitung wissenschaftlicher Daten und an die wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen (z.B. Archive, Bibliotheken, Publikations- und Forschungsdatenbanken). Die Entwicklungen in der Informationstechnologie haben den Austausch von Wissen revolutioniert und neue Lösungen für die Verbreitung und die Verarbeitung wissenschaftlicher Daten ermöglicht. Forschende rund um den Globus sind heute miteinander vernetzt, Daten und Forschungsresultate sind im Prinzip weltweit verfügbar und häufig leicht zugänglich. Kostspielige Lizenzen für elektronische Zeitschriften und Lizenzbestimmungen können diese Verfügbarkeit von Inhalten spürbar einschränken.

2.3 Bedeutung der Forschung für Wissens- und Technologietransfer

Zentrale Herausforderung für den Wissens- und Technologietransfer (WTT) stellen die zunehmende Transversalität und Geschwindigkeit der Entwicklung von Technologien und Kompetenzen dar, insbesondere im Hinblick auf die steigende Bedeutung von Daten für die Wirtschaft wie auch für die Wissenschaften. Einerseits befinden sich die Datenwissenschaften an der Schnittstelle mehrerer akademischer Fachgebiete – wie Datenmanagement und Ingenieurwissenschaften, Statistik, maschinelles Lernen, Algorithmen, Datenoptimierung und -visualisierung –, wobei sich auch grosse Herausforderungen stellen. Zum Beispiel müssen Datenanbieter, Informatiker und Wissenschaftler aus den verschiedenen Disziplinen eine gemeinsame Sprache finden, um aus den digitalen Datenbergen relevante Erkenntnisse zu gewinnen. Andererseits steigt für Unternehmen aufgrund der mit der Digitalisierung einhergehenden ausgeweiteten Möglichkeiten der Kombination von Technologien die Notwendigkeit, interdisziplinäres Wissen einzusetzen.

Für zahlreiche Branchen der Schweizer Wirtschaft stellen die Digitalisierungstechnologien neue Wertschöpfungspotenziale dar. Dies gilt nicht nur für Branchen, die sich derzeit mit disruptiven Geschäftsmodellen konfrontiert sehen, sondern, wie einleitend beschrieben, zu-nehmend auch für die wertschöpfungsstarken und die Hightech-Branchen der Schweiz (Banken, Pharma, Uhren, Medtech usw.). Der Einsatz von digitalen Technologien ermöglicht etwa neue Geschäftsprozesse, wie beispielsweise durchgängige und kundenorientierte Wert-schöpfungsketten, bei denen der Kunde das Produkt selbst konfiguriert oder mitgestaltet und alle Schritte von der Herstellung bis Lieferung mit Hilfe des Internets der Dinge online verfolgen kann. Digitale Technologien durchdringen zudem die verarbeitende Industrie durch den stärkeren Einsatz von Robotik und industrieller Automation und sorgen für eine Steigerung der Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

Darüber hinaus bieten die neuen Möglichkeiten der Digitalisierung aber auch für die Fertigungstechnologien selbst ein grosses Potenzial und können ihre Leistungsfähigkeit steigern. So ermöglicht bspw. die Digitalisierung der Produktion in Kombination mit additiven Fertigungsverfahren neuartige Fertigungsprozesse, in welchen eine Materialumwandlung oder sogar eine Materialsynthese erfolgt. Mit dieser Technologie werden nicht nur neue Geometrien, sondern auch neue Materialien möglich. Das Beispiel der additiven Fertigung zeigt, dass mit einer solchen digitalen Drucktechnologie kundenindividuelle Fertigung möglich wird, dass aber gleichzeitig die Beherrschung dieser Fertigungstechnologie komplexer und das Qualitätsmanagement entsprechend anspruchsvoller werden. Aber nicht nur die additive Fertigung, sondern auch andere fortschrittliche Fertigungstechnologien sind gekennzeichnet durch eine stärkere Integration der einzelnen Schritte im Fertigungsprozess und einer höheren Integrationsdichte der Fertigungsschritte. Die Beherrschung solche Fertigungstechnologien mit hoher Integrationsdichte ist nur mit digitalen Technologien möglich, z.B. mit Sensoren zur Datenerfassung im Prozess, mit Werkzeugen zur Analyse und Visualisierung der Prozessdaten oder mit selbstlernenden Maschinen, die den Prozess kontinuierlich steuern und gleichzeitig den Verschleiss von Werkzeugen überwachen. Die Entwicklung solcher digitaler Fertigungstechnologien erfordert dabei eine intensive trans- und interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Spezialisten verschiedener Disziplinen.

Schliesslich zeigen die Einschätzungen der für verschiedene Politikbereiche zuständigen Bundesämter (siehe nachfolgenden Abschnitt 2.4), dass insbesondere hinsichtlich der neuartigen Möglichkeiten zur

Ausgestaltung von kritischen Infrastrukturen und der Gewährleistung von deren Sicherheit sowie generell bezüglich der Sicherheit von Daten grosser Handlungsbedarf besteht. Dabei ist zu berücksichtigen, dass auch der Bereich Forschung und Lehre als kritische Infrastruktur eingestuft wird[13] und sich dieser Handlungsbedarf (insbesondere in Bezug auf Cyber-Risiken) demensprechend auch auf die Forschung und Lehre selbst erstreckt.[14] Für nahezu sämtliche Infrastrukturen bieten Digitalisierungstechnologien die Chance zu grundlegend neuartigen Strukturen. Besonderes Potenzial besteht dabei vor allem für die Energie- und Verkehrsinfrastrukturen. Hierbei muss der Fokus jedoch neben der Grundlagenforschung direkt auf den Wissenstransfer gerichtet werden, da bestehende Infrastrukturen nicht von Grund auf neu gestaltet werden können, sondern vielmehr im laufenden Betrieb ersetzt und ergänzt werden müssen.

2.4 Herausforderungen für andere Politikbereiche

Die Digitalisierung bringt nicht nur neue Technologien und neue Anwendungen mit sich. Es ist zu erwarten, dass diese auch zu Veränderungen in Gesellschaft, Wirtschaft, Recht und Politik führen werden. Aus volkswirtschaftlicher Sicht hat die Digitalisierung die Reorganisation ganzer Wertschöpfungsketten zur Folge und trägt zur Entstehung neuer Beschäftigungs- und Erwerbsformen bei.[15] Dies wiederum stellt, wie im vorliegenden Bericht noch ausgeführt wird, das (Berufs-)Bildungssystem und die Forschungslandschaft Schweiz vor neue Herausforderungen. Beispielhaft für die durch die Digitalisierung hervorgerufenen Veränderungen stehen aber auch die individualisierte Gesundheitsversorgung, die sich wandelnden Mobilitätsformen oder die gestiegene Bedeutung der Privatsphäre und der (elektronischen) Sicherheit.

Gemäss dem «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft» besteht bei den technologischen Entwicklungen im Zusammenhang mit der Digitalisierung insbesondere auch ein enger Bezug zum Betrieb, zur Kontrolle und zur Sicherheit kritischer Infrastrukturen, sowohl auf regionaler wie auch auf nationaler Ebene. Damit sind in erster Linie die Versorgungslinien (Strom, Elektrizität, Wasser, Abwasser, Wärme, usw.) und Kommunikationsinfrastrukturen (Breitbandleitungen, Glasfasernetze) jeder modernen Gesellschaft gemeint. Aber auch bei den Verkehrswegen (Strassen, Schienen, Luftfahrt) oder bei multinationalen datengestützten Systemen (z.B. die Satellitennavigation) können und werden technologisch getriebene Veränderungen anstehen. Gleichzeitig stellen sich vielfältige und teils gänzlich neue rechtliche Fragen (insbesondere auf dem Gebiet der entsprechend anzupassenden Regulierungen, aber beispielsweise auch sehr prominent bei Fragen der Haftung).

Neben Entwicklungen, welche die Sicherheit der Infrastrukturen tangieren, besteht eine weitere wesentliche Herausforderung im Zusammenhang mit der Sicherheit von Informationen. Gerade der Schutz von persönlichen Daten wird zunehmend komplexer, da immer mehr Geräte und Anwendungen Daten generieren. Dabei steigt tendenziell auch die Bedeutung privater Anbieter.

Gemäss Beurteilung von in anderen Politikbereichen zuständigen Bundesstellen / Fachämter (vgl.Tabelle 1) haben Digitalisierungstechnologien grundlegende Bedeutung für neue Lösungsansätze.[16] Dabei werden nicht nur die enormen Potenziale, sondern auch die Herausforderungen in der Bewältigung der digitalen Transformation betont.

---

[13] Vgl. nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen (BBl 2012 7715).

[14] Im Rahmen der nationale Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen sowie der nationalen Cyber-Risiko-Strategie wurden für alle 28 Teilsektoren der kritischen Infrastrukturen – und dementsprechend auch für den Bereich Forschung und Lehre – Risiko- und Verwundbarkeitsanalysen durchgeführt und Massnahmen zur Stärkung der Resilienz erarbeitet. Der Fokus lag dabei insbesondere auf Cyber-Risiken und -Verwundbarkeiten.

[15] Vgl. Bundesrat (2017): «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft». Im November 2017 wird der Bundesrat im Rahmen der Beantwortung des Postulats: «Automatisierung: Chancen und Risiken» von NR Reynard (15.3854) ferner einen umfassenden Bericht zu Grundsatzfragen im Arbeitsmarkt vorlegen und dort insbesondere die Themen Beschäftigungsauswirkungen auf Branchenebene, Auswirkungen auf die Sozialversicherungen, Herausforderungen für den Gesundheitsschutz und auch Weiterentwicklung der Sozialpartnerschaft analysieren.

[16] Siehe Anhang 1 für detaillierte Beschreibungen der Herausforderungen nach Politikbereichen.

Tabelle 1: Tabellarische Darstellung ausgewählter Herausforderungen in Bezug auf Technologiefelder nach Politikbereichen (Zusammenstellung WBF auf Basis der Rückmeldung verschiedener Bundesämter)

Zentrale Herausforderungen	**Energie (BFE)**	**Telekom (BAKOM)**	**Raumplanung (ARE)**	**Verkehr (BAV)**	**Kritische Infrastrukturen (BABS, BWL)**	**Cyber-Security (VBS/ ISB)**	**eHealth (EDI/ BAG)**
Cyber-Security	+	+		+	+	+	+
Steuerungssysteme	+	+	+	+	+	+	
Big Data	+	+	+	+			+
Smart Grids	+	+	+	+	+	+	
Internet der Dinge/Sensorik	+	+		+			+
Cloud (Computing / Daten)		+				+	+
Digitale Mobilitätskonzepte	+		+	+			
Robotik, autonome Transportmittel	+		+	+		+	

Trotz der gewichtigen Implikationen sind die zentralen Herausforderungen bislang nur in Ansätzen abzuschätzen. Bei der Analyse dieser sowie weiterer zentraler gesellschaftlicher Herausforderungen (neue Beschäftigungsformen, Entwicklung der Beschäftigung, Kultur, demokratische Prozesse) und bei der Entwicklung von entsprechenden Lösungen müssen die Hochschulen aus Sicht der zuständigen Fachämter einen wichtigen Beitrag leisten. Dafür sind verstärkte und gezielt zu fördernde Anstrengungen im Bereich der interdisziplinären Forschung notwendig. Im Hinblick auf den BFI-Bereich sehen die Bundesämter schwergewichtig die Stärkung der Fachkräftequalifikation, den Aufbau von Forschungskompetenzen, teilweise auch die Entwicklung neuartiger Architekturen und Prozesse sowie eine bessere Koordination der Förderung des WTT als zielführende Massnahmen für die Bewältigung der Herausforderungen der Digitalisierung. Dem BFI-Bereich wird in diesem Zusammenhang entsprechend eine zentrale Rolle auch für andere Politikbereiche beigemessen.

Eine wichtige Rolle in der Bewältigung politischer Herausforderungen der Digitalisierung kommt auch der Ressortforschung des Bundes zu. In den Forschungskonzepten 2017-2020 für die 11 Politikbereiche wird die Digitalisierung weitgehend als Herausforderung angesehen (Soziale Sicherheit, Land- und Ernährungswirtschaft, Energie, Sicherheits- und Friedenspolitik, Berufsbildungsforschung, nachhaltiger Verkehr). Grössere Themenschwerpunkte zur Digitalisierung werden allerdings bislang nur in zwei Forschungskonzepten gesetzt. Dies ist auf den Charakter der Ressortforschung zurückzuführen, welche Ergebnisse liefern muss, die im unmittelbaren Interesse der Ämter liegen und damit direkt zum Vollzug und zu Fragen der Politikentwicklung der jeweiligen Ämter beitragen. Für Grundlagenforschung, wozu zahlreiche Themen mit Bezug zur Digitalisierung nach wie vor zuzurechnen sind, ist die Ressortforschung daher ein wenig geeignetes Instrument.

3 Herausforderungen im Bereich Bildung

Die Bildungsangebote und -stufen haben im Hinblick auf die gestiegene Bedeutung der Digitalisierung bereits reagiert und die Schweiz weist grundsätzlich eine gute Position auf: Die Fachkräfteverfügbarkeit ist dank Zunahme der Anzahl Abschlüsse im Bereich der Berufsbildung wie auch im Hochschulbereich gestiegen. Das differenzierte, komplementäre und durchlässige Schweizer Bildungssystem ist eine wichtige Basis für die Bewältigung der Anforderungen der Digitalisierung und bietet gute Voraussetzungen, um die Anforderungen des Arbeitsmarktes erfüllen zu können. Insbesondere die Festlegung der Bildungsinhalte in der Berufsbildung durch die Wirtschaft wie auch die Hochschulautonomie sind wichtige Treiber des erfolgreichen Schweizer Bildungssystems.

Die Durchdringung und die Anforderungen von Wirtschaft und Gesellschaft stellen die Bildung aus verschiedensten Blickwinkeln heraus vor grosse Herausforderungen. Die Bildung leistet einen wichtigen Beitrag zur langfristigen Sicherung des ausgewiesenen IKT-Fachkräftebedarfs. Hier dürfen die Anstrengungen nicht nachlassen (Kapitel 3.1). Gleichzeitig haben die Akteure der Bildung aber auch die Verantwortung immer wieder zu reflektieren, welche Bildungsinhalte und Kompetenzen den Menschen eine nachhaltige Beteiligung am wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Leben ermöglichen (Kapitel 3.2). Die Kompetenzen der Lehrenden müssen so gestärkt werden, dass sie diese Inhalte auch adäquat vermitteln (Kapitel 3.3). Schliesslich haben die für das föderale Bildungssystem Verantwortlichen die Verpflichtung, ihre Aktivitäten zu koordinieren und ihre Strategien und Massnahmen im Sinne des Ganzen abzustimmen. Abschliessend wird der sich aus der Analyse heraus ergebenden Handlungsbedarf nochmals in aller Kürze zusammengefasst (Kapitel 3.4).

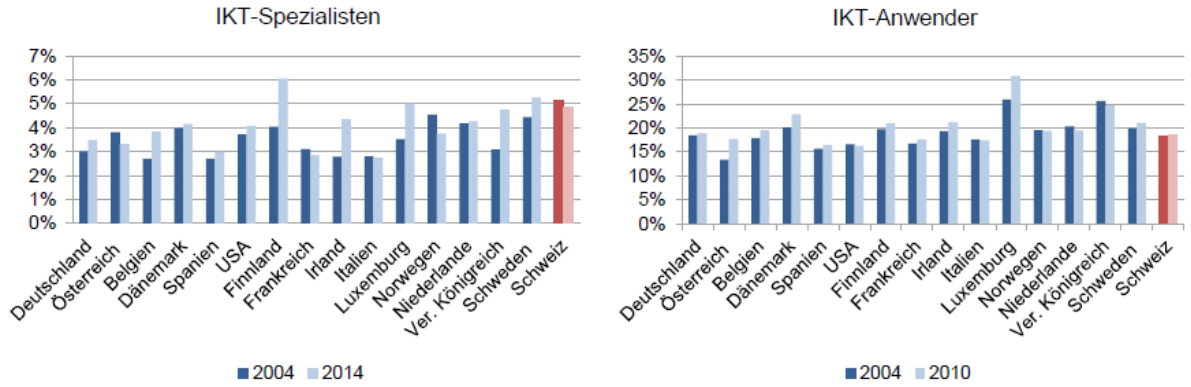
3.1 Grosser und wachsender IKT-Fachkräftebedarf in der Schweiz

3.1.1 Verfügbarkeit und Bildungsniveau

Insgesamt ist sowohl die Verfügbarkeit als auch die Qualifikation von IKT-Fachkräften in der Schweiz im internationalen Vergleich sehr hoch (vgl. Abbildung 8). Trotz leichtem Rückgang seit 2004 gehört die Schweiz mit einem Anteil von fast 5% der Beschäftigten zu den Ländern mit der höchsten Dichte an IKT-Spezialisten. Lediglich im Mittelfeld befindet sich die Schweiz dagegen beim Anteil an IKT-Anwendern.[17]

[17] Es wird zwischen drei Kategorien von IKT-Kompetenzen unterschieden:
1) IKT-Spezialisten, die die Fähigkeit besitzen, IKT-Systeme zu entwickeln, zu bedienen und zu warten. In ihrer Arbeit befassen sie sich in erster Linie mit IKT-Aufgaben.
2) Fortgeschrittene IKT-Anwender: Kompetente Anwender von elaborierter, oft sektorspezifischer Software. IKT sind ein Werkzeug und nicht der zentrale Bereich ihrer beruflichen Tätigkeit.
3) IKT-Anwender mit Grundkenntnissen: Kompetente Anwender von gewöhnlicher Software (z.B. Microsoft Word, Excel, Outlook, PowerPoint), die der Anwender für das Leben in der Informationsgesellschaft, für E-Government sowie für die Arbeit benutzt. Auch hier gilt, IKT sind ein Werkzeug und nicht der zentrale Bereich der beruflichen Tätigkeit.

Abbildung 8: Anteil der IKT-Fachkräfte und IKT-Anwender an der Beschäftigung im internationalen Vergleich



Quelle: BFS

Abbildung 9 zeigt, dass der hohe Anteil von IKT-Spezialisten an der Gesamtbeschäftigung in der Schweiz in erster Linie auf einen starken Anstieg der Ausbildungskapazitäten bei den Berufsbildungsabschlüssen (EFZ: Eidgenössisches Fähigkeitszeugnis) seit Ende der 1990er-Jahre zurückzuführen ist. Informatikerinnen und Informatiker verfügen allerdings im gesamtwirtschaftlichen Vergleich über eine überaus hohe Bildungsqualifizierung.[18] Dies lässt sich unter anderem an der überdurchschnittlichen Quote an Tertiärabschlüssen ablesen (61% versus 37% im Schweizerischen Durchschnitt). Ein wesentlicher Anteil der IKT-Abschlüsse auf Tertiärstufe wird zu etwa gleichen Teilen in der höheren Berufsbildung und an den Fachhochschulen erworben. Insbesondere zwischen 2000 (223) und 2005 (893) hat sich die Anzahl Abschlüsse (Bachelor und Master) an den Fachhochschulen deutlich erhöht. Seit 2005 war eine weitere Steigerung um rund 30% auf knapp 1‘200 Abschlüsse zu beobachten.

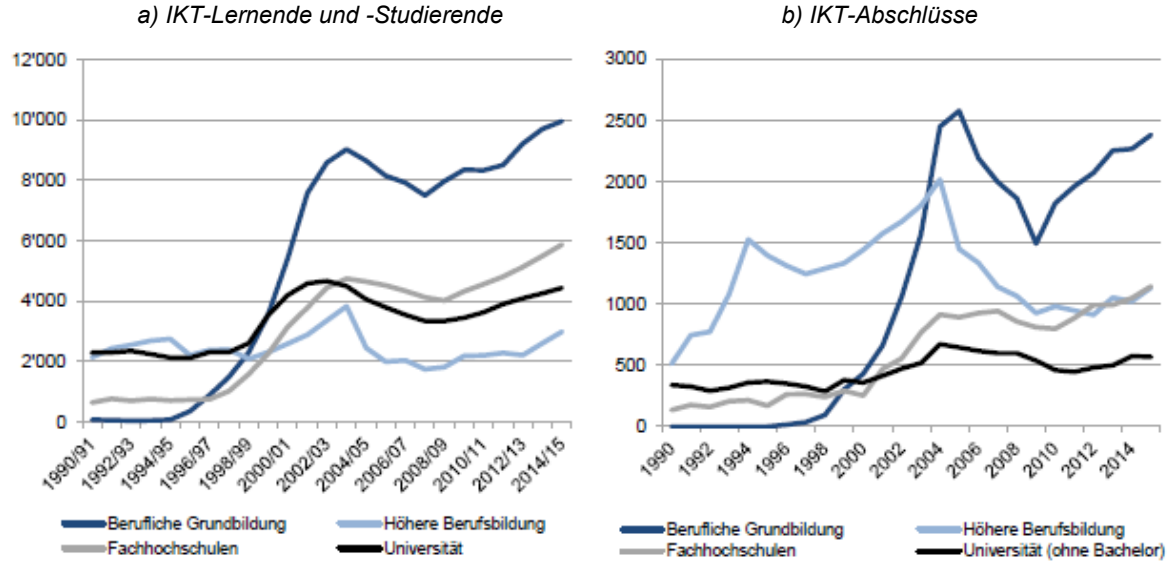
Auch an den Universitäten hat die Anzahl Abschlüsse[19] im Bereich IKT seit Ende der 1990er- bis Mitte der 2000er-Jahre zugenommen, allerdings deutlich weniger als an den Fachhochschulen (vgl. Abbildung 9, sowie Anhang 2, Tabelle A). Nach einem zwischenzeitlichen Rückgang steigen die Abschlusszahlen seit 2010 zwar tendenziell wieder an, die Werte von 2004 wurden bislang jedoch nicht wieder erreicht.

Angesichts der in den letzten Jahren steigenden Anzahl Studierenden in den IKT-Fächern – sowohl an den Fachhochschulen als auch an den universitären Hochschulen – ist für die nächsten Jahre mit einer weiteren Erhöhung der Anzahl Abschlüsse zu rechnen. Zwischen 2010 und 2015 verzeichneten die MINT-Fächer unter Berücksichtigung aller Hochschulen bei den Studieneintritten einen Zuwachs von 14%. Zum Vergleich: In den Nicht-MINT-Fächern sind die Eintritte im selben Zeitraum um lediglich 5% gestiegen. In den IKT-Fachrichtungen hat die Anzahl Studierender an den Fachhochschulen und den universitären Hochschulen im selben Zeitraum um rund 25% zugenommen. Auch hier wurde an den Universitäten das Niveau, welches Anfangs der 2000er-Jahre verzeichnet wurde, bislang jedoch noch nicht wieder erreicht. (vgl. Abbildung 9 sowie Anhang 2, Tabelle A).

[18] SECO (2016): «Fachkräftemangel in der Schweiz - Indikatorensystem zur Beurteilung der Fachkräftenachfrage».

[19] Berücksichtigt sind Abschlüsse auf Stufen Master bzw. Lizenziat und Doktorat.

Abbildung 9: IKT-Lernende und -Studierende und IKT-Abschlüsse[20] in der Schweiz nach Ausbildungstyp, Entwicklung 1990-2014.



Quelle: BFS

Gemäss einer Analyse des SECO haben zwei Drittel der Beschäftigten, die einen Informatikberuf ausüben, eine Ausbildung in einem anderem Berufsfeld absolviert.[21] Viele davon verfügen über einen Abschluss aus einem verwandten technischen Berufsfeld (z.B. Ingenieurberufe), aber auch Absolventen aus den Berufen der Sozial-, Geistes- oder Naturwissenschaften arbeiten häufig als IKT-Fachkräfte. Dies zeigt, dass eine zu enge Betrachtung des Fachkräftepools auf IKT-Abschlüsse der Hochschulen zu kurz greift und gerade die Transversalität der Kompetenzanforderungen eine hohe Bedeutung besitzt.

International ist diese Entwicklung nur schwer zu vergleichen, da die meisten Länder kein derart umfassendes Berufsbildungs- und Fachhochschulsystem wie jenes in der Schweiz kennen und entsprechende Daten nur spärlich verfügbar sind. Gerade die hohe Anzahl und die Bedeutung der Abschlüsse der höheren Berufsbildung werden in internationalen Vergleichen oft nicht adäquat abgebildet, respektive unterschätzt. Viele Abschlüsse in den MINT-Bereichen sind jedoch in der internationalen ISCED-Klassifikation mindestens auf der gleichen Stufe wie akademische Bachelor-Abschlüsse eingereiht. Hinzu kommt, dass insbesondere die höchsten Qualifikationen (Tertiärabschlüsse) nur schwer vergleichbar sind, weil diese in Ländern mit hohen Anteilen von Universitätsabschlüssen hinsichtlich Qualität schwer interpretierbar sind. Näherungsweise lassen sich die universitären Abschlüsse allerdings über eine Betrachtung der Master- und Doktoratsabschlüsse international vergleichen,[22] da diese – im Gegensatz zur gesamten Tertiärstufe – in erster Linie von den Universitäten stammen.

Daten der OECD zu den universitären Abschlüssen im Bereich «Computing»[23] zeigen, dass die meisten Länder seit 2005 die Anzahl der Masterabschlüsse deutlich erhöhen konnten (vgl. Abbildung 10); in der Regel betrug die Zunahme zwischen 10% und 20%. Deutlich höher war die Zunahme in Dänemark, den USA und Korea. In der Schweiz kann erst seit 2011 wieder eine – relativ schwache – Zunahme festgestellt werden In der Entwicklung seit 2010 zählt die Schweiz zusammen mit Frankreich, Israel und Korea zu den Ländern mit dem geringsten Wachstum an universitären Abschlüssen (wobei nur Korea eine Abnahme in diesem Zeitraum verzeichnete).

---

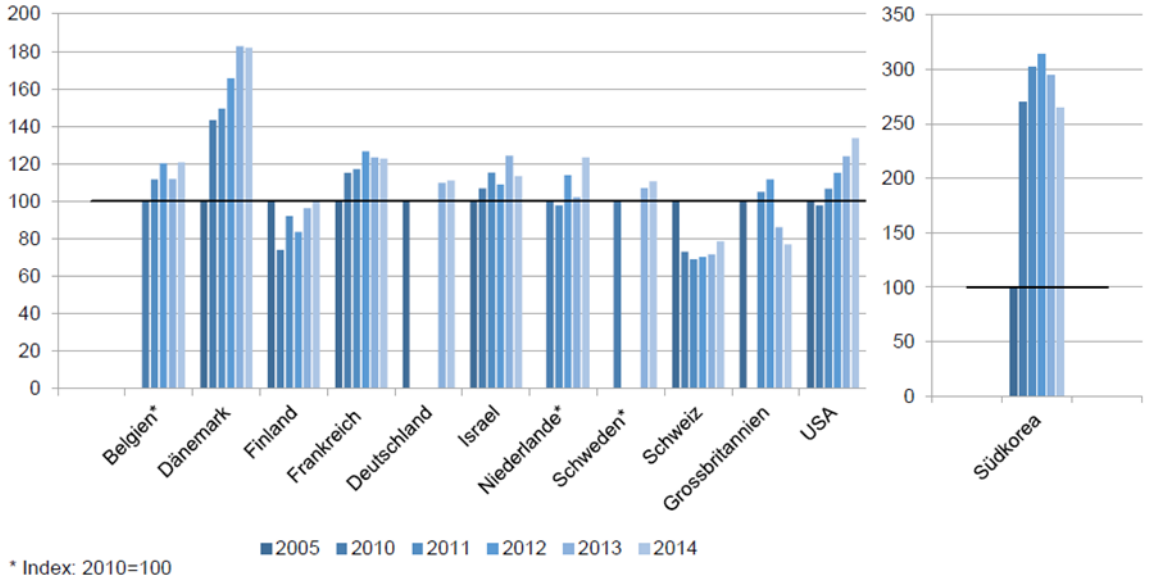
[20] Die Abschlusszahlen für die UH beinhalten MA und Promotionen, aber keine BA-Abschlüsse.

[21] SECO (2016): «Fachkräftemangel in der Schweiz - Indikatorensystem zur Beurteilung der Fachkräftenachfrage».

[22] International Standard Classification of Education, Kategorien 6 und 7.

[23] Das ISCED-Bildungsfeld F48 «Computing» umfasst Kategorien der Softwareentwicklung: Systemdesign, Computerprogrammierung, Datenverarbeitung, Netzwerke, Betriebssysteme.

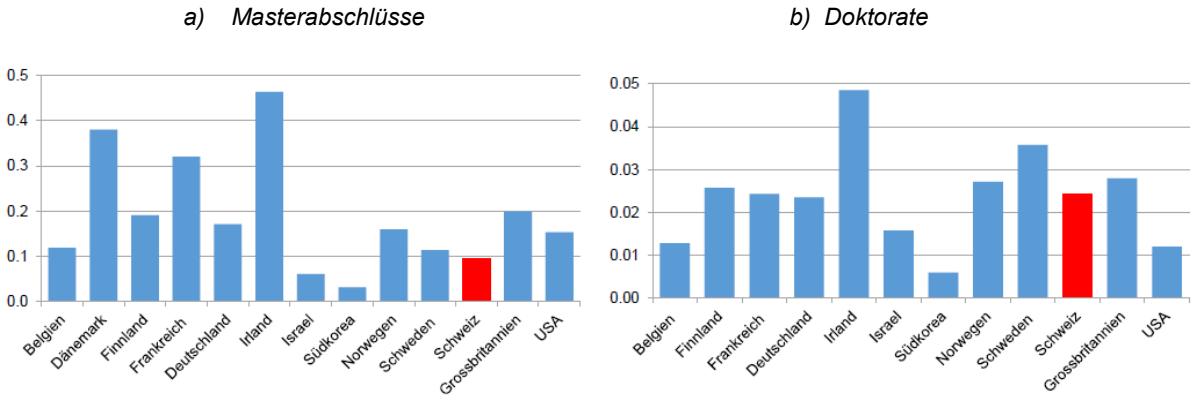
Abbildung 10: Masterabschlüsse im Bereich «Computing» im internationalen Vergleich (Index: 2005=100, markiert durch die schwarze Linie)



Quelle: OECD

Auch im Niveau der Anzahl Masterabschlüsse (gemessen an der Grösse der Erwerbsbevölkerung) befindet sich die Schweiz lediglich im hinteren Drittel der betrachteten Ländergruppe. Der Abstand zu den Ländern der Spitzengruppe ist dabei beträchtlich, wie anhand von Abbildung 11 ersichtlich wird.Besser steht die Schweiz bei den Informatik-Doktoratsabschlüssen da, wobei sie sich hier sowohl bezüglich des Niveaus, als auch im Hinblick auf die Entwicklung im oberen Mittelfeld befindet (Abbildung 11 und Abbildung 12). Verstärkt wird dieser Aspekt durch das im internationalen Vergleich hohe Niveau der Schweizer universitären Hochschulen, insbesondere der beiden ETH. Betrachtet man die Entwicklung der IKT-Promotionen, so haben sich diese seit Beginn der Jahrtausendwende in etwa verdreifacht, wobei ein Grossteil dieses Anstiegs auf ausländische Doktorierende zurückzuführen ist (vgl. Anhang 2, Abbildung D).[24]

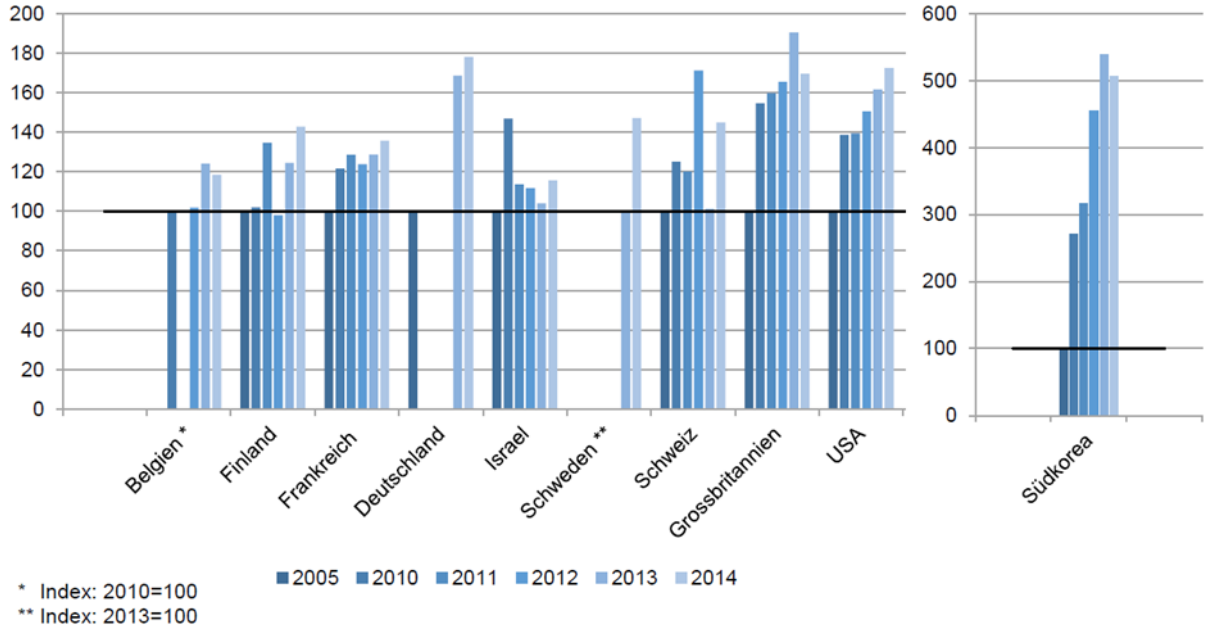
Abbildung 11: Masterabschlüsse 2014 im Bereich «Computing» pro tausend Arbeitskräfte (Erwerbsbevölkerung)



Quelle: Berechnungen SBFI auf Basis von OECD (Abschlüsse) und den World Development Indicators (Erwerbsbevölkerung) der Weltbank.

[24] Ein hoher Anteil ausländischer Doktorierender ist jedoch nicht IKT-spezifisch; der Anteil ausländischer Doktorierender – die überwiegend aus benachbarten europäischen Ländern stammen – beträgt im ETH-Bereich insgesamt rund 70%. Internationalität ist ein wichtiges Merkmal von internationalen Spitzenuniversitäten, welche im globalen Wettbewerb um die besten Talente konkurrieren. Nach Erlangung des Doktorats tragen die Doktorierenden zudem zum Wissenstransfer von den Hochschulen in die Wirtschaft bei und leisten damit entscheidende Beiträge zur Innovation, Wettbewerbsfähigkeit und zur Wertschöpfung in der Schweiz.

Abbildung 12: Promotionen im Bereich «Computing» im internationalen Vergleich (Index: 2005=100)



Quelle: OECD

3.1.2 Weiterhin steigender IKT-Fachkräftebedarf

Neben der gestiegenen Verfügbarkeit von höherqualifizierten Inländern wurde in den vergangenen Jahren der IKT-Fachkräftebedarf wesentlich mit zugewanderten Erwerbstätigen gedeckt. Die Zuwanderungsquote lag mit 14.2% über dem gesamtwirtschaftlichen Durchschnittswert von 10.5% in den letzten 10 Jahren. Zur Deckung des Bedarfs an Informatikerinnen und Informatikern wurde also leicht häufiger auf ausländische Fachkräfte zurückgegriffen als in allen übrigen Berufen. Ausserdem ist der Anteil der Grenzgängerinnen und Grenzgänger bei den Informatikberufen überdurchschnittlich hoch. Mit einem Tertiäranteil von 57% sind vor allem die im Rahmen der Personenfreizügigkeit zugewanderten Arbeitskräfte insgesamt ausgesprochen gut qualifiziert, was insbesondere auch für die IKT-Fachkräfte gilt.[25]

Insgesamt kann bei den Informatikberufen gemäss Indikatorensystem zur Beurteilung der Fachkräftenachfrage des SECO[26] ein ausgeprägter Fachkräftebedarf beobachtet werden. Der Gesamtindex für Fachkräftebedarf liegt im Quervergleich mit den übrigen Berufen im obersten Drittel. Bei den meisten Informatikberufen gibt es deutliche Anzeichen für einen ungedeckten Fachkräftebedarf. Dafür könnte auch sprechen, dass trotz der Zunahme der im Inland generierten Fachkräfteverfügbarkeit und der Zuwanderung die Beschäftigung seit dem Jahr 2000 mit +11% bei den Informatikberufen leicht weniger stark zugenommen hat als dies über alle Berufe hinweg der Fall war (+14%). Abgesehen von den Informatikoperateuren weisen sämtliche Informatikberufe Anzeichen für einen Fachkräftemangel auf. Bei Informatikberufen liegt die Arbeitslosenquote mit insgesamt 2.6% unter dem gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt von 3.2%. Die Arbeitslosigkeit ist in sämtlichen Informatikberufen unterdurchschnittlich – am tiefsten liegt sie jedoch mit 1.3% bei den am wenigsten qualifizierten Informatikoperateurinnen und Informatikoperateuren. Die Quote der offenen Stellen liegt mit insgesamt 6.8% weit über dem gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt von 2.1%. Allerdings unterscheiden sich die einzelnen Informatikberufe stark: Die Quote der offenen Stellen variiert zwischen 0.2% bei den Informatikoperateurinnen und Informatikoperateuren und 24.5% bei den Programmiererinnen und Programmierern.

---

[25] SECO (2016): «12. Bericht des Observatoriums zum Freizügigkeitsabkommen Schweiz-EU: Auswirkungen der Personenfreizügigkeit auf den Schweizer Arbeitsmarkt».

[26] SECO (2016): «Fachkräftemangel in der Schweiz - Indikatorensystem zur Beurteilung der Fachkräftenachfrage».

Gemäss einer Firmenbefragung der KOF[27] ist das mit Abstand grösste Problem für den Einsatz von IKT in Unternehmen die Fachkräfteverfügbarkeit; rund 30% der befragten Firmen bezeichneten dies als Hemmnis.

Das Potenzial für eine zusätzliche Mobilisierung von Fachkräften ist beschränkt. Personen, die einen Informatikberuf gelernt haben, sind bereits öfter erwerbsaktiv als der gesamtwirtschaftliche Durchschnitt. Das Arbeitsvolumen ist vor allem bei den Frauen bereits deutlich über dem gesamtschweizerischen Durchschnitt, da Frauen, die einen Informatikberuf gelernt haben, deutlich seltener Teilzeit arbeiten als Frauen mit anderen Bildungsabschlüssen.

Angesichts der sich weiter beschleunigenden digitalen Transformation, der anhaltend hohen Investitionen der Unternehmen in IKT (v.a. in Software), aber auch wegen des laufenden Strukturwandels und des erwarteten Wirtschaftswachstums sowie aus demografischen Gründen (Pensionierungen, Abwanderung von im Ausland geborenen Fachkräften, Fachkräftebedarf im Ausland, namentlich auch im EU-Raum) ist zu erwarten, dass sich der aktuelle Fachkräftemangel in den nächsten zehn Jahren weiter verschärfen wird. Das Ausmass des zukünftigen Mangels ist dabei allerdings umstritten.[28] Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass das Bildungssystem auf die Veränderung der Nachfrage reagieren wird. Die Entwicklung ist jedoch weiter zu beobachten. Im November 2017 wird der Bundesrat im Rahmen der Beantwortung des Postulats: «Automatisierung: Chancen und Risiken» von NR Reynard (15.3854) einen umfassenden Bericht zu Grundsatzfragen im Arbeitsmarkt vorlegen und dort insbesondere die Themen Beschäftigungsauswirkungen auf Branchenebene, Auswirkungen auf die Sozialversicherungen, Herausforderungen für den Gesundheitsschutz und auch Weiterentwicklung der Sozialpartnerschaft analysieren.

3.1.3 Steigende Bedeutung der MINT-Förderung auf allen Bildungsstufen

Vor dem Hintergrund des hohen und noch wachsenden Fachkräftebedarfs und dem beschränkten Mobilisierungspotenzial von Fachkräften dürfen die Anstrengungen bei der MINT-Förderung im Bildungssystem nicht nachlassen. Im Rahmen der BFI-Botschaft 2017-2020 werden deshalb über alle Bildungsstufen hinweg die Massnahmen zur Stärkung der MINT-Kompetenzen weitergeführt. Zu den gemeinsamen bildungspolitischen Zielen[29] von Bund und Kantonen zählt die Verbesserung der Berufs- und Studienwahl insbesondere im MINT-Bereich. Dafür sind insgesamt rund 140 Millionen Franken vorgesehen. Diese Massnahmen respektieren die verfassungsmässigen Zuständigkeiten im Bildungsraum Schweiz und werden bei Bedarf eng mit kantonalen Stellen abgestimmt. Die Massnahmen zeigen überdies, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, Wirkung: zwischen 2010 und 2015 stiegen die Studieneintritte in den MINT-Fächern um 14% überdurchschnittlich stark an[30]

Vor allem eine frühzeitige Förderung des Interesses der Kinder am MINT-Bereich erzielt eine besonders nachhaltige Wirkung. So gibt es deutliche Hinweise, dass bereits die Wahl des gymnasialen Schwerpunkts die spätere Studienwahl beeinflusst.[31] Der Bund fördert deshalb früh ansetzende MINT-Initiativen im ausserschulischen Bereich. Diese wirksamen Massnahmen sollten intensiviert werden. Begleitend kommt einer MINT-Fächer und -Berufe unterstützenden Berufsberatung eine Schlüsselfunktion zu. Es ist zu vermuten, dass so etwa das an der Volksschule oder an Gymnasien vorhandene Potenzial interessierter Schülerinnen und Schüler noch besser ausgeschöpft werden kann.

---

[27] Vgl. Bundesrat (2017): «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft».

[28] Vgl. zum Beispiel Econlab (2014): «ICT-Fachkräftesituation. Bedarfsprognose 2022. Schlussbericht» ICT-Berufsbildung Schweiz: «Monitoring zur eEconomy Schweiz» im Auftrag des SECO»;Europäische Kommission (2016): «A New Skills Agenda for Europe – Working together to strengthen human capital, employability and competitiveness».

[29] http://www.edudoc.ch/static/web/aktuell/medienmitt/erklaerung_18052015_d.pdf

[30] BFS (2017): «Studierende und Abschlüsse der Hochschulen in den MINT-Fächern».

[31] SKBF (2014): «Bildungsbericht Schweiz 2014».

3.2 Beschleunigter Strukturwandel – Schnelle Anpassung an neue Kompetenzanforderungen und Qualifikationsprofile nötig

3.2.1 IKT-Kenntnisse und Querschnittskompetenzen unverzichtbar

Phasen von besonders tiefgreifenden technologischen Umwälzungen waren stets von der Befürchtung begleitet, dass Maschinen die menschliche Arbeit ersetzen würden. Ähnliche Bedenken bestehen auch aktuell. Die Wirtschaftsgeschichte zeigt jedoch, dass technologische Umbrüche längerfristig in der Summe jeweils zu einem gesamtwirtschaftlichen Beschäftigungswachstum geführt haben. Dabei haben sich die Arbeitsstellen in neue Bereiche verlagert. Somit hat der technologische Fortschritt bisher stets zur Entstehung neuer Produkte, Branchen und Berufe beigetragen. Aktuell ist dies auch im IKT-Bereich ersichtlich. So sind 2013 22% aller neu geschaffenen Arbeitsplätze in der OECD auf den IKT-Sektor entfallen.

Heute ist nicht abschliessend einzuschätzen, wie die digitalen Technologien den Arbeitsmarkt langfristig beeinflussen.[32] Gesichert scheinen allerdings die folgenden Entwicklungen:

1. Durch die Digitalisierung werden nicht nur einzelne Unternehmen, sondern ganze Wertschöpfungsketten verändert.
2. Während bisherige technologische Revolutionen primär auf den Ersatz von manueller Arbeitskraft ausgerichtet waren, können vermehrt auch kognitive und komplexe Tätigkeiten von IT-Systemen übernommen werden.
3. Durch das zunehmende Automatisierungspotenzial – vor allem von Routinetätigkeiten – werden gemäss verschiedenen Studien vor allem tiefqualifizierte Tätigkeiten unter Druck geraten.
4. Die Digitalisierung verändert die auf dem Arbeitsmarkt nachgefragten Tätigkeitsprofile und damit auch die Qualifikationsanforderungen der Beschäftigten. Es wird ein zunehmender Bedarf an Kompetenzen im Umgang mit IKT in praktisch allen Bereichen sowie ein zunehmender Bedarf an qualifizierten IKT-Fachkräften festgestellt. Entsprechend werden Bildungsmassnahmen zur Höherqualifizierung der Beschäftigten an Bedeutung gewinnen (sog. Upskilling)[33].

Um einen länger andauernden Qualifikationsmismatch zu verhindern, ist es zentral, dass die richtigen Qualifikationen auf dem Arbeitsmarkt vorhanden sind. Der technologische Fortschritt kann sich nur dann positiv auf die Beschäftigung auswirken, wenn sich das Arbeitskräfteangebot den Bedürfnissen auf dem Arbeitsmarkt ausreichend anzupassen vermag. Je schneller sich die Kompetenzen der Arbeitnehmer der Nachfrage anpassen, desto besser kann der Strukturwandel bewältigt werden.

Die durch die Digitalisierung ausgelösten Veränderungen von erforderlichen Fähigkeiten und Qualifikationen («Skills») dürften jedoch sehr vielfältig ausfallen. Der zunehmende Einsatz digitaler Technologien am Arbeitsplatz erhöht gemäss Analysen der OECD[34] die Nachfrage nach neuen Fertigkeiten auf drei Ebenen:

- **IKT-Fachkenntnisse**: Die Herstellung von IKT-Produkten und -Dienstleistungen (etwa Software, Webseiten, E-Commerce, Cloud und Big-Data-Anwendungen) erfordert Fachkenntnisse,

[32] Vgl. Bundesrat (2017) «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft» für eine ausführliche Diskussion.

[33] Arntz/Gregory/Zierahn (2016): «The risk of automation for jobs in OECD Countries: A comparative analysis», OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189, Vergleiche auch Bundesrat (2017): «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft».

[34] OECD (2017): «Key Issues For Digital Transformation in the G-20».

um Programme und Anwendungen zu entwickeln und Netzwerke zu verwalten. Diese Fähigkeiten gelten als zentral, da in den kommenden Jahren ein stetiges Wachstum der Nachfrage nach IKT-Fachleuten in nahezu allen Bereichen erwartet wird.[35]

- **Generische IKT-Kenntnisse**: Die Beschäftigten in allen Berufsfeldern müssen zunehmend generische IKT-Kenntnisse erwerben, um solche Technologien in ihrer täglichen Arbeit nutzen zu können (z.B. bei der Nutzung von Software).
- **Querschnittskompetenzen**: Durch die Nutzung von IKT wird in verschiedenen Bereichen die Art und Weise verändert, wie Arbeit durchgeführt wird. Beispielsweise wird die zunehmende Menge und Frequenz der Verfügbarkeit von Informationen einen ganz anderen Umgang mit diesen Daten erfordern. Zu diesen IKT-komplementären Fähigkeiten zählt die OECD auch die Fähigkeit, komplexe Informationen zu verarbeiten, in vielfältiger Weise zu kommunizieren, Probleme zu lösen, im Voraus zu planen und schnell zu reagieren. Die Querschnittskompetenzen spielen eine besonders wichtige Rolle, da aus heutiger Perspektive schwer abzuschätzen ist, wie die Digitalisierung bestehende Tätigkeiten durchdringen wird und welche IT-Fähigkeiten in der Zukunft gefragt sein werden.

Gemäss einer Erhebung der OECD[36] werden bessere Problemlösekompetenzen im Kontext neuer Technologien (IKT) durch eine höhere Wahrscheinlichkeit der Erwerbstätigkeit belohnt. Zudem erhalten Personen, die IK-Technologien im beruflichen Umfeld öfter nutzen, ein höheres Gehalt als solche, die im IKT-Bereich weniger kompetent sind oder solche Technologien weniger häufig einsetzen. Erwachsene ohne IKT-Erfahrung sind hinsichtlich ihrer beruflichen Aussichten und ihres Gehalts deutlich benachteiligt. Dies bestätigt, dass die digitalen Kompetenzen in der modernen Wirtschaft einer Grundkompetenz entsprechen.[37] Die gleiche Erhebung zeigt zudem, dass die Kombination von besseren IKT-Kompetenzen (die auch ausserhalb des Bildungssystem erworben werden können) und einem tieferen formell anerkannten Bildungsniveau häufig vorteilhafter ist als ein höheres formell anerkanntes Bildungsniveau kombiniert mit geringeren IKT-Kompetenzen. Anders ausgedrückt wird ein tieferes formell anerkanntes Bildungsniveau auf dem Arbeitsmarkt oft vollständig durch IKT-Kompetenzen kompensiert.[38]

Für die Schweiz gibt es noch relativ wenig gesicherte Evidenz zur Veränderungen von Kompetenzanforderungen. Neuere Erhebungen weisen darauf hin, dass vor allem das Zusammenspiel von technischen, mathematischen und IKT-Kompetenzen mit anderen, eher transversalen Kompetenzen wichtig ist. Zum einen sind neben unverzichtbar zu stärkenden IKT-Kompetenzen Grundkompetenzen wie Leseverständnis, Sprechen, kritisches Denken und aktives Lernen unverzichtbare Grundlage für die Aneignung ergänzender Kompetenzen. Zu den Fähigkeiten und Qualifikationen, die in Zukunft an Bedeutung gewinnen dürften und die insbesondere an den Hochschulen vermittelt werden, zählen auch die kritische Auseinandersetzung («digital literacy») und der Umgang mit digitaler Technologie sowie Fähigkeiten der Datenanalytik und der Informationsverarbeitung im interdisziplinären und administrativen Bereich. Weiter werden Kreativität beim Entscheiden und Problemlösen sowie soziale Intelligenz eine noch grössere Bedeutung erlangen. Beschäftigungen mit ausgeprägten mathematischen Kompetenzen in Kombination mit ausgeprägten sozialen Kompetenzen sind in der Schweiz deutlich gestiegen und

---

[35] Gemäss LinkedIn, einem sozialen Netzwerk zur Pflege von Geschäftskontakten, kommen die derzeit gefragtesten Kompetenzen fast alle aus dem IKT -Bereich. Zu den besonders gefragten Fertigkeiten zählen beispielsweise die statistische Analyse, Data Engineering oder Software Modeling. Vgl. Bundesrat (2017) «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft».

[36] «Évaluation des compétences des adultes»: Erhebung im Rahmen des OECD-Programms zur internationalen Evaluation der Kompetenzen von Erwachsenen (PIAAC), mit dem die Schlüsselkompetenzen von 16- bis 65-jährigen Personen in den drei grossen Bereichen Lesen, Alltagsmathematik und Problemlösen im Kontext neuer Technologien untersucht werden.

[37] OECD (2015): *«Les compétences numériques: un investissement vraiment rentable?»*.

[38] Lane/Conlon (2016): «The impact of literacy, numeracy and computer skills on earnings and employment outcomes».

dürften weiterhin stark zunehmen. Ein anderes Bild stellt sich bei den Beschäftigungen, die zwar mathematische, aber keine hohen sozialen Kompetenzen erfordern. Sie stagnieren oder dürften leicht zunehmen.

Unbestritten scheint, dass Erwerbstätige die digitalen Technologien verstärkt und komplementär zu anderen Kompetenzen an ihrem Arbeitsplatz einsetzen werden. Entsprechend werden diese auch verstärkt auf dem Arbeitsmarkt nachgefragt. Ein Schlüssel zur erfolgreichen Bewältigung der Herausforderungen auf dem Arbeitsmarkt liegt deshalb in der Aus- und Weiterbildung und der Anpassung von deren Inhalte an die künftig benötigten Kompetenzen.

3.2.2 Alle Bildungsstufen müssen ihren Beitrag leisten

Die Vermittlung digitaler Kompetenzen auf allen Bildungsstufen spielt eine entscheidende Rolle. Die Herausforderung besteht darin, dass die Kinder, die Jugendlichen und Erwachsenen IKT-Kompetenzen und Querschnittkompetenzen erwerben, um erfolgreich am wirtschaftlichen, sozialen, politischen und kulturellen Leben teilhaben zu können. Auf allen Bildungsstufen und in allen Bildungsgängen des formalen Bildungssystems hat diese Entwicklung bereits eingesetzt und wird sich noch verstärken. Nachfolgend werden die Auswirkungen und Herausforderungen der neuen Kompetenzanforderungen pro Bildungsangebot im Überblick dargestellt.

Obligatorische Schule

Gemäss Artikel 62 Absatz 1 Bundesverfassung (BV)[39] sind die Kantone für das Schulwesen zuständig. Es bestehen drei sprachregionale Lehrpläne für die obligatorische Schule.[40] In der Deutschschweiz[41] und im Tessin[42] sind in den Lehrplänen Informatik-Lektionen vorgesehen, in denen den Schülerinnen und Schülern technische Kompetenzen und die wichtigsten Konzepte der elektronischen Datenverarbeitung vermittelt werden. Im Westschweizer Lehrplan (Plan d'études romand PER)[43] werden die Themen Informatik-Tools und IKT-Kultur im Rahmen des allgemeinen MITIC[44]-Unterrichts behandelt. Die transversalen Kompetenzen wie Zusammenarbeit, Kommunikation, Lernstrategie, kreatives Denken oder reflexives Vorgehen sind in den drei regionalen Lehrplänen enthalten.

Gymnasium

Auf der Basis der Verordnung über die Anerkennung von gymnasialen Maturitätsausweisen[45] sichern Bund und Kantone gemeinsam die schweizerische Anerkennung von kantonalen und kantonal anerkannten gymnasialen Maturitätsausweisen. Dem Gymnasium kommt bei der Vorbereitung auf das Studium eine zentrale Rolle zu. IKT-Kenntnisse sind in fast allen Studienfächern zunehmend unverzichtbar. Das Gymnasium muss dieser Entwicklung zur Sicherstellung der Hochschulreife Rechnung tragen. In den Gymnasien wird das Fach Informatik heute als Ergänzungsfach angeboten, das interessierte Schülerinnen und Schülern wählen können. Für den Erlass der Rahmenlehrpläne für die Maturitätsschulen[46] ist die EDK zuständig. Da die EDK der Ansicht ist, dass gewisse Aspekte der Informatik für alle Schülerinnen und Schüler relevant sind, hat sie im Einvernehmen mit dem Vorsteher des Eidgenössischen Departementes für Wirtschaft, Bildung und Forschung (WBF) vom 1. Februar bis am 5. Mai 2017 eine Anhörung zur Frage durchgeführt, ob Informatik als obligatorisches Fach eingeführt werden soll.[47] Die Idee dieser Vorlage besteht darin, allen Schülerinnen und Schülern eine breite Grundbildung in Informatik zu vermitteln.[48]

---

39 SR 101
40 http://www.ides.ch/dyn/15415.php
41 http://v-ef.lehrplan.ch/index.php?code=b|10|0&la=yes
42 http://www.pianodistudio.ch/Contesti-di-formazione-generale-Tecnologie-e-media
43 http://www.plandetudes.ch/web/guest/mitic
44 Medien, Bilder, Informations- und Kommunikationstechnologien
45 Maturitäts-Anerkennungsverordnung MAV, SR 413.11; ebenso MAR
46 http://www.edk.ch/dyn/26142.php
47 http://www.cdip.ch/dyn/30422.php
48 Die EDK dürfte im Oktober 2017 über den Erlass des Rahmenlehrplans für Informatik befinden. Für die schweizweite Einführung eines obligatorischen Informatikunterrichts müssten zudem der Bund und die Kantone die

Berufsbildung

Die Berufsbildung ist gemäss Artikel 63 BV eine gemeinsame Aufgabe von Bund, Kantonen und Organisationen der Arbeitswelt. Zur Verwirklichung der Ziele des Bundesgesetzes über die Berufsbildung (BBG)[49], arbeiten Bund, Kantone und die Organisationen der Arbeitswelt zusammen (Artikel 1 BBG).

Die Berufsbildung ist seit jeher stetiger Veränderung unterworfen. Berufsbilder werden bereits jetzt laufend auf wirtschaftliche, technologische und ökologische Entwicklungen überprüft und angepasst. Die Stärke des Systems liegt darin, dass die Organisationen der Arbeitswelt (OdA), als Vertreter der Wirtschaft, die erforderlichen Kompetenzen für einen Beruf definieren und kontinuierlich weiter entwickeln. Durch die konsequente Ausrichtung auf den Arbeitsmarkt stellt Berufsbildung ein zentraler Pfeiler des gesamtwirtschaftlichen Arbeitskräfteangebots dar. Für die Jugendlichen bestehen attraktive zukunftsfähige Bildungsangebote. Gleichzeitig ist für die Wirtschaft ein adäquates Kosten-Nutzen-Verhältnis gewährleistet. Die Berufsbildung trägt massgeblich dazu bei, dass der technologische Wandel bisher erfolgreich bewältigt wird.

Die Berufsbilder werden in allen Branchen kontinuierlich weiterentwickelt. Diese Entwicklung betrifft die berufliche Grundbildung wie auch die höhere Berufsbildung. Überholte, nicht mehr gefragte Bildungsgänge werden laufend durch aktuelle, arbeitsmarkttaugliche Berufe ersetzt. Die Wirtschaft verlangt stets nach Berufsnachwuchs, der den aktuell geforderten Anforderungen gewachsen ist. So haben sich die Berufsbilder – vor allem durch technologische Entwicklungen wie der Digitalisierung – in den letzten Jahren stark verändert. In vielen Berufen werden die Revisionszyklen immer kürzer, um die Berufsbilder stets aktuell zu halten. Viele von der Digitalisierung und Automatisierung betroffene Berufe wurden mit verwandten Berufen zusammengeführt oder wurden gänzlich durch neue Berufe ersetzt. Beispiele dafür sind die Berufe der mechanischen und grafischen Industrie. So entstand aus den sieben eigenständigen beruflichen Grundbildungen Werkzeugmaschinist/in, Kabelmaschinenoperateur/in, Maschinenmechaniker/in, Maschinenmonteur/in, Mechaniker/in, Werkzeugmacher/in und Decolleteur-Mechaniker/in, der heute aktuelle Polymechaniker/in EFZ mit jährlich ungefähr 1650 neuen Lehrverhältnissen. Als weiteres Beispiel des Wandels sei der neue Beruf Interactive Media Designer EFZ erwähnt, der aufgrund der Digitalisierung der grafischen Branche entstand. Stetig im Wandel sind aber auch die Berufe im kaufmännischen Bereich und im Detailhandel sowie im Gesundheitswesen. Auch Berufsbezeichnungen entwickeln sich entsprechend dem Wandel eines Berufsbilds. Beispielsweise wurde, aufgrund des fortschreitenden Einzugs der Elektronik, aus dem bisherigen Automobil-Mechaniker/in der heute aktuelle Automobil-Mechatroniker/in EFZ. Die Fortsetzung der beruflichen Grundbildung kann im Anschluss im Bereich der höheren Berufsbildung zum Automobildiagnostiker mit eidgenössischem Fachausweis erfolgen oder an eine höhere Fachschule führen.

Das bereits heute hohe Tempo der Veränderungen am Arbeitsmarkt wird aufgrund der Digitalisierung weiter bestehen oder zunehmen. Neue, attraktive Berufsfelder sowie Arbeits- und Lehrstellen in wachsenden Wirtschaftszweigen entstehen. Bestehende Berufe werden teilweise verschwinden. Gleichzeitig werden sich die Qualifikationsanforderungen in den bestehenden Berufen immer schneller an die neuen Technologien anpassen. Die bisher gewährleistete zeitnahe und vor allem arbeitsmarktnahe Anpassung der Lerninhalte an die Anforderungen muss auch weiterhin rasch und präzise vollzogen werden können.[50]

Schliesslich sieht der Rahmenlehrplan für den allgemein bildenden Unterricht in der beruflichen Grundbildung[51], der vom Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) erlassen wird und

diesbezüglichen Rechtsgrundlagen revidieren, das heisst das Maturitätsanerkennungsreglement (MAR) der EDK sowie die Maturitäts-Anerkennungsverordnung (MAV) des Bundes. Der Zeitplan für diese Revision müsste noch festgelegt werden.

[49] SR 412.10

[50] Vgl. Ecoplan (2017): «Berufsbildung 2030 – Vision und strategische Leitlinien. Ergebnisse aus der Verbundpartnertagung vom 16. und 17. März 2017».

[51] https://www.sbfi.admin.ch/sbfi/de/home/themen/berufsbildung/berufliche-grundbildung/allgemeinbildung-in-der-beruflichen-grundbildung.html

somit landesweit gültig ist, den obligatorischen Unterricht des Aspekts «Technologie» vor. Dazu gehören insbesondere die Analyse des Einflusses von Technologien, die Beurteilung der Chancen und Risiken sowie die sinnvolle Nutzung der IKT. Die Kantone und Schulen erlassen dann basierend auf dem Rahmenlehrplan ihre eigenen Lehrpläne. Aufgrund der dezentralen Organisation bestehen Unterschiede je nach Ausbildungsgang und Regionen.

Hochschulen

Im Hochschulbereich ist der Bund gemäss Artikel 63a Abs. 3 BV und gemäss Artikel 1 des Bundesgesetzes über die Förderung der Hochschulen und die Koordination im schweizerischen Hochschulbereich (HFKG)[52], verpflichtet, zusammen mit den Kantonen für die Koordination, die Qualität und die Wettbewerbsfähigkeit des gesamtschweizerischen Hochschulbereichs zu sorgen.

Die Schweiz verfügt mit den Eidgenössischen Technischen Hochschulen (ETH), den kantonalen Universitäten, den Fachhochschulen und den Pädagogischen Hochschulen über ein im internationalen Vergleich hervorragendes Hochschulsystem. Eine wichtige Aufgabe der Hochschulen ist die Ausbildung von Fachkräften für Wirtschaft und Gesellschaft unter Berücksichtigung der sich wandelnden Qualifikationsanforderungen. Die Hochschulen leisten einen wichtigen Beitrag zur Entwicklung und Vermittlung von methodischem Wissen. Ebenso spielen sie bei der Erzeugung, Verbreitung und Nutzung von Wissen eine entscheidende Rolle und bilden einen wichtigen Teil der Grundlage für die Innovationskraft und somit für die Standortattraktivität und die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz.

Die Inhalte ihrer Aus- und Weiterbildungsangebote entwickeln die Hochschulen in eigener Autonomie und unter Berücksichtigung der Entwicklungen in Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft laufend weiter. Dabei pflegen sie den Austausch mit Wirtschaft und Gesellschaft und beurteilen den Bedarf sowie die praktische Relevanz von neuen Aus- und Weiterbildungsangeboten laufend. Angesichts des hohen Bedarfs an Tertiärabschlüssen im IKT-Bereich kommt den Hochschulen bei der Ausbildung eine besonders wichtige Rolle zu. Neben dem quantitativen Aspekt ist entscheidend, dass die von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft geforderten Qualifikationen vermittelt werden. Es wird erwartet, dass die digitalen Anwendungskompetenzen («digital skills») im Rahmen der Aus- und Weiterbildungsangebote an Hochschulen weiter an Bedeutung gewinnen – und zwar nicht nur in den IKT-Fachrichtungen, sondern in allen Fachbereichen. Auch die kritische Auseinandersetzung («digital literacy») und der Umgang mit digitaler Technologie sowie die verstärkte Förderung neuer Fähigkeiten der Datenanalytik und der Informationsverarbeitung im interdisziplinären Bereich werden voraussichtlich immer wichtiger. Die Digitalisierung hat auch Eingang in die Formen und die Entwicklung des Lehrens und des Lernens an Schweizer Hochschulen gefunden und führt zu nachhaltigen Veränderungen. Hervorzuheben ist die wichtige Rolle der Hochschulen bei der aktiven Gestaltung und Weiterentwicklung didaktischer und technischer Ideen von Lehre und der sich daraus ergebenden Möglichkeiten. Die neuen technologischen Möglichkeiten verändern das Lehren und Lernen stark («educational technology»). Die Kompetenz für die Anpassung der Lehre liegt bei den Hochschulen selbst, welche bereits zahlreiche Massnahmen ergriffen haben.

Weiterbildung

Gemäss Artikel 64a Absatz 1 BV legt der Bund Grundsätze über die Weiterbildung fest. Er kann die Weiterbildung fördern (Absatz 2). Das Bundesgesetz über die Weiterbildung (WeBiG)[53] legt die Bereiche und Kriterien fest.

Weiterbildung spielt für den Einzelnen, die Gesellschaft und die Wirtschaft eine wichtige Rolle. Die beschleunigten gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen erfordern eine ständige Anpassung und Erweiterung der Qualifikationen und des Wissens. Unter Weiterbildung fällt die Bildung, die nament-

[52] SR 414.20
[53] SR 419.1

lich in organisierten Kursen, mit Lernprogrammen und einer definierten Lehr-Lern-Beziehung ausserhalb der formalen Bildung erfolgt.[54] Das Ziel der Weiterbildung besteht darin, Kompetenzen, Fähigkeiten und Wissen zu verbessern, zu aktualisieren und auf neue Bereiche und Aufgaben zu erweitern.

Die Schweizer Weiterbildungslandschaft zeichnet sich aus durch eine grosse Vielfalt bezüglich der Zuständigkeit und Regelung sowie bezüglich der Angebote und der Finanzierung. Die Weiterbildung ist überwiegend marktwirtschaftlich organisiert. Träger und Anbieter von Weiterbildungsangeboten sind oftmals Private. Weiterbildung liegt primär in der Eigenverantwortung des Einzelnen und wird zu einem grossen Teil von den Teilnehmenden selbst getragen. Bund und Kantone handeln im Bereich der Weiterbildung subsidiär: Sie greifen innerhalb der Weiterbildung in jene Bereiche ein, in denen ohne entsprechende Regelung oder Fördermassnahmen die angestrebten Ziele und Wirkungen nicht erreicht würden.

Bezüglich der Beteiligung an Weiterbildungsangeboten deuten Statistiken darauf hin, dass die Mehrheit der Schweizer Bevölkerung solche Angebote wahrnimmt. Die Beteiligung hängt unter anderem von der Motivation, der verfügbaren Zeit, den finanziellen Ressourcen oder auch dem Kursangebot ab. Erwerbstätige Personen und Vollzeitbeschäftigte ebenso wie Personen mit einem Beschäftigungsgrad von mehr als 50 % nehmen häufiger an Weiterbildungen teil als Personen, die zu weniger als 50 % erwerbstätig sind. Personen mit einem Erwerbseinkommen bilden sich häufiger weiter als Personen, die über kein solches Einkommen verfügen.

Nachfolgend sind einige interessante Ergebnisse aus Statistiken zur Beteiligung der Schweizer Bevölkerung an der Informatikweiterbildung[55] aufgeführt (die neusten verfügbaren Zahlen beziehen sich auf das Jahr 2011[56]):

- Der Anteil der Informatikkurse am Total der im Jahr 2011 von der Bevölkerung im Alter von 25 bis 64 Jahren besuchten Weiterbildungskurse betrug 10.6 %. Damit belegte die Informatik hinter den Kursen im den Bereichen Medizin und Gesundheit (13.0 %) sowie Persönlichkeitsentwicklung (10.8 %) den dritten Rang.
- Frauen nahmen weniger zahlreich an Informatikkursen teil (13.0 % der Bevölkerung im Alter von 25 bis 64 Jahren gegenüber 13.8 % bei den Männern).
- Je höher der Bildungsstand der Bevölkerung, desto grösser ist auch der Anteil der Personen, die Kurse im Bereich der nichtformalen Bildung besuchen. Im Jahr 2011 profitierten nur gerade 4.3 % der Bevölkerung ohne nachobligatorische Ausbildung vom Weiterbildungskursangebot im Bereich der Informatik. Bei den Personen mit einem Abschluss auf Sekundarstufe II (berufliche Grundbildung oder allgemeinbildende Schule) betrug dieser Anteil 13.5 %, während sich die Teilnahmequote der Personen mit Tertiärabschluss (höhere Berufsbildung oder Hochschule) auf 18.2 % belief. Innerhalb dieser Kategorie ist die Quote der Personen mit höherem Berufsbildungsabschluss höher als jene der Hochschulabsolventinnen und -absolventen (18.4 % gegenüber 18.0 %).
- Der Anteil der Personen, die an Informatikkursen teilnahmen, war in der Altersklasse der 45- bis 54-Jährigen am grössten (14.3 %), gefolgt von der Altersklasse der 35- bis 44- und der 55- bis 64-Jährigen (beide mit 13.5 %) und schliesslich der Personen im Alter zwischen 25 und 34 Jahren (12.1 %).

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Bevölkerung der Schweiz daran interessiert ist, Weiterbildungskurse in Informatik zu besuchen, um ihre Kompetenzen zu verbessern. Dies gilt insbesondere für Erwachsene im Alter von über 35 Jahren, die nicht zu den «Digital Natives» gehören, sowie für höher qualifizierte Personen.

---

[54] https://www.sbfi.admin.ch/sbfi/de/home/themen/weiterbildung.html

[55] https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kultur-medien-informationsgesellschaft-sport/informationsgesellschaft/gesamtindikatoren/bildungswesen-bibliotheken/informatik-weiterbildung.html

[56] Die Ergebnisse der Umfrage von 2016 liegen noch nicht vor.

Bei der beruflich motivierten Weiterbildung schwingen Kurse im Themenbereich Informatik obenauf[57]; auch im informellen Bereich steht das Thema Informatik mit Abstand an erster Stelle[58]. Dabei ist es interessant darauf hinzuweisen, dass der Anteil von Informatikkursen an der Gesamtheit der besuchten Weiterbildungskurse Ende der 90er-Jahre – also zur Zeit der massiven Verbreitung von Computern im Arbeitsprozess – ungefähr doppelt so hoch lag wie 2011. Dies weist auf die grosse Flexibilität des Weiterbildungsmarkts hin, der rasch auf Veränderungen in der Nachfrage nach Kursen in bestimmten Themenbereichen reagieren kann.

Die Digitalisierung wird sich vor allem auf Tätigkeiten auswirken, die ein relativ geringes Qualifikationsniveau voraussetzen, etwa durch die Automation im Fertigungsbereich. Gerade diese Beschäftigten weisen aber auch eine vergleichsweise geringe Weiterbildungsintensität auf. Die Herausforderungen des Staates im Bereich Weiterbildung fokussieren deshalb insbesondere auf Arbeitnehmende mit geringem Qualifikationsniveau und auf ältere Arbeitnehmende.

3.3 Lehren und Lernen an den Schulen

Die digitalen Medien sind heute ein fester Bestandteil unseres Alltags. In ihrer Freizeit spielen Kinder und Jugendliche Computer-Games, informieren und vernetzen sich im Internet und kommunizieren via Mobiltelefon mit ihren Freunden und Verwandten. Die digitalen Medien sind allgegenwärtig und bieten den Jugendlichen vielfältige Entwicklungs- und Lernmöglichkeiten. Auch indem Kinder und Jugendliche aktiv an unserer Mediengesellschaft teilnehmen, lernen sie lesen, schreiben und rechnen. Gleichzeitig eignen sie sich aber auch die Techniken an, die heute zur Bewältigung von vielen Alltags- und Berufssituationen notwendig sind. Diese Medien sind jedoch auch mit gewissen Gefahren verbunden, so etwa Internetsucht, Datenmissbrauch oder sexuelle Übergriffe. Damit Kinder und Jugendliche einen sicheren Umgang mit digitalen Medien lernen, müssen sie sich auch mit den Gefahren auseinandersetzen. Die Schulung der informationellen Selbstbestimmung und des Bewusstseins für Informationssicherheit ist wichtig.

3.3.1 Qualitativ hochwertige digitale Infrastruktur in den Schulen

Gemäss unserer Kenntnis gibt es keine neueren und umfassenden Studien zur digitalen Infrastruktur und zur Nutzung der IKT in den schweizerischen Schulen.[59] Zur Beurteilung der Situation in der Schweiz liefern jedoch die statistischen Daten im Zusammenhang mit der PISA-Studie[60] und der Studie ICILS 2013[61] wichtige Hinweise.

Die PISA-Studie 2015 zeigt, dass das Niveau der digitalen Infrastruktur in der Schweiz gut ist. Gemäss Tabelle 2 haben 76 % der Jugendlichen in der Schule Zugang zu einem Computer mit Internetverbindung und nutzen diesen auch, 51 % nutzen in der Schule einen Computer mit einer drahtlosen Internetverbindung (WLAN). Jugendliche verwenden eher fest installierte und mobile Computer (61 % bzw. 41 %) als andere digitale Geräte wie Tablets (15 %), eBooks (7 %) oder interaktive Whiteboards (30 %). Anzumerken ist auch, dass sich die Anzahl Computer pro Schüler von 0,56 im Jahr 2009 auf 0,72 im Jahr 2015 erhöht hat. Bezüglich der Verfügbarkeit von IKT an den Schulen platziert sich die Schweiz im Vergleich zu ihren Nachbarländern im Mittelfeld: hinter Frankreich, aber vor Italien und Österreich. Im OECD-Vergleich liegt die Schweiz deutlich zurück.[62]

---

[57] BFS (2013): MZB, S. 49.

[58] BFS (2013): MZB, S. 58.

[59] Letzte bekannte umfassende Studie: educa.ch (2007): «ICT und Bildung in der Schweiz».

[60] Die Schweiz beteiligt sich seit 2000 am «Programme for Internatinonal Student Assessment» (PISA) und an der internationalen Option «IKT». Die Untersuchung testet alle drei Jahre die Fähigkeiten von 15-Jährigen in den Fachbereichen Lesen, Mathematik und Naturwissenschaften.

[61] «International Computer and Information Literacy Study»; Studie darüber, wie Jugendliche im 2. Jahr des Sekundarzyklus I den Computer für Recherchen, kreatives Arbeiten und Kommunikation nutzen. http://www.iea.nl/icils

[62] Die verfügbaren IKT-Mittel dieser Länder auf einer Skala von 0 bis 10: Schweiz: 5,8; Deutschland: k.A.; Frankreich: 5,84; Italien: 5,58; OECD: 6,08 (PISA 2015).

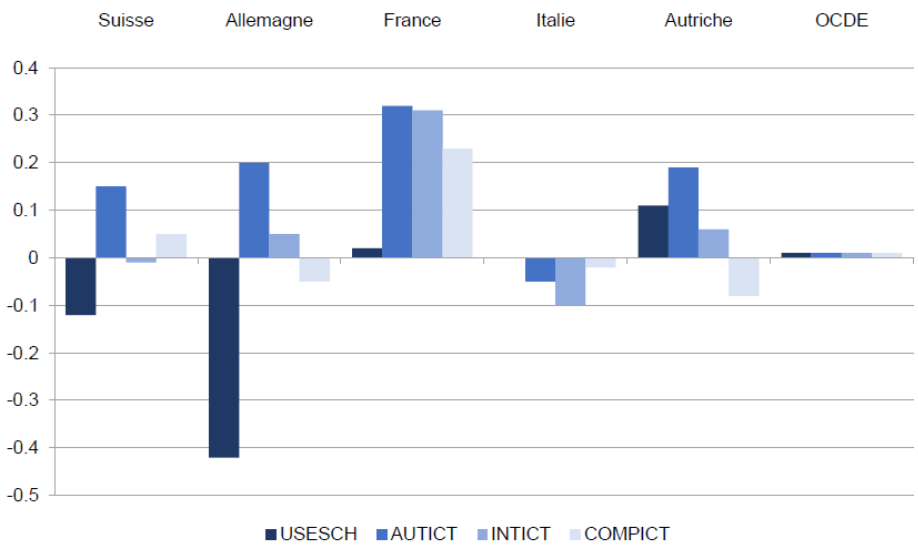
Tabelle 2: Zugang von 15-jährigen Jugendlichen in der Schweiz zu digitalen Geräten in der Schule (2015)

	Fest installierter Computer	Mobiler Computer	Computer mit Internet Anschluss	Computer mit WLAN-Anschluss	Tablet	eBook	Interaktives Whiteboard
Ja, und ich nutze diese	61%	41%	76%	51%	15%	7%	30%
Ja, aber keine Nutzung	14%	12%	14%	14%	8%	6%	17%
Nein	25 %	47%	10%	35%	77%	87%	53%

Quelle: PISA 2015[63]

Abbildung 13 zeigt, dass in den Schulen der Schweiz im Vergleich mit ihren Nachbarländern und der OECD tendenziell weniger digitale Instrumente genutzt werden, mit Ausnahme von Deutschland (USESCH). Die Jugendlichen in der Schweiz schätzen ihre Selbständigkeit im Umgang mit diesen Instrumenten selbst als relativ hoch ein, jedoch weniger hoch als ihre österreichischen und deutschen Kolleginnen und Kollegen (AUTICT). Das Interesse an IKT der Jugendlichen in der Schweiz entspricht sehr eng demjenigen des OECD-Durchschnitts, ist aber etwas weniger ausgeprägt als in den Nachbarländern, mit Ausnahme von Italien (INTICT). Bezüglich der Wahrnehmung ihrer Kompetenzen liegen die Jugendlichen in der Schweiz leicht über dem Durchschnitt der OECD. Im Vergleich mit den Nachbarländern werden sie in diesem Punkt einzig von den jungen Französinnen und Franzosen übertroffen (COMPICT).

Abbildung 13: Nutzung digitaler Instrumente im internationalen Vergleich (15 jährige Jugendliche)



Quelle: PISA 2015

Auch gemäss der Studie ICILS 2013, welche die Position der Schweiz[64] im internationalen Vergleich im Bereich IKT in der Bildung zeigt, hat die Schweiz eine relativ gute IT-Infrastruktur. Die Werte der Schweiz, bezogen auf die schulische Nutzung des Computers bzw. des Internets, liegen allerdings unter den jeweiligen internationalen Länderdurchschnittswerten. Bei der korrekten Nutzung des Internets als Informationsquelle erweist sich die Schweiz als deutlich unterdurchschnittlich. Begründet wird die fehlende Nutzung der IKT im Unterricht von Lehrpersonen durch die Studie folgendermassen: Angst vor

[63] http://www.oecd.org/pisa/data/2015database/
[64] Icilis.ch (2014): «Internationale Computer- und Informationskompetenzstudie (ICILS 2013) – Schweiz First Findings».

technischen Problemen, keine genügende IKT-Ausrüstung, fehlender Internetanschluss, fehlende technische Hilfen und fehlenden Zugang zu digitalen Ressourcen. Schliesslich existiert, insbesondere bei älteren Lehrpersonen, eine kritische Haltung gegenüber IKT.

3.3.2 Weiterentwicklung der Lehrmittel

Rechtlich liegt die Hoheit über die Lehrmittel bei den Kantonen.

Gegenwärtig gibt es mehrere Bildungsplattformen, auf denen die elektronischen Lehr- und Lernressourcen in der Schweiz aufgeführt sind. Eine aktualisierte Liste aller Schweizer Portale steht auf der Webseite von educa.ch zur Verfügung.[65] Grundsätzlich kann jede Person jeden beliebigen digitalen Inhalt erarbeiten und im Internet publizieren (z. B. Wikipedia). Die elektronischen Ressourcen werden sowohl von Lehrmittelverlagen[66] als auch von spezialisierten Einrichtungen wie etwa Museen oder Bibliotheken oder von den Medien[67], Berufsverbänden oder den Lehrpersonen selbst produziert. Die Studie ICILS 2013 zeigt, dass den Schweizer Schulen durchaus gute Ressourcen zur Verfügung stehen. Office-Softwareprogramme, Übungs- und Trainingsprogramme, Grafik-, Zeichen- und Präsentationsprogramme sind an fast jeder Schule vorhanden. In der Schweiz können die Schüler jedoch nur in knapp der Hälfte der Schulen einen Schul-E-Maildienst nutzen. Unterrichtsplattformen, Simulations- und Kommunikationsprogramme werden im internationalen Vergleich ebenfalls wenig genutzt. Die sprachregionalen Lehrpläne, neue und sich ständig wandelnde Lehrinhalte und damit einhergehende veränderte Vermittlungsformen und Instrumente stellen die Lehrmittelentwicklung vor grosse inhaltliche und strukturelle Herausforderungen.

3.3.3 Digitale Kompetenzen und Wissensvermittlung der Lehrpersonen und der Schulleitungen

Die Grundausbildung und Weiterbildung der Lehrpersonen der obligatorischen Schule und der Gymnasien liegt in der Verantwortung der Pädagogischen Hochschulen und anderer für die Lehrkräfteausbildung zuständiger Schulen. Das Eidgenössische Hochschulinstitut für Berufsbildung sowie weitere vom Bund anerkannte Hochschulen sind für die Lehrpersonen der Berufsbildung zuständig.

Pädagogische Hochschulen und weitere Hochschulen mit Lehrerbildung
Die Grundausbildung der Lehrpersonen der obligatorischen Schule und der Gymnasien liegt in der Kompetenz der Kantone. Die Pädagogischen Hochschulen (PH) ebenso wie andere Hochschulen mit Lehrerbildung bilden Lehrpersonen aus, bieten Weiterbildungen an und führen auch praxisorientierte Forschungsprojekte durch. Die Grundausbildung der Lehrpersonen in IKT stellt keine eigenständige Fachausbildung dar, sondern erfolgt im Rahmen der allgemeinen Bildung, mit dem Ziel einer besseren Integration der IKT in die verschiedenen Fächer.[68]

Die Weiterbildung der Lehrpersonen ist Teil der Leistungsverträge der PH. Bereits seit vielen Jahren werden Ausbildende (F3-Ausbildungen[69]) aus der ganzen Schweiz geschult. In der Regel handelt es sich dabei um Ausbildungen, die gemeinsam von mehreren kantonalen Bildungseinrichtungen angeboten und gemeinsam mit den kantonalen IKT-Verantwortlichen konzipiert werden. Im Bereich der Ausbildung von Ausbildenden hat sich eine breite interkantonale Zusammenarbeit entwickelt. Kantonale F3-Zertifikate können von der EDK auf der Grundlage des Profils für Zusatzausbildungen für Ausbildende im Bereich Medienpädagogik/IKT vom 10. Dezember 2004[70] für die ganze Schweiz anerkannt werden. Die Zertifikate von elf Programmen wurden von der EDK anerkannt.

---

65 http://www.educa.ch/de/ict-bildung/verankerung-ict-bildungssystem/unterrichtsportale
66 Z.B. Lehrmittelverlag Zürich, Éditions Loisirs et pédagogie, www.educanet2.ch
67 Z B. SRF «MYSCHOOL» und das Archiv von RTS.
68 http://www.edudoc.ch/static/web/aktuell/medienmitt/empf_ict_lb_d.pdf
69 Dieses Bildungsangebot richtet sich an Personen, die ihrerseits Lehrpersonen in der didaktischen und pädagogischen Nutzung von IKT unterrichten.
70 http://edudoc.ch/record/38148/files/Profil_ICT_d.pdf

Schliesslich kümmert sich auch die Kammer der Pädagogischen Hochschulen von *swissuniversities* um IKT. Ihre Arbeitsgruppe Medien und Informatik[71] unterstützt sie dabei, ihre Zielsetzungen in der Aus- und Weiterbildung des Lehrkörpers im IKT-Bereich zu erreichen.

Berufsfachschulen

Die Integration der Medienpädagogik in die Aus- und Weiterbildung der Lehrpersonen der Berufsfachschulen liegt in der Zuständigkeit des Eidgenössischen Hochschulinstituts für Berufsbildung (EHB)[72] sowie weiterer vom Bund anerkannter Hochschulen[73]. Lehrpersonen für Berufsfachschulen werden gesamtschweizerisch nach einheitlichen Rahmenlehrplänen ausgebildet. In diesen Lehrplänen sind auch Standards aufgeführt, die medienpädagogische Kompetenzen voraussetzen. Medienpädagogik ist in unterschiedlicher Form Gegenstand sämtlicher Module. Dabei werden neben traditionellen Medien ganz bewusst verschiedene Internetplattformen eingesetzt, damit die Studierenden breite Erfahrungen sammeln und für den selbstverantworteten Unterricht geeignete Plattformen evaluieren und auswählen können. Grundlegende Fragen des Medieneinsatzes werden primär in der allgemeinen Didaktik erörtert, praktische Konkretisierungen finden in den fachdidaktischen Modulen statt. Die Vermittlung digitaler Kompetenzen an zukünftige Lehrpersonen muss sowohl in ihrer Grundausbildung als auch in der Weiterbildung erfolgen.

3.3.4 Datenschutz und -sicherheit im digitalen Bildungsraum gewährleisten

In einem digitalen Bildungsraum Schweiz entsteht auch ein Datenraum, in dem personenbezogene Daten sowohl generiert als auch dazu verwendet werden, Zugang zu Onlinediensten zu erhalten. In einigen Kantonen bestehen bereits zentrale bzw. zentral koordinierte Lösungen, um die Kontrolle über den Ursprung dieser Daten zu gewährleisten. Aktuell besteht aber noch eine grosse Heterogenität hinsichtlich der Erhebung und der Gestaltung personenbezogener Daten. Vielerorts werden sie generiert, ohne dass dabei wichtige Standards oder Regeln nur genügend beachtet werden. Zudem bestehen keine klaren Regelungen über den Umgang mit diesen sensiblen Daten. Onlinedienste werden zunehmend von privaten Anbietern für den Bildungsbereich lizenzkostenfrei zur Verfügung gestellt (z. B. Google Classroom, Microsoft Classroom usw.). Die Weiterverwendung der bei der Nutzung solcher Produkte generierten Daten und auch deren Speicherort bleiben dabei meist intransparent. Auch verlangen solche Dienste personenbezogene Daten zur Identifikation der Endbenutzenden. Das stellt die Bildungsinstitutionen auf den unterschiedlichen Bildungsstufen vor datenschutzrechtliche Probleme. Offene Fragen betreffen etwa die Datensicherheit und die Dateneigentümerschaft von Schülerinnen und Schülern, Lernenden, Studierenden, der Lehrer und Lehrerinnen, von Forschenden und Bildungseinrichtungen in einem digitalen Bildungsraum. Alle haben etwa einen Anspruch darauf zu wissen, wo ihre Daten gelagert und wie ihre Daten verwendet werden. Gleichzeitig ist die Vermittlung von Wissen über Datensicherheit ein wichtiger Bildungsinhalt. Schon Schülerinnen und Schüler müssen über die Risiken bei der Veröffentlichung persönlicher Informationen im Bilde sein, ebenso wie Lernende in der Berufsbildung über die Sicherheitskonzepte ihrer Lehrbetriebe selbstverständlich Bescheid wissen müssen.

3.4 Handlungsbedarf im Bereich Bildung

Wie die Analyse gezeigt hat, liefert und lieferte das Schweizer Bildungssystem einen wichtigen Beitrag zur erfolgreichen Bewältigung von wirtschaftlichem Strukturwandel. Das qualitativ hochstehende und differenzierte System mit einer ausgeprägten, an den wirtschaftlichen Bedürfnissen ausgerichteten Berufsbildung und profilierten akademischen Bildungsgängen führen zu einem gesamtwirtschaftlich sinnvollen Qualifikationsmix. So zeigte die Analyse eine im internationalen Vergleich vorderhand durchaus gute Verfügbarkeit von IKT-Fachkräften. Gleichzeitig ist aber eine gewisse Abhängigkeit von ausländischen Fachkräften unverkennbar.

---

[71] http://groupedetravail.ch/Mundi
[72] http://www.ehb.swiss/
[73] https://www.sbfi.admin.ch/sbfi/de/home/themen/berufsbildung/berufsbildungsverantwortliche/berufspaedagogische-bildungsgaenge.html

Die Digitalisierung wird die dargestellten Herausforderungen noch akzentuieren. Gute Bildung ist sowohl für jeden einzelnen Menschen wie für die Wirtschaft und die Gesellschaft als Ganzes ein unverzichtbarer Baustein, um die Herausforderungen zu bewältigen und die sich ergebenden Chancen zu nutzen. Das Bildungssystem hat bereits auf vielen Ebenen auf die Digitalisierung reagiert und startet von einer guten Position aus. Es wird entscheidend sein, diesen Weg zügig weiterzugehen.

3.4.1 Stärkung der IKT-Kenntnisse

Angesichts der beschriebenen Entwicklungen kommt den für die Digitalisierung relevanten Kompetenzen zentrale Bedeutung zu. Die Analyse hat gezeigt, dass IKT-Kenntnisse und transversale Kompetenzen in Zukunft absolut unverzichtbar sind, um am Arbeitsmarkt bestehen zu können. Das Bildungssystem hat die Aufgabe, diese Kompetenzen alters- und zielgruppenadäquat auf allen Bildungsstufen und Bildungsgängen zu vermitteln. Das Bildungssystem hat darauf wie gezeigt bereits deutlich reagiert, wie etwa die Anpassung der sprachregionalen Lehrpläne der obligatorischen Schule oder die neuen Berufsbilder in der Berufsbildung zeigen. In Zukunft werden alle Bildungsangebote in schnellerer Kadenz auf die sich durch die Digitalisierung ergebenden Herausforderungen überprüft werden müssen.

3.4.2 Verbesserung von Lehren und Lernen

Gleichzeitig müssen die Voraussetzungen gegeben sein, dass diese Kompetenzen auch effektiv und effizient vermittelt und gelernt werden können. Die Analyse hat gezeigt, dass die Ausstattung der Schulen mit digitaler Infrastruktur gut ist. Dieses Potenzial und die möglichen Vorteile des Einsatzes der digitalen Hilfsmittel sollten umfassend ausgeschöpft werden. Gleichzeitig wird den Risiken, die etwa aus dem Datenschutz und dem verantwortungsvollen Umgang mit den neuen Medien heraus ergeben, noch zu wenig Beachtung geschenkt. Den dargestellten Problemen kann im Rahmen der Aus- und Weiterbildung der Lehrpersonen begegnet werden. Die Lehrerschaft muss mit adäquaten Lehrmitteln und didaktischen Modellen die neuen Kompetenzen vermitteln können. Den Schulleitungen kommt eine zentrale Funktion bei der Unterstützung der Veränderungen zu. Zum anderen braucht es hinsichtlich der Datensicherheit einen geschützten «Vertrauensraum».

3.4.3 Eine schnelle Anpassung des Bildungssystems ermöglichen

Das Bildungssystem als Ganzes muss sich insofern anpassen, dass es flexibler und schneller als bisher auf die Entwicklungen reagieren kann. Auf systemischer Ebene muss das Interesse der Kinder und Jugendlichen an den MINT-Fächern möglichst früh geweckt und während der gesamten Schullaufzeit gefördert werden. Die Analyse zeigte, dass die Berufsbildung bisher sehr flexibel auf neue Anforderungen reagiert. Es gilt die systemische Flexibilität der Berufsbildung zu stärken und bestehende Hürden abzubauen. Der privaten Weiterbildung schliesslich kommt eine zentrale Rolle zu. Bildungsanbieter, Unternehmen und Individuen stehen in der hohen Verantwortung, adäquate Bildungsangebote anzubieten und auch zu nutzen. In bestimmten Bereichen kommt dem Staat eine ergänzende Rolle zu, etwa im Bereich der Förderung der Grundkompetenzen.

3.4.4 Die Koordination im Bildungsraum intensivieren

Um die Kohärenz im Bildungssystem auch weiterhin zu gewährleisten, kommt der Abstimmung und Koordination der beteiligten Akteure eine immer wichtigere Rolle zu. Die BV verpflichtet Bund und Kantone, ihre Anstrengungen im Bildungsbereich zu koordinieren und ihre Zusammenarbeit durch gemeinsame Organe und andere Vorkehren sicherstellen (Artikel 61a Absatz 2 BV). Das darauf abgestützte Bundesgesetz über die Zusammenarbeit des Bundes mit den Kantonen im Bildungsraum Schweiz (Bildungszusammenarbeitsgesetz, BiZG)[74] sowie die Vereinbarung zwischen dem Bund und den Kantonen über die Zusammenarbeit im Bildungsraum Schweiz (ZSAV-BiZ) legen fest, wie Bund und Kantone dieser Verpflichtung nachkommen.

[74] SR 410.2

Die Herausforderungen können nur bewältigt werden, wenn alle an der Bildung beteiligten Partner aktiv im Rahmen ihrer Zuständigkeiten zum Erfolg beitragen. Die im Rahmen der Bildungszusammenarbeit von Bund und Kantonen geschaffenen Strukturen müssen intensiv genutzt werden. Der Koordinationsausschuss Digitalisierung[75] koordiniert die gemeinsamen strategischen Massnahmen im Zusammenhang mit der Digitalisierung auf transversale und interdisziplinäre Weise. Unverzichtbare Basis dafür sind Daten und Forschung zu den mit der Digitalisierung einhergehenden Ursachen und Wirkungen. Die Kommunikation der Auswirkungen der Digitalisierung muss ebenfalls eng koordiniert werden.

[75] http://edudoc.ch/record/124948/files/mandat-koa-digi_f.pdf

4 Herausforderungen im Bereich Forschung & Innovation

Forschung und Entwicklung sind wichtige Voraussetzung für die Beherrschung der grundlegenden Schlüsseltechnologien. Dies gilt ganz besonders für die Technologien der Digitalisierung, da deren Durchdringung in ungekannter Geschwindigkeit verläuft und zu Veränderungen in zahlreichen Bereichen führt. Die Digitalisierung wird zur Weiterentwicklung bestehender Technologiefelder, zur Entstehung gänzlich neuer Technologien und voraussichtlich auch zu ganz neuartigen Verknüpfungen unter diesen führen. Da nicht absehbar ist, welche Technologien und Verbindungen in Zukunft und mit welcher Geschwindigkeit an Relevanz gewinnen, müssen die Forschungskompetenzen – insbesondere auch im Hinblick auf den Transfer in die Wirtschaft – im Bereich dieser Technologien in ihrer ganzen Breite gewährleistet werden.

Herausforderungen bestehen auch für die Hochschulen selbst: Mit der Digitalisierung gewinnt die Informatik als Grundlagenwissenschaft in ihrer ganzen Breite für alle Forschungsbereiche an Bedeutung. Nach Einschätzung zahlreicher Experten im In- und Ausland setzen diese Veränderungen teils neue, teils andere Grundlagenforschung als zentrales impulsgebendes Element voraus. Auch die gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und bildungsbezogenen Veränderungen im Zuge der Digitalisierung werden zu neuen Herausforderungen führen, deren Verständnis vermehrt interdisziplinäre (Grundlagen-) Forschung erfordert.

4.1 Stärken/Schwächen im IKT-Forschungsprofil der Schweiz

Die wissenschaftliche Forschung verbessert die aktuellen Kenntnisse oder bringt neues Wissen, neue Instrumente oder neue Methoden hervor. Diese Wissensproduktion schlägt sich in Artikeln in wissenschaftlichen Zeitschriften nieder, die von den Forschenden als wichtigstes Mittel zur Verbreitung der Ergebnisse ihrer Forschungsaktivitäten genutzt werden. Eine statistische Analyse wissenschaftlicher Publikationen ermöglicht es, die Tendenzen und Entwicklungen der Forschung im Zeitverlauf zu beobachten und Länder, Institutionen oder Forschungsbereiche anhand von Indikatoren einzuordnen und zu bewerten.[76]

Für den vorliegenden Bericht wurde ein internationaler Vergleich der Entwicklung der Forschungsaktivitäten (gemessen an der Produktion wissenschaftlicher Publikationen) in den folgenden Bereichen vorgenommen:[77]

- Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik/Regelungstechnik
- Computerwissenschaften und computerbezogene Ingenieurwissenschaften
- Informationstechnologien und Kommunikationssysteme

Dabei bildet die Kategorie «Computerwissenschaften und computerbezogene Ingenieurwissenschaften» eher die etablierten Informatikwissenschaften ab, während im Hinblick auf die in Kapitel 2 beschriebenen neuen transversalen Basistechnologien schwergewichtig den beiden Kategorien «Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik» sowie den «Informationstechnologien und Kommunikationssystemen» eine zentrale Bedeutung zukommt.[78] Die Analyse stellt daher diese beiden Subbereiche (gemäss SCI-Klassifikation) in den Mittelpunkt; weitergehende Analysen sind in Anhang 2, Abschnitt 3 zu finden.

---

[76] Vgl. SBFI (2016): «Bibliometrische Untersuchung zur Forschung in der Schweiz 1981–2013».

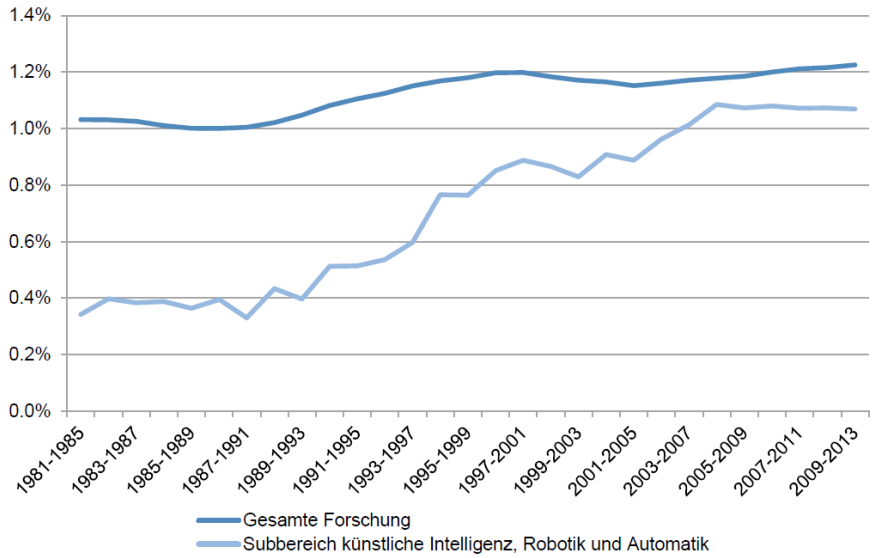
[77] Der eher auf Hardware bezogene Subbereich «elektrische und elektronische Ingenieurwissenschaften», welcher etwa auch die Forschung an Halbleitern umfasst, wird ergänzend im Anhang 2, Abschnitt 3.1 dargestellt.

[78] Die Kategorie «Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik/Regelungstechnik» befasst sich mit Forschung und Techniken der künstlichen Intelligenz (AI); d.h. der Schaffung von Maschinen, die Merkmale menschlicher Intelligenz aufweisen (z. B. effiziente Darstellung von Wissen, Argumentation, Deduktion, Problemlösung, Heuristik und Analyse von widersprüchlichen oder zweideutigen Informationen). Zugehörige AI-Technologien umfassen Expertensysteme, Fuzzy-Systeme, natürliche Sprachverarbeitung, Sprach- und Mustererkennung, Computer-Vision, Entscheidungsunterstützungssysteme, Wissensbasen und neuronale Netze. Die Robotik befasst sich mit der Konstruktion, dem Bau und dem Betrieb von Robotern. Automatik/Regelungstechnik decken das

Die Analyse zeigt zunächst, dass die Schweiz – im Vergleich zu anderen grossen Forschungsgebieten wie Physik oder den Life Sciences – hinsichtlich der Forschungsaktivitäten (gemessen an der Produktion wissenschaftlicher Publikationen) insgesamt keinen Schwerpunkt in Forschungsbereichen digitaler Technologien aufweist, aber dennoch – gemessen am relativen Impact der wissenschaftlichen Publikationen – teilweise über Forschungsleistungen von höchster Qualität verfügt (vgl. Anhang 2, Abbildung F und Abbildung G). Eine Spitzenposition nimmt die Schweiz namentlich im Bereich «Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik» ein, sowohl hinsichtlich Publikationsvolumen (Anteil an weltweiter Publikation, normiert nach Anzahl Publikationen pro Einwohner) als auch was den bibliometrisch erfassten (Zitations-)Impact des Forschungsoutputs betrifft. Allerdings liegt der Anteil der Schweiz an den weltweiten Publikationen unter dem Anteil, welchen die Schweiz insgesamt in allen grossen Forschungsbereichen (nach SCI-Klassifikation) aufweist.

Zudem haben einige im Bereich «Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik» besonders forschungsstarke Länder (insbesondere China, Niederlande, Taiwan, Südkorea und Frankreich) ihre Forschungsleistung derart stark ausgeweitet, dass die Schweiz ihren Anteil am weltweiten Publikationsvolumen in diesem Bereich in den vergangenen 10 Jahren nicht ausbauen konnte (vgl. Anhang 2, Abbildung H).

Abbildung 14: Anteil der Schweiz an den globalen Publikationen im Bereich «Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik»



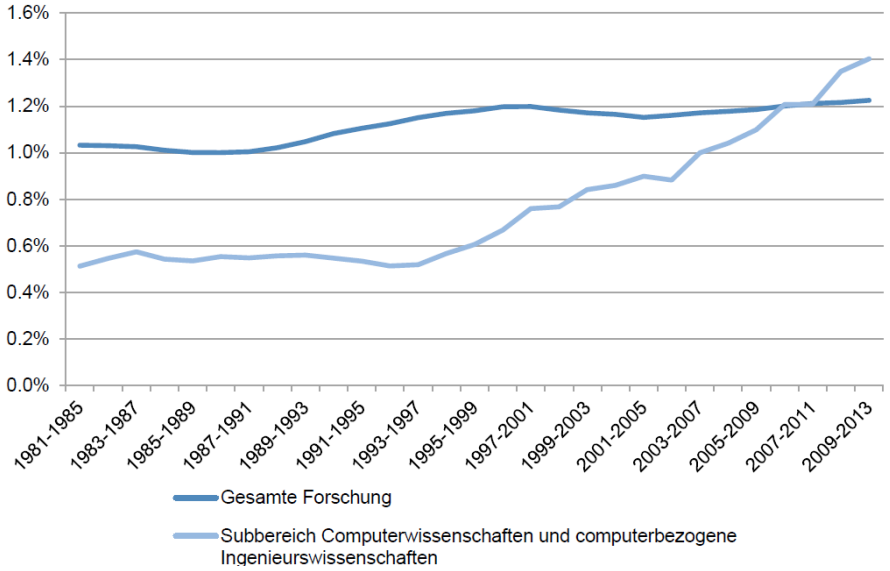
Quelle: Analyse SBFI auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

Im Bereich der etablierten Informatikforschung, abgebildet durch die Kategorie «Computerwissenschaften und computerbezogenen Ingenieurwissenschaften», konnte die Schweiz demgegenüber, trotz grosser Investitionen anderer Länder, ihren Anteil am weltweiten Publikationsvolumen in den letzten Jahren deutlich steigern, so dass sie hierbei einen überdurchschnittlichen Anteil einnimmt (Abbildung 15); dies war allerdings begleitet von einem Rückgang des relativen Impacts der schweizerischen Publikationen (vgl. Anhang 2, Abbildung Gb).[79]

Design und die Entwicklung regulatorischer Prozesse und Systeme ab, die die Notwendigkeit menschlicher Eingriffe ersetzen. Zu den Themen gehören die adaptive Regelung, robuste Regelung, die Regelung des diskreten Ereignisses, die dynamische Regelung, Fuzzy-Regelung und die optimale Steuerung. «Informationstechnologien und Kommunikationssysteme» umfasst Ressourcen, die sich mit den technischen Aspekten der Informationssysteme und der Informationstechnologie befassen, einschließlich der Beschaffung, Verarbeitung, Speicherung, Verwaltung und Verbreitung von Informationen. Diese Kategorie umfasst auch die technischen Aspekte der Kommunikation über verschiedene Geräte und Systeme. Die Auswahl der Bereiche ist durch die Verfügbarkeit der Daten vorgegeben: http://ip-science.thomsonreuters.com/mjl/scope/scope_ccect/.

[79] Hinsichtlich der «elektrischen und elektronischen Ingenieurwissenschaften», welche Teile der Forschung im Bereich Hardware enthält, und damit ebenfalls eher zur etablierten Informatikforschung zu zählen ist, stellt sich die Position der Schweiz sehr ähnlich dar, wie im Bereich «Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik». Auch

Abbildung 15: Anteil der Schweiz an den globalen Publikationen im Bereich «Computerwissenschaften und computerbezogene Ingenieurwissenschaften»

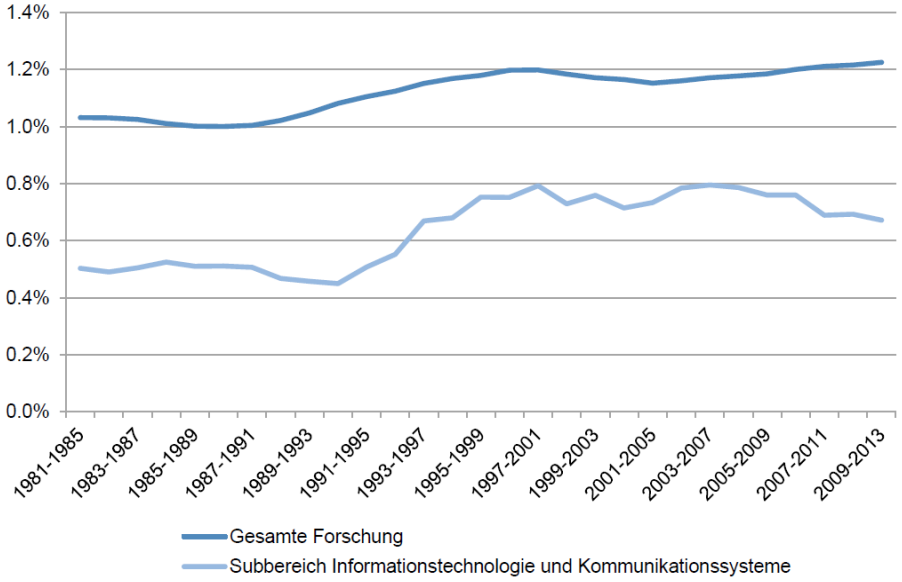


Quelle: Analyse SBFI auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

Eine andere Situation zeigt sich im Bereich «Informationstechnologien und Kommunikationssysteme», welcher Forschungsaktivitäten zu zentralen neuen digitalen Schlüsseltechnologien umfasst; so etwa Beschaffung, Verarbeitung, Speicherung, Verwaltung und Verbreitung von Informationen und technische Aspekte der Kommunikation über verschiedene Informationssysteme hinweg. Hier haben andere Länder in den letzten Jahren deutlich mehr investiert als die Schweiz. Entsprechend ist die Schweiz in diesem zentralen Bereich beim Anteil am weltweiten Forschungsoutput – allerdings nach wie vor auf sehr hohem Niveau hinsichtlich des Impacts – zurückgefallen. Im Resultat zählt die Schweiz hier mit einem Anteil von nur 0.7% an den weltweiten Publikationen nicht zu den global führenden Forschungsnationen (vgl. Abbildung 16 sowie Abbildung 17 für einen Vergleich mit ausgewählten Ländern).

hier stagnierte der Anteil der Schweiz bei gleichzeitig qualitativ hochstehender Forschung (vgl. Anhang 2, Abbildung E und Abbildung Gd).

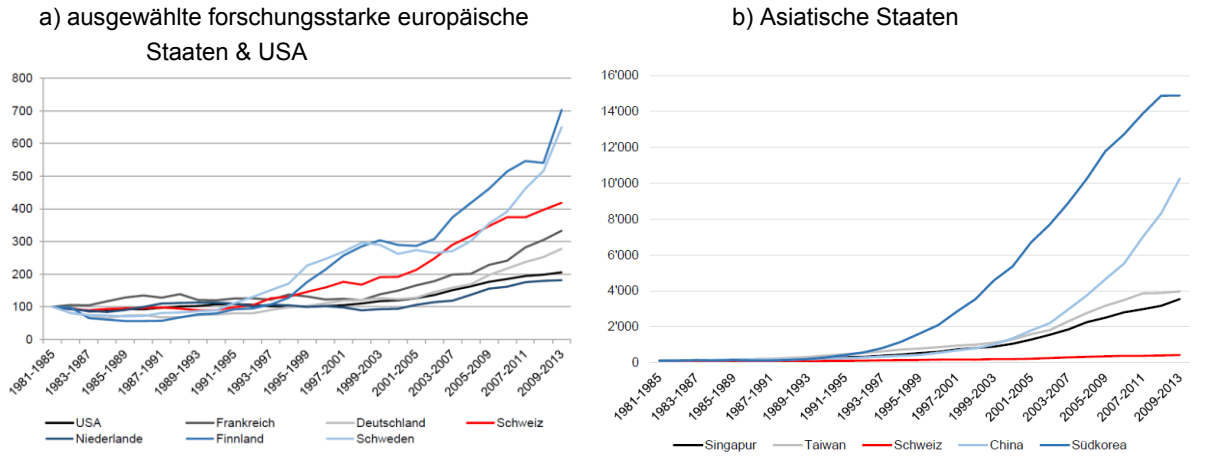
Abbildung 16: Anteil der Schweiz an den globalen Publikationen im Bereich «Informationstechnologie und Kommunikationssysteme»



Quelle: Analyse SBFI auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

Im internationalen Vergleich zeigt sich bezüglich der Forschungsaktivitäten im «Bereich Informationstechnologie und Kommunikationssysteme» eine sehr heterogene Entwicklung (vgl. Abbildung 17) So haben namentlich Südkorea, China, Taiwan und Singapur ihre Forschungsanstrengungen enorm ausgeweitet. Von den mit der Schweiz vergleichbaren europäischen Ländern sowie der USA verzeichnen Finnland und Schweden imposante Steigerungen ihres Forschungsoutputs in diesem Bereich – wenn auch im Vergleich zu den erwähnten asiatischen Ländern in deutlich geringerem Umfang. Die Schweiz liegt in diesem Vergleich nur im Mittelfeld.

Abbildung 17: Internationale Entwicklung des Forschungsoutputs im Bereich «Informationstechnologien und Kommunikationssysteme» (Index: 1981/1985=100)

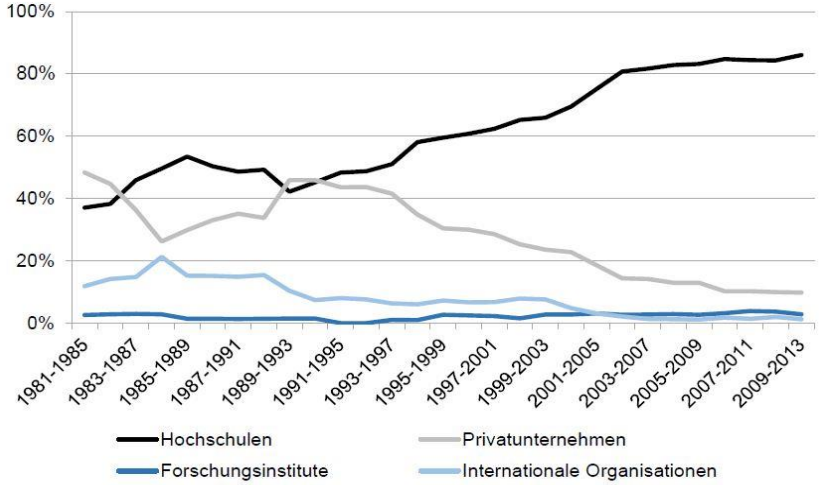


Quelle: Analyse SBFI auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

Als Fazit lässt sich zunächst festhalten, dass die Hochschulen die Forschung im Bereich «Informationstechnologien und Kommunikationssysteme» insgesamt in der Schweiz ausweiten konnten. Da aber andere Länder deutlich mehr investierten, ist die Schweiz relativ zurückgefallen. Begleitet wurde diese Entwicklung zudem von einem (leichten) Rückgang der Forschung privater Institutionen, so dass der am Publikationsvolumen gemessene Anteil privater Forschung auf knapp 10% zurückgegangen ist (vgl.

Abbildung 18) – ein Umstand, der auffällig kontrastiert mit der stark gestiegenen Bedeutung der Grundlagenforschung für die private Forschung und Entwicklung in der Schweiz.[80]

Abbildung 18: Anteil verschiedener Institutionen an den Publikationen im IKT-Bereich (1981-2013)

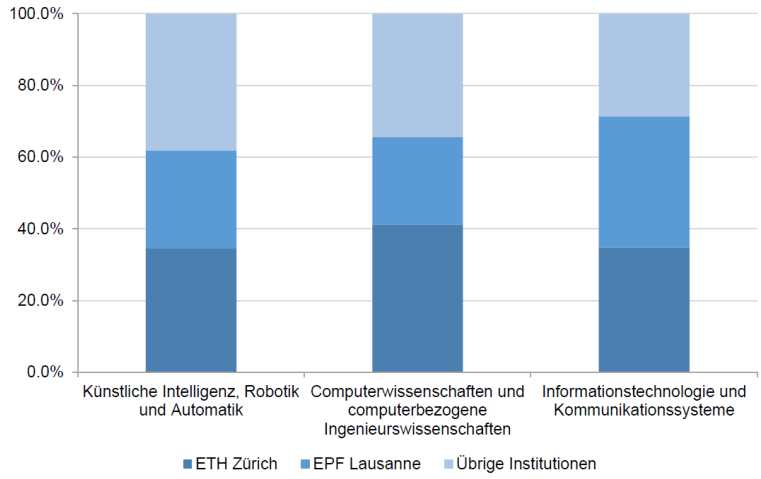


Quelle: Analyse SBFI auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

4.2 Fehlende kritische Masse

Die vorhandenen Daten erlauben auch eine Aufschlüsselung der Forschung in den betrachteten Bereichen nach Institutionen in der Schweiz. Abbildung 19 stellt die institutionelle Verteilung (Zuordnung der wissenschaftlichen Publikationen auf Institutionen) der drei hier betrachteten IKT-bezogenen Bereiche dar. Dabei zeigt sich, dass gesamthaft betrachtet die beiden ETH die Forschung in der Schweiz klar dominieren mit Anteilen von 62% bis 71% in den jeweiligen Bereichen. Die Forschung im Bereich «Informationstechnologien und Kommunikationssysteme» stammt beispielsweise zu über zwei Dritteln aus dem ETH-Bereich. Die Analyse zeigt zudem, dass auf Cybertechnologien spezialisierte Institute (z.B. IDIAP, Zurich Information and Security Center ZISC, Disney Research Center), aber auch private Firmen (z.B. ABB) deutlich zulegen konnten (ohne Abbildung).

Abbildung 19: Anteil der beiden ETH an der Gesamtzahl aller Publikationen in drei Forschungsbereichen (Analyseperiode: 2009-2013)

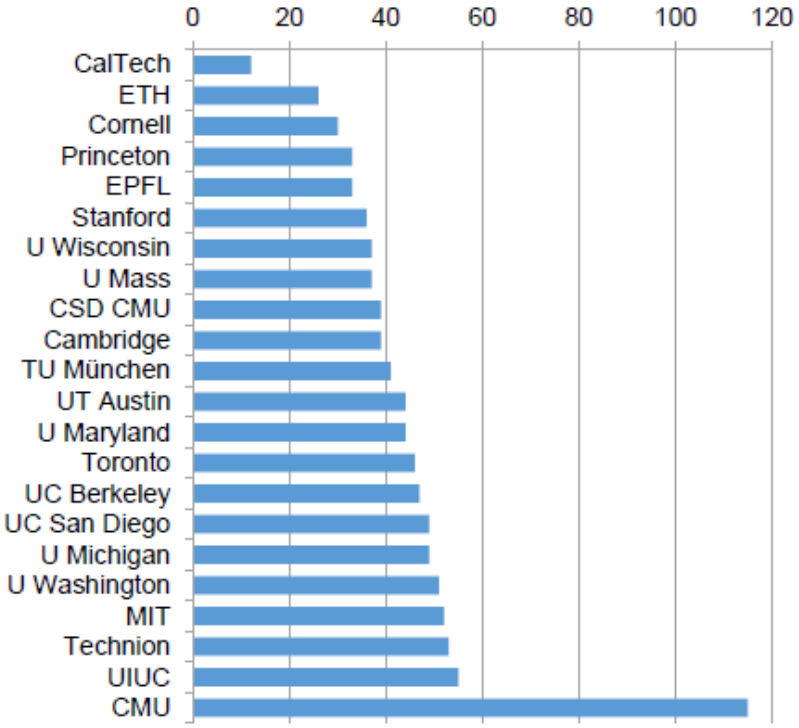


Quelle: Analyse SBFI auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

[80] Vgl. BFS (2017): «Medienkonferenz - F&E Ausgaben der Schweizer Privatwirtschaft Resultate 2015».

Dass die beiden ETH als zentrale Forschungsträger in der Schweiz in den beschriebenen Bereichen die Forschungsleistung mit vergleichsweise geringer personeller Ausstattung erbringen, zeigt sich auch im Vergleich mit den weltweit führenden Forschungsinstitutionen im Bereich IKT (Abbildung 20). Verglichen mit diesen internationalen Referenzzentren sind die ETH Zürich und die EPFL im Bereich IKT bezüglich der personellen Ausstattung beziehungsweise der. Anzahl Professuren – trotz im internationalen Vergleich starker Publikationsleistungen – als ausgesprochen klein und unterkritisch dotiert einzustufen.

Abbildung 20: Grösse der Informatikdepartemente der beiden ETH im Vergleich mit anderen führenden Forschungsinstitutionen[81]



Quelle: Expertengruppe zur Eruierung des Handlungsbedarfs im Bereich Forschung und Innovation für die Digitalisierung (2016): «Forschung und Lehre für die Digitale Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz», Bericht im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation.

Der ETH-Bereich hat den Bedarf für zusätzliche Professuren erkannt. So wurden in der jüngsten Vergangenheit sowohl an der ETH Zürich wie auch an der EPFL durch die Umverteilung von zur Verfügung stehenden Mitteln gezielt einige zusätzliche Professuren im Bereich der «Computing Science» geschaffen. Eine Stärkung der Kompetenzen in der Grundlagenforschung im Bereich «Informatik/Computing Science» in ihrer ganzen Breite und unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung für andere Forschungsbereiche ist jedoch innerhalb der nächsten Jahre aus den momentan zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich.

4.3 Schwächen im WTT-Profil der Schweiz

Eine breite Wissensbasis ist ein wesentlicher Bestimmungsgrund für die technologische Wettbewerbsfähigkeit eines Landes, indem sie die Wahrscheinlichkeit für eine hohe Anzahl von qualitativ hochwertigen Erfindungen erhöht, welche wiederum Wettbewerbsvorteile auf den Absatzmärkten ermöglichen.

[81] Hier ist eine vereinfachte Sicht wiedergegeben, indem lediglich Professoren und Tenure-track-Positionen dargestellt sind.

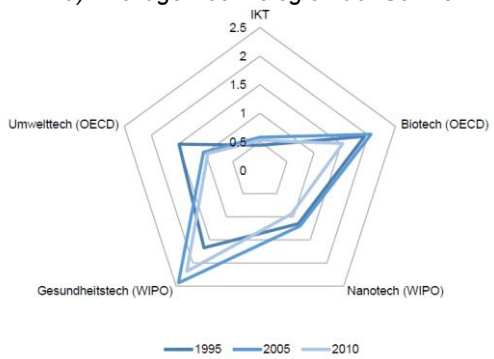
Eine breite technologische Basis fördert zudem die technologische Entwicklung in den einzelnen Industrien.[82] Ergänzend zur Wissensbasis an den Hochschulen braucht es daher auch eine Wissensbasis zur Absorption von neuen Technologien im Wirtschaftssektor.

Die KOF untersuchte in einer Studie[83] die vorhandene Wissensbasis anhand von Patentaktivitäten in ausgewählten, wichtigen Technologiebereichen, darunter die Informations- und Kommunikationstechnologien.[84] Während eine bibliometrische Analyse in erster Linie die Tätigkeiten der Hochschulen erfasst, betreffen die Patentaktivitäten vorwiegend den privaten Sektor. Dabei steht die Frage im Zentrum, in welchen Industrien die Schweiz relative Vor- und Nachteile im internationalen Vergleich aufweist. Hierzu dient insbesondere die Analyse anhand des «Revealed Technological Advantages» (RTA)[85], welches ein übliches Mass für die relative Bedeutung wichtiger Technologien für ein Land darstellt und somit auf das Spezialisierungsmuster der Volkswirtschaft verweist.

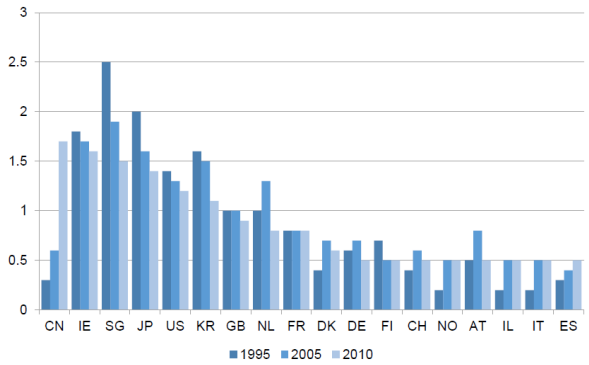
Die KOF-Analyse zeigt, dass die Schweiz eine stark unterdurchschnittliche Spezialisierung in den Informations- und Kommunikationstechnologien aufweist, sowohl im internationalen Vergleich, als auch im Vergleich mit anderen wichtigen Technologiefeldern (vgl. Abbildung 21).[86] Die Studie zeigt zudem, dass die Schweiz auch in einer RTA-Betrachtung bezüglich IK-Technologien insgesamt im Mittelfeld der beobachteten Länder liegt. Sie ist demnach kein speziell attraktiver Standort für die Anmeldung derartiger Erfindungen. Die fehlende Computerindustrie (Hardware) ist gemäss KOF eine der strukturellen Schwächen des Standorts Schweiz.

Abbildung 21: Revealed Technological Advantage (RTA) für Informations- und Kommunikationstechnologien

a) Wichtige Technologien der Schweiz



b) IKT im internationalen Vergleich



Quelle: KOF

82 Vgl. Arvanitis et al. (2015): «Patentportfolio Schweiz – Studie im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation SBFI», KOF Studien Nr. 62.

83 Vgl. Arvanitis et al. (2015): «Patentportfolio Schweiz - Studie im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation SBFI», KOF Studien Nr. 62.

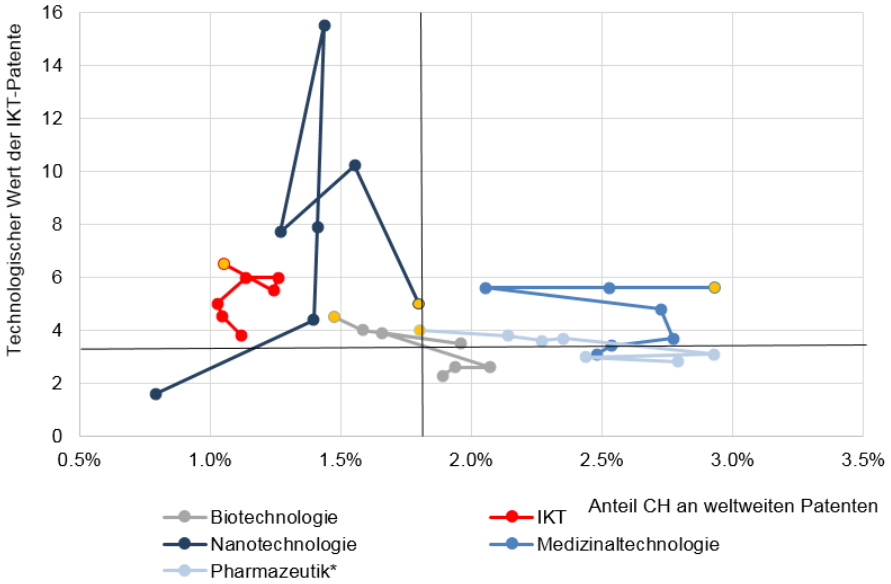
84 Auf Basis der patentierten Erfindungen wird die Generierung von Technologien in diesen Bereichen analysiert, nicht jedoch die Adoption bzw. Anwendung dieser Technologien.

85 Der RTA ist als Anteil eines Landes an weltweiten Patentanmeldungen in einer bestimmten Industrie bzw. Technologie relativ zu dem Anteil eines Landes an weltweiten Patentanmeldungen insgesamt definiert. Dieser Indikator zeigt gemäss der Studie auch die relative Wettbewerbsfähigkeit eines Landes in einer Technologie an: Es ist davon auszugehen, dass ein hoher RTA-Wert (in Kombination mit einer relativ hohen Anzahl patentierter Erfindungen in diesem Bereich) das Vorhandensein einer notwendig grossen Wissensbasis anzeigt, um einerseits neues Wissen in diesem Bereich erfolgreich zu absorbieren und um andererseits – darauf aufbauend – weitere Erfindungen tätigen zu können (KOF, S. 41).

86 Im internationalen Vergleich erhöhten sich seit 1995 die RTA-Werte im IKT-Bereich in der Schweiz, Norwegen, Israel, Italien und Spanien auf relativ niedrigem Niveau und in Schweden auf relativ hohem Niveau. China zeigt seit 1995 den stärksten Anstieg des RTA-Werts für IKT und verzeichnete 2010 den höchsten Wert unter allen Vergleichsländern. In den 1995 noch ausserordentlich stark auf IKT spezialisierten Ländern Singapur, Japan und Südkorea kam es zu einer deutlichen Abnahme der RTA-Werte. Dennoch weisen diese Länder 2010 immer noch einen RTA-Wert von grösser als eins auf. Insgesamt zeigen sieben Länder der von der KOF betrachteten Ländergruppe einen RTA-Wert von mehr als 1 und drei Länder haben immer noch einen RTA Wert von grösser als 1.5 (China, Irland, Singapur).

Gestützt auf eine Schätzung der durchschnittlichen technologischen *Erfindungsqualität* lässt sich die Position der Schweiz nicht nur volumen-, sondern auch qualitätsbezogen beurteilen. Dabei zeigt sich, dass einerseits der Anteil der Schweizer Erfindungen im Bereich IKT an den globalen Erfindungen im Vergleich mit anderen Technologien deutlich zurückfällt. Andererseits ist der technologische Wert der Erfindungen leicht überdurchschnittlich (vgl. Abbildung 22).

Abbildung 22: Entwicklung des Anteils Schweizer Patente und des technologischen Werts für ausgewählte Patentgruppen (Analyseperiode: 1999-2005)



Anmerkung: Dünne schwarze Linien: durchschnittliche Werte für technologischen Wert, resp. den Weltanteil aller Patentanmeldungen der Schweiz. Die Kreise stellen Beobachtungen für verschiedene Jahre dar; gelbe Markierung: Erste Beobachtung (1999). Die Berechnungen sind als Annäherung zu verstehen, da sich die Definitionen der Technologien zwischen den beiden Quellen unterscheiden.

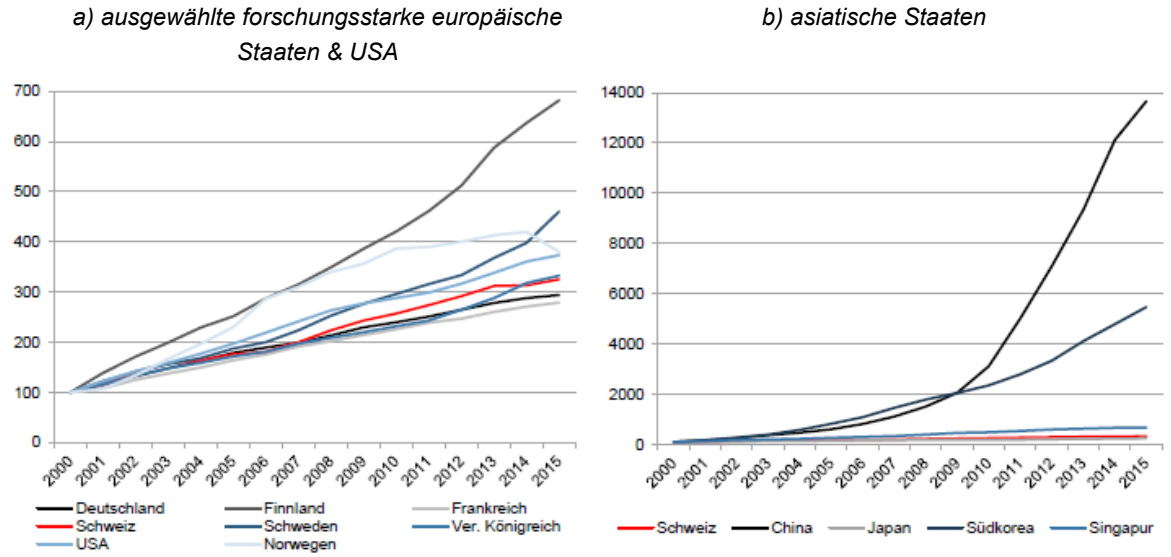
** Annäherungsweise Berechnung, da die Patentkategorie bei der KOF (Chemie, Pharma, Kunststoffe) breiter gefasst ist als bei der OECD (Pharmazeutik).*

Quelle: Darstellung SBFI auf Basis von Arvanitis et al. (2015) und OECD (2017).

Allerdings konnte die KOF vor allem auch den für die Schweiz kritischen Befund nachweisen, dass der technologische Wert der Schweizer IKT-Patente im *internationalen Vergleich* nicht mit jenem führender Länder mithalten kann. Die Schweiz befindet sich dabei in der hinteren Hälfte der untersuchten Ländergruppe, während die USA und Israel die höchsten Durchschnittswerte aufweisen, gefolgt von Finnland, Irland und Grossbritannien.

Eine durch BAKBASEL erstellte Analyse der Patentaktivität in ausgewählten digitalisierungsbezogenen Technologiefeldern zeigt hinsichtlich der Entwicklung ähnliche Befunde wie die Entwicklung der Forschungstätigkeit: Im Vergleich mit den europäischen Ländern zeigt die Schweiz in der Gesamtsicht eine durchschnittliche Entwicklung, wobei die Aktivität in Teilbereichen (z.B. «Künstliche Intelligenz») überdurchschnittlich stark ausgeweitet werden konnte. Hinsichtlich der Entwicklung in anderen zentralen Bereichen – bspw. in den Technologien des «Internets der Dinge» – fällt die Schweiz jedoch zurück. In allen Teilbereichen haben einige aufstrebende Länder Asiens ihre Aktivitäten demgegenüber deutlich stärker ausgeweitet (vgl. Abbildung 23 für die Gesamtentwicklung sowie Anhang 3.5, Abbildung J für die Entwicklungen innerhalb der einzelnen Technologiefelder).

Abbildung 23: Entwicklung der Patentaktivitäten in ausgewählten digitalisierungsbezogenen Technologiefeldern (Additive Manufacturing, künstliche Intelligenz, Internet der Dinge, Robotik; Index 2000=100)



Quelle: BAKBASEL (2017): «Digitalisierungstechnologien in Patentaktivitäten», Studie im Auftrag des SBFI.

Die Studie von BAKBASEL gibt auch exemplarische Hinweise darauf, dass die Kombination von traditionellen Technologien mit Digitalisierungstechnologien zu höherwertigen Patenten führt. Die Schweiz fällt in der Verflechtung mit Digitalisierungstechnologien – bspw. in der Medizinaltechnik oder der Industrie 4.0 – etwas ab. D.h. sie steht in den einzelnen Technologien besser da, während andere vergleichbare Länder die Verflechtung besser realisieren können (vgl. Anhang 2, Abbildung K). Auch andere Studien bestätigen die verhaltene Position und Entwicklung der Schweiz bezüglich IKT-Patenten. So untersuchte die deutsche Expertenkommission Forschung und Innovation[87] die Patentaktivität in den Bereichen Computer und Telekommunikation: Tabelle 3 zeigt die Veränderung bei den transnationalen Patentanmeldungen zwischen den Perioden 1999-2001 und 2009-2011. Im Bereich der Computertechnologie hat sich die Anzahl der transnationalen Patentanmeldungen in den führenden Staaten von 20.346 auf 26.550 erhöht. Der Anteil der Schweiz nahm dabei innerhalb von zehn Jahren von 1.2% auf 0.8% ab. Besonders China hat bei den Patentanmeldungen in der Computertechnik stark aufgeholt. Noch dynamischer war die Entwicklung der Patentanmeldungen mit einer Erhöhung von 33‘247 auf 51‘964 im Bereich der Telekommunikation. Auch hier hatte die Schweiz Ende der 1990er Jahre einen Anteil von 1.2%, welcher zehn Jahre später auf 0.5% gesunken ist. Mittlerweile hat sich China auf den Spitzenplatz vorgearbeitet und sogar die USA überholt.

[87] Expertenkommission Forschung und Innovation (2014): «Jahresgutachten zu Forschung, Innovation und technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands 2014».

Tabelle 3: Verteilung der transnationalen Patentanmeldungen verschiedener Länder in den Bereichen Computer und Telekommunikation

	Transnationale Patentanmeldungen in den Jahren 1999-2001			Transnationale Patentanmeldungen in den Jahren 2009-2011		
		Anzahl	Anteil in %		Anzahl	Anteil in %
Computer	USA	9202	45.2	USA	13948	52.5
	Japan	5419	26.6	Japan	5021	18.9
	Deutschland	2105	10.3	China	2216	8.3
	Frankreich	1176	5.8	Deutschland	1586	6.0
	Großbritannien	1147	5.6	Korea	1299	4.9
	Korea	628	3.1	Frankreich	1132	4.3
	Schweden	285	1.4	Großbritannien	824	3.1
	Schweiz	254	1.2	Schweden	311	1.2
	China	130	0.6	Schweiz	213	0.8
	Summe	**20346**	**100.0**	**Summe**	**26550**	**100.0**
Telekommunikation	USA	14715	44.3	China	15791	30.4
	Japan	5670	17.1	USA	11947	23.0
	Deutschland	4974	15.0	Japan	8026	15.4
	Frankreich	2284	6.9	Korea	5262	10.1
	Großbritannien	2251	6.8	Deutschland	3790	7.3
	Schweden	1633	4.9	Frankreich	2718	5.2
	Korea	1052	3.2	Schweden	2185	4.2
	Schweiz	390	1.2	Großbritannien	1967	3.8
	China	278	0.8	Schweiz	278	0.5
	Summe	**33247**	**100.0**	**Summe**	**51964**	**100.0**

Quelle: EFI-Gutachten 2014 und Gehrke et al (2014): «Informations- und Kommunikationstechnologien in Deutschland und im internationalen Vergleich – ausgewählte Innovationsindikatoren», Studien zum deutschen Innovationssystem Nr. 11, Berlin: EFI.

Auch eine Studie der OECD analysiert die Patenttätigkeit in ausgewählten wichtigen Technologien der Digitalisierung.[88] Und auch in dieser Studie bestätigt sich, dass die Schweiz in diesen Bereichen nicht zu den führenden Ländern zählt und dass die Patentaktivität der Schweiz im Vergleich zur Gesamtaktivität der Schweiz deutlich unterdurchschnittlich ausfällt.[89] In einer vertieften Analyse sehr spezifischer Technologien, die in den vergangenen zehn Jahren am stärksten an Bedeutung gewonnen haben, zeigt die OECD überdies, dass die Schweiz hierbei teilweise deutlich unterdurchschnittliche Anteile aufweist.[90] Schliesslich zeigt eine Studie der Prognos bezüglich der Analyse der Forschungs- und Technologieintensität der Schweizer Industrie,[91] dass Digitalisierungstechnologien sowohl im Hinblick auf die Forschungsausgaben als auch bezüglich der Exporte nicht zu den bedeutenden Technologien für die Schweiz zählen.[92]

4.4 Handlungsbedarf im Bereich «Forschung & Innovation»

Die Schweiz ist global betrachtet eines der weltweit führenden Länder in der Entwicklung neuer Technologien. Die auf der Entwicklung neuer Technologien aufbauenden neuen Produkte liefern einen wesentlichen Beitrag zur Wertschöpfung und somit zum Wirtschaftswachstum der Schweiz. Das Hervorbringen neuer Technologien ist entsprechend auch ein wesentlicher Wettbewerbsfaktor für Schweizer Unternehmen. Durch die Entwicklung und Vermarktung neuer Technologien können die Unternehmen dem intensiven internationalen Wettbewerb begegnen, der sich gerade in jüngster Zeit aufgrund der Aufwertung des Schweizer Frankens noch intensivierte. Für die Schweiz ist es deshalb zentral, ihre Chancen möglichst gut zu nutzen.

88 OECD (2016): «OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016».
89 OECD (2015): «OECD STI Scoreboard 2015».
90 Digital data transfer (0.2%), Sensitive semiconductor devices (0.8%), Multiplex communication systems (0.1%), Wireless resources management (0.2%), Human interface for digital data transfer (0.2%), Mobile application services (0.3%), Data processing equipment (0.2%), Wireless communication monitoring (0.2%).
91 Böhmer/Weiss (2014): «Forschungs- und Technologieintensität in der Schweizer Industrie», Strukturberichterstattung Nr. 53/5, Studie im Auftrag des Staatssekretariats für Wirtschaft SECO, Bern.
92 Auswertung der zwölf wichtigsten von insgesamt 32 Technologien.

Für den zukünftigen Wohlstand dürfte entscheidend sein, wie die Schweiz mit dem digitalen Wandel umgeht und inwiefern das damit einhergehende Potenzial genutzt wird. Angesichts der beschriebenen Entwicklungen im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung kommt der IKT-Grundlagenforschung in ihrer ganzen Breite eine zentrale Bedeutung zu; nicht zuletzt, weil sie auch die Grundlagenforschung und Technologien über alle Fachbereiche hinweg transformiert.

4.4.1 Notwendige Stärkung der Grundlagenforschung

Die Analyse der Forschungsaktivitäten von Hochschulen (Kapitel 4.1 und 4.2) und der Wirtschaft (Kapitel 4.3) hat gezeigt, dass die Schweiz insgesamt keinen besonderen Forschungsschwerpunkt im Bereich IKT aufweist. Zudem fällt sie, was die Publikationsleistung anbelangt, im internationalen Vergleich gerade in solchen Forschungsbereichen ab, die einen Grossteil jener Digitalisierungstechnologien abdecken, die im vergangenen Jahrzehnt an besonderer Bedeutung gewonnen haben.

Die statistische Analyse kann Hinweise auf die relative Position der Schweiz im internationalen Vergleich geben. Sie zeigt in der notwendigen Aggregationsstufe allerdings nicht, in welchen Themenbereichen konkreter Handlungsbedarf besteht. Auf Basis einer *inhaltlichen* Beurteilung der Entwicklung digitaler Technologien hat daher eine interdisziplinäre Expertengruppe aus Wissenschaft und Wirtschaft die Herausforderungen der Digitalisierung im Bereich Forschung und Innovation zusätzlich nach inhaltlichen Schwerpunkten untersucht und für die Schweiz in folgenden Bereichen Handlungsbedarf identifiziert:[93]

Im Bereich des Cloud Computing steht als Herausforderung die Datensicherheit im Mittelpunkt. Da die technische Entwicklung bei Clouds rasche Fortschritte macht, muss die Schweiz hier zusätzliche Kompetenzen aufbauen, um nicht auf den reinen Import von ausländischen Dienstleistungen angewiesen zu sein, sondern auch eigene, sichere, *State-of-the-Art*-Cloud Rechenzentren entwickeln und betreiben zu können. Als übergeordnetes Feld ist hier zudem vor allem Forschung (und Lehre) im Bereich resilienter Systeme und Netze (Sicherheit, Verfügbarkeit, Verifizierbarkeit) sowie neuer Rechner- und Systemkonzepte und -architekturen wichtig.

Bezüglich Cyber-Physischer Systeme (inkl. Internet of Things (IoT), Industrie 4.0 oder Industrie 2025) steht die Schweiz erst am Anfang ihrer Entwicklung; Hauptgrund hierfür ist der Mangel an ausgebildeten Informatikern. Im Hochschulbereich fehlt trotz wichtigen Forschungsarbeiten der explizite Fokus auf den sehr interdisziplinären Bereich der *Cyber-Physischen Systeme.* Zusätzlich gilt für die IoT-Technologien selbst, dass sich weitere Forschungsanstrengungen auf energieeffiziente Hard- und Software, sowie Kommunikation konzentrieren müssen, um einerseits eine dezentrale Informationsverarbeitung zu ermöglichen und andererseits auch dort Sensoren einsetzen zu können, wo dies bislang aus energetischen Gründen noch nicht möglich ist.

Im Bereich Big Data wurden in der Schweiz bereits einige Initiativen gestartet. Im Mai 2016 wurde unter Führung der beiden ETH eine *Initiative for Data Science in Switzerland*[94] ins Leben gerufen. Im Rahmen dieser Initiative wurde auch das *Swiss Data Science Center* (SDSC) geschaffen, um die Fragmentierung der momentanen Datenbearbeitungs- und -analysemethoden und Systeme zu adressieren. Daneben gilt es aber auch die Forschungs- und Innovationsanstrengungen bei den Grundlagen (Verarbeitung, Analyse, Visualisierung, Datenschutz, usw.) und Anwendungen im Bereich Big Data zu stärken. Zusätzlich müsste diesbezüglich auch das Ausbildungsangebot ausgebaut werden, da die Industrie weltweit intensiv nach Experten in diesem Bereich sucht. Die Signifikanz dieses Bereiches für zukünftige neue aber auch traditionelle Geschäftsfelder wird heute gemäss dieser Expertise unterschätzt.

---

[93] Expertengruppe zur Eruierung des Handlungsbedarfs im Bereich Forschung und Innovation für die Digitalisierung (2016) «Forschung und Lehre für die Digitale Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz», Bericht im Auftrag des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation.

[94] https://datascience.ch

Auch im Bereich des Social Computing[95] wird in der Schweiz bisher nur wenig Forschung und Innovation betrieben.

Für die Entwicklung von Forschungskompetenzen bezüglich Künstlicher Intelligenz (KI) oder lernender Systeme leisten die schweizerischen Hochschulen bereits bedeutende Beiträge. Dennoch bleibt der Handlungsbedarf wegen der raschen technischen Entwicklung und enormen wirtschaftlichen Bedeutung signifikant. Dies gilt für die Grundlagenforschung, die Anwendung in bestimmten Domänen und vor allem auch für die Ausbildung, da Informatiker mit einer Spezialisierung in KI viel zur zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz werden beitragen müssen. Diese Informatiker werden weniger in IT-Firmen arbeiten als in der Industrie und in Dienstleistungsunternehmen, die ihre Angebote und Prozesse mit Hilfe von KI revolutionieren werden.

In den Bereichen dezentraler Systeme und fehlertolerantes Computing ist es für die Schweiz mit ihrer traditionell sehr starken Finanzindustrie vor allem essentiell, bei Fintech-Technologien (etwa Blockchain) präsent zu sein. Auch hier müssen die Hochschulen wichtige Forschungs- und Innovationsbeiträge leisten, da neben den innovativen Geschäftsmodellen vor allem die eingesetzte Technologie und deren Weiterentwicklung entscheidend ist.

Die fortschreitende Digitalisierung im Bereich der kritischen Infrastrukturen bringt neue Herausforderungen in Bezug auf deren sicheren Betrieb mit sich. Die Berücksichtigung der Cyber Risiken im Rahmen des Schutzes kritischer Infrastrukturen gewinnt damit immer grössere Bedeutung und ist eine zentrale Aufgabe für den Staat, die Wirtschaft und jeden einzelnen Bürger.

Grosser Bedarf an Grundlagenforschung besteht schliesslich für die Entwicklung neuartiger Rechnerarchitekturen, da diese Entwicklungen erst am Anfang stehen. Beispiele sind 3D-Prozessoren, biologisch motivierte Architekturen oder auch Quantencomputer. Die Schweizer Hochschulen mit ihren Kompetenzen in Materialwissenschaften, Nanotechnologie, Informatik, Elektrotechnik und der Verbindung zu Projekten in der Hirnforschung (Human Brain Project) wären hierfür direkt prädestiniert einen signifikanten Beitrag zu leisten.
Transversal relevant und wesentlich in den obigen Gebieten ist Forschung in den Grundlagen der Informatik wie Softwaretechnologie, Systementwicklung, formale Methoden, Algorithmen und Theorie.

4.4.2 Breite Forschungsbasis als Voraussetzung für WTT-Optimierung

Für die Generierung von technologischen Innovationen ist der Zugang zu universitärer Forschung von grosser Bedeutung. In der Schweiz weisen rund ein Drittel der Firmen mit mehr als fünf Beschäftigten Transferaktivitäten mit Hochschulen auf.[96] Zudem fliesst das Wissen insbesondere durch Publikationen, Patente/Lizenzen, Spin-offs und hoch qualifizierte Hochschulabsolventen auch in die unternehmerische Welt. Der Zugang zu Humankapital, Problemlösungsfähigkeiten und zu neuer Forschung oder die Entwicklung neuer Produkte gehören zu den wichtigen Beweggründen für Transferaktivitäten.

Eine Studie für die Schweiz[97] zeigt, dass neben den grundsätzlichen Voraussetzungen an die Wissensbasis in den Firmen auch die fachliche Nähe zwischen der Forschung an den Hochschulen und der in den Firmen verwendeten Technologien eine zentrale Rolle spielt. Wie zu erwarten, zeigt die Studie grosse WTT-Aktivitäten vor allem in jenen Bereichen, in welchen sowohl Hochschulen als auch Firmen selbst sehr forschungsaktiv sind.

---

[95] Unter Social Computing, einer eher jungen Disziplin der Informatik, versteht man die Analyse und Unterstützung sozialer menschlicher Interaktionen. Dazu gehört Social Sensing (soziale Medien, Smartphones als Sensoren, Crowdsourcing wie z.B. Wikipedia) ebenso wie soziale Modelle (Künstliche Intelligenz angewandt auf die Sozialwissenschaften).

[96] Vgl. Wörter (2012): «Technology proximity between firms and universities and Technology transfer», The journal of technology transfer.

[97] Wörter (2012): «Technology proximity between firms and universities and Technology transfer», The journal of technology transfer.

Zudem zeigt die Studie, dass sich Firmen auch bei solchen Technologien stark in WTT-Aktivitäten engagieren, in denen ihre eigene Wissensbasis klein ist, aber in welchen die Hochschulen besonders forschungsaktiv sind. In diesem Fall tätigen Unternehmen Transferaktivitäten vor allem um ihre eigene Wissensbasis zu aktualisieren und zu erweitern und dadurch ihre Wettbewerbsfähigkeit in bestimmten Technologiefeldern zu verbessern. Darüber hinaus zeigen die Unternehmen eine Tendenz, ihre Kontakte mit den Hochschulen zu diversifizieren, um einen Wissens-Lock-in[98] zu vermeiden. Dies bestätigt die positiven Effekte einer breiten Wissensbasis, welche zu einem Technologie-«Push» von Hochschulen zum privaten Sektor und dadurch zur langfristigen Wettbewerbsfähigkeit des Transferpartners beiträgt.

Die neuen Digitalisierungstechnologien haben in der vergangenen Dekade eine unbekannte Dynamik an den Tag gelegt, welche wesentlich auf ihre Transversalität und auf die Nicht-Linearität in der Anwendung dieser Technologien zurückzuführen ist. Vor diesem Hintergrund ist derzeit nicht absehbar, welche Technologien in Zukunft in welchen Kombinationen bedeutsam sein werden. Ein Zurückfallen der Schweiz gerade in solchen Bereichen, welche in den letzten Jahren für den WTT eine grosse Bedeutung aufgewiesen haben, ist für den Forschungs- und Innovationsstandort Schweiz als ein zentrales Risiko einzustufen.

Die Innovationsfähigkeit im Bereich der Digitalisierung bedingt Technology Hubs, in denen mehrere Elemente wechselseitig zusammenspielen müssen, um einen Selbstverstärkungs-effekt zu erzeugen. Dazu gehören: Spitzenhochschulen, exzellente Fachkräfte in der Wirtschaft und der Akademie als Innovatoren, eine etablierte Start-up Szene (inkl. Risikokapitalgeber), ein Pool junger kreativer Talente (die von diesem Umfeld angezogen werden) sowie die notwendige Infrastruktur. Weltweit existieren nur wenige solcher Hubs. Die Schweiz hätte hier mit fokussierten Zentren das Potenzial aufzuschliessen.

[98] Darunter versteht man eine starke Abhängigkeit von bestimmten Technologien (oder spezifischem Wissen), die es wegen hoher Wechselkosten erschwert oder verunmöglicht, auf eine andere Technologie zu wechseln.

5 Aktionsfelder und Massnahmen im Bereich Bildung

Wie in den Kapiteln 2 und 3 aufgezeigt, ist die Digitalisierung dabei, unsere Gesellschaft und unsere Wirtschaft zu verändern. Um sicherzustellen, dass sich das Bildungssystem der Schweiz der digitalen Entwicklung auf angemessene Weise anpasst, muss auf verschiedenen Ebenen gehandelt werden:

- auf der Ebene der Individuen: Lernende, Schülerinnen und Schüler, Studierende, Lehrpersonen wie auch die Schulleitungen benötigen umfangreiches Wissen und müssen sich neue Kompetenzen aneignen. Zu diesem Zweck muss die Nutzung der IKT und digitaler Medien beim Lehren und Lernen gefördert werden;
- auf der Ebene der Schulen und anderer Lernorte braucht es die Veränderungen anstossende und tragende Schulleitungen, innovationsfreundliche Schulkulturen, explizite diesbezügliche Strategien, bedürfnisgerechte Infrastrukturen, umfangreiche Weiterbildungen und Beratungen sowie technischen Support;
- auf der Ebene des Bildungssystems müssen ebenfalls umfangreiche Überlegungen angestellt werden, beispielsweise hinsichtlich bildungspolitischer Vorgaben, digitaler Lehrmittel und Lernsoftware, ausreichender finanzieller Ressourcen zur Beschaffung, Aus- und Weiterbildungen sowie in der Beratung. Das Bildungssystem muss zudem ausreichend flexibel sein, um sich den (gegenwärtigen und zukünftigen) Anforderungen des Marktes rasch anpassen zu können.

Ausgehend von diesen Überlegungen werden nachfolgend die vier folgenden Aktionsfelder definiert:

- Aktionsfeld 1: Verbesserung der digitalen Kompetenzen in der Schule
- Aktionsfeld 2: Nutzung der IKT beim Lehren und Lernen
- Aktionsfeld 3: Rasche Anpassung des Bildungssystems an die Anforderungen des Marktes
- Aktionsfeld 4: Koordination und Kommunikation in der Bildungszusammenarbeit

Die auf die Aktionsfelder bezogenen Handlungsempfehlungen beschränken sich auf Massnahmen, welche relevant und geeignet sind, den identifizierten Schwächen im Hinblick auf die Herausforderungen der Digitalisierung entgegenzuwirken. Die Selektion erfolgte zudem unter Beachtung folgender Prinzipien:

- Beschränkung des bundesseitigen Engagements auf Massnahmen, die in der (Mit-) Verantwortung des Bundes liegen. Massnahmen ausserhalb der Kompetenz des Bundes sind über die Nennungen der Zuständigkeiten ausgewiesen. Sie haben lediglich empfehlenden Charakter.
- Beschränkung auf bestehende gesetzliche Grundlagen und Förderinstrumente.

5.1 Aktionsfeld 1: Verbesserung der digitalen Kompetenzen in der Schule

Wie in Kapitel 3.2 erläutert, ist es grundlegend, dass alle Schülerinnen und Schüler, Lernenden und Studierenden grundlegende digitale Kompetenzen erwerben und in der Lage sind, die Medien sinnvoll zu nutzen. Diese Kompetenzen werden sich in ihrem Privat- und Berufsleben als hilfreich erweisen. Auf den verschiedenen Bildungsstufen wurden dazu bereits weitreichende Anstrengungen unternommen. Diese müssen fortgeführt und weiter verstärkt werden.

Ziel:	Alle Schülerinnen und Schüler sollten über grundlegende Informatikkompetenzen verfügen und in der Lage sein, digitale Medien und Informatik-Tools zu verstehen, korrekt einzusetzen, davon zu profitieren und sich vor den damit verbundenen Gefahren zu schützen.

Massnahmen:

- **Der Bund lädt die Kantone ein, ihre diesbezüglichen Anstrengungen fortzusetzen oder zu intensivieren.**

  Zuständigkeit:

  Obligatorische Schule: Kantone (Artikel 62 Absatz 1 BV)
  Berufsbildung: Bund, Kantone und Organisationen der Arbeitswelt (Rechtsgrundlage: Art. 15, 16, 20 und 21 BBG)

- **Um die Informatik als Grundlagenfach in den Gymnasien einzuführen, unterstützt der Bund die deutliche Stärkung der Informatik im Rahmenlehrplan. Im Falle einer Revision des Rahmenlehrplans führt er rasch eine Revision der Maturitätsanerkennungsverordnung (MAV) durch.**

  Zuständigkeit:

  Gymnasien: Kantone und Bund (Rechtsgrundlage: Art. 9 MAR/MAV)

5.2 Aktionsfeld 2: Nutzung der IKT beim Lehren und Lernen

Die Digitalisierung verändert den Kontext des Lehrens und Lernens von Grund auf. Studien zeigen zudem, dass bezüglich der Nutzung von IKT im Unterricht ein grosses Verbesserungspotenzial vorhanden ist (vgl. Kapitel 3.3). Um vermehrt von den Vorteilen der IKT in den Bereichen Lehren und Lernen profitieren zu können, müssen gute Rahmenbedingungen gewährleistet werden. Notwendig sind eine gute digitale Infrastruktur, die den neusten technologischen Entwicklungen angepasst werden kann, ein besserer Zugang zu digitalen Lehr- und Lernressourcen, eine angemessene Ausbildung der Lehrpersonen sowie mehr Sicherheit und Datenschutz. Da die Folgen, Chancen und Risiken im Zusammenhang mit der Digitalisierung die alltägliche pädagogische Praxis auf allen Ebenen – von der Schule über die Berufsbildung und die Hochschulen bis hin zur Weiterbildung – betreffen, drängt sich ein koordinierter Ansatz auf, der sich auf das gesamte System anwenden lässt.

5.2.1 Technische Infrastruktur

In der Schweiz hat eine überwiegende Mehrheit der Jugendlichen die Möglichkeit, sowohl zu Hause als auch in der Schule einen Computer zu benutzen. Fast alle Schulen verfügen über Computer und eine Internetverbindung. Um eine breite Nutzung der IKT in den Schulen sicherzustellen, genügt es allerdings nicht, Geräte und eine Internetverbindung zur Verfügung zu stellen. Gefordert sind auch eine funktionstüchtige Ausstattung, wenn möglich in allen Schulzimmern, eine sichere Infrastruktur, eine stabile und schnelle Verbindung (vor allem im Hinblick auf die Zunahme des Datenverkehrs aufgrund der technologischen Entwicklung) und ein garantierter Zugang zu digitalen Diensten. Zu einer effizienten Ausstattung gehören nicht nur Geräte, sondern auch der interne Support, der Unterhalt und die Erweiterung des Informatikparks. Schulen sind heute mit verschiedenen Fragen konfrontiert, beispielsweise bezüglich der Kompatibilität der persönlichen Geräte (z.B. Mobiltelefone) mit der schulischen Infrastruktur oder der Frage, wie die persönliche Ausrüstung der Schülerinnen und Schüler aussehen sollte und in welchem Umfang die Online-Angebote genutzt werden sollen.

Ausserdem benötigen die Schulen juristische Unterstützung bei der Beschaffung der Infrastrukturen, weil die Komplexität und fehlende Transparenz des Marktes die Entscheidungsfindung erschweren. Es ist für die Schulen schwierig und aufwändig, die Bestimmungen im Rahmen der Lizenz- und Nutzungsverträge und -bedingungen für IKT-Produkte zu verstehen und mit den Anbietern von IKT-Mitteln zu verhandeln. Die Bestimmungen der Verträge sind mittels Rahmenverträgen zu verarbeiten, um allfällige

erfolgskritische Bestimmungen nachverhandeln zu können. Auch wenn eine Beschaffung nicht nötig ist, brauchen die Schulen fortlaufend Unterstützung. Im Auftrag der öffentlichen Hand handelt educa.ch[99] bereits solche Rahmenverträge mit Herstellern und Lieferanten aus, um den Schulen Software zu vorteilhaften Bedingungen anbieten zu können. Diese Unterstützung muss jedoch weiter intensiviert werden. Damit ein für spezifische Schul- und Unterrichtszwecke geeignetes Produkt gefunden und angeschafft werden kann, sollten damit gemachte Erfahrungen und das vorhanden Wissen aufbereitet und auf Orientierungsplattformen und Portalen mit «*Good practice*» Beispielen zur Verfügung gestellt werden. Den Schulen beziehungsweise den betreffenden Stellen obliegt es dann, diese in ihre Entscheidungsfindung einzubeziehen.

Ziel: Alle Schulen der obligatorischen Stufe und der Sekundarstufe II sollten über eine digitale Infrastruktur verfügen, die es den Lehrpersonen ermöglicht, IKT und digitale Medien zu nutzen.

Massnahmen:

- **Der Bund lädt die Kantone ein, ihre diesbezüglichen Anstrengungen fortzusetzen oder zu intensivieren.**

  Zuständigkeit: Kantone und Gemeinden

- **Der Aufbau einer schweizerischen «eduCloud» und deren gemeinsame Nutzung durch die Schulen bis Sekundarstufe II ist zu prüfen.**

  Zuständigkeit: Bund und Kantone gemeinsam auf Basis von Art. 2 Bst. e und f. sowie Art. 6 Bst. b und d. ZSAV-BiZ

- **Grundlagen schaffen zur Sicherstellung von ausreichenden Kompetenzen der Schulen bis Sekundarstufe II bei der Anschaffung der Infrastrukturen, insbesondere bei der Beschaffung und beim Unterhalt.**

  Zuständigkeit: Bund und Kantone gemeinsam auf Basis von Art. 2 Bst. e und f. sowie Art. 6 Bst. b und d. ZSAV-BiZ

5.2.2 Lehrmittel und andere Lehr- und Lernressourcen

Um IKT-Kenntnisse und transversale Kompetenzen nachhaltig über die ganze Schullaufbahn hinweg zu vermitteln, sollten Lehrmittel auf allen Stufen optimal aufeinander aufbauen, respektive aufeinander abgestimmt sein. Neue technische Möglichkeiten sollten – soweit didaktisch sinnvoll – ausgeschöpft werden. Gleichzeitig werden Bildungsinhalte im Internet zunehmend frei verfügbar sein. Faktisch werden ein zeitlich oder räumlich eingeschränkter Zugang und Einschränkungen bei der Nutzung von Inhalten nicht dauerhaft durchsetzbar sein. Eine weitere Herausforderung ist die Verbesserung des Zugangs zu den bereits online verfügbaren Ressourcen.

Ziel: Die Lehrmittel und andere Lehr- und Lernressourcen sollten den neuen, mit der Digitalisierung einhergehenden Herausforderungen angepasst sein.

[99] http://www.educa.ch/de/rahmenvertraege

Massnahmen:

- **Der Bund lädt die Kantone ein, ihre diesbezüglichen Anstrengungen fortzusetzen oder zu intensivieren.**

  Zuständigkeit: Kantone

- **Sicherstellung der technischen Voraussetzungen und der Interoperabilität für die Bildungsplattformen mittels Schaffung von Standards bis Sekundarstufe II.**

  Zuständigkeit: Bund und Kantone gemeinsam auf Basis von Art. 2 Bst. e und f. sowie Art. 6 Bst. b und d. ZSAV-BiZ

5.2.3 Digitale Kompetenzen und Wissensvermittlung der Lehrpersonen und der Schulleitungen

Bisherige Forschung deutet darauf hin, dass die IKT nur dann im Unterricht eingesetzt werden, wenn Lehrpersonen nicht nur davon überzeugt sind, dass Medien für das Leben in der Gesellschaft allgemein wichtig sind und dass Anwendungs- und Konzeptkenntnisse für das spätere Berufsleben von Schülerinnen und Schülern hilfreich sein dürften, sondern auch Überzeugungen in Bezug auf die Verbesserung der Lehr- und Lernprozesse bestehen. Lehrpersonen sollten explizit eigene digitale Kompetenzen, Kenntnisse im Bereich Mediensozialisation sowie mediendidaktische und medienpädagogische Kompetenzen für ihre Arbeit auf der schulischen Zielstufe und im Bereich medienbezogener Schulentwicklung besitzen. IKT und digitale Medien werden vor allem dann mit ihrem vollen Potenzial eingesetzt, wenn Lehrpersonen insgesamt innovationsfreundlich eingestellt sind[100].

Für den Bereich der Lehrerbildung (Volksschule, Gymnasien) sind die Kantone zuständig. Der Bund führt das Eidgenössische Hochschulinstitut für Berufsbildung (EHB); ihm obliegt zudem die Anerkennung von Bildungsgängen für Berufsbildungsverantwortliche (überbetriebliche Kurse, Berufsfachschulen). Die Schweizerische Hochschulkonferenz (SHK) als oberstes hochschulpolitisches Organ der Schweiz kann auf Antrag von swissuniversities projektgebundene Beiträge an hochschultypenübergreifende Kooperationsprojekte zusprechen.

Ziel:	Förderung der für die Nutzung der IKT und der digitalen Medien im Unterricht notwendigen digitalen Kompetenzen der Lehrpersonen.

Massnahmen:

- **Angebote zur Förderung der digitalen Kompetenzen in der Grundausbildung der Lehrpersonen**
  - Der Bund lädt das Eidgenössische Hochschulinstitut für Berufsbildung (EHB) ein, Aspekte im Zusammenhang mit den IKT vermehrt in die Grundausbildung der Berufsbildungsverantwortlichen in überbetrieblichen Kursen und Berufsfachschulen / höheren Fachschulen zu integrieren.
  - swissuniversities wird von der SHK eingeladen, Massnahmen zur Stärkung digitaler Anwendungskompetenzen («Digital Skills») zu prüfen (vgl. dazu ausführlich Aktionsfeld 5). Dazu können auch hochschultypenübergreifende Kooperationsprojekte gehören, die der Stärkung der Digitalisierung in der Grundausbildung der Lehrerinnen und Lehrer an den Hochschulen dienen (z.B. Entwicklung und Vermittlung neuer didaktischer Modelle, die auch die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Informatik und den anderen Fachbereichen berücksichtigen).

[100] 2011: «Beiträge zur Lehrerbildung».

Zuständigkeit :
- EHB[101]: Bund (Rechtsgrundlage: Art. 46 und 48 BBG)
- Projektgebundene Beiträge an Hochschulen: swissuniversities und SHK (Rechtsgrundlage: Art. 59 Abs. 1 und 4 HFKG)

- **Verstärkung der Weiterbildung der Lehrerinnen und Lehrer**
  - Der Bund lädt die Kantone ein, ihre diesbezüglichen Anstrengungen fortzusetzen oder zu intensivieren.
  - Der Bund ermuntert die Anbieter von Weiterbildungskursen, im Rahmen der Weiterbildung für Lehrpersonen ein qualitativ hochwertiges Angebot zu gewährleisten.

  Zuständigkeit:
  - Kantone und Gemeinden (als Arbeitgebende)
  - Lehrerinnen und Lehrer (als Teilnehmende)
  - Bildungsinstitutionen (z.B. EHB, als Anbieter)

- **Sensibilisierung der Schulverantwortlichen und der Lehrpersonen bis Sekundarstufe II sowie Austausch von Informationen**
  - Der Bund unterstützt die Organisation von Sensibilisierungskampagnen über die Vorteile der Digitalisierung für den Unterricht bis Sekundarstufe II.
  - Der Bund unterstützt eine nationale digitale Plattform, wo die Lehrpersonen bis Sekundarstufe II bewährte Praktiken eintragen oder suchen können, um die IKT und die digitalen Medien besser in ihren Unterricht zu integrieren.
  - Der Bund unterstützt Treffen aller beteiligten Parteien (Schulverantwortliche, Lehrpersonen und andere bis Sekundarstufe II).

  Zuständigkeit: Bund und Kantone gemeinsam auf Basis von Art. 2 Bst. e und f. sowie Art. 6 Bst. b und d. ZSAV-BiZ

5.2.4 Datenschutz und -sicherheit im digitalen Bildungsraum

Die Digitalisierung stellt dringende Fragen nach der Sicherheit der Daten. Die Sicherheit basiert insbesondere auf der Vertrauensbeziehung zwischen den Dienstleistungsanbietern und der Schule, die den Dienst nutzen. Eine besondere Herausforderung stellt dabei die Personalisierung der Nutzungsdaten dar. In der Regel gehört es zum Geschäftsmodell solcher Dienstleistungsanbieter, dass sie die Personendaten der Endbenutzenden für eigene Zwecke weiterverwenden. Problematisch wird dies, sobald die personalisierten Nutzungsdaten an Dritte weiterverkauft beziehungsweise von Dritten weiterverarbeitet werden, ohne dass die Endbenutzenden davon Kenntnis haben. Endbenutzende müssen überdies eine Vielzahl von Benutzerkonten beziehungsweise Logins verwalten, meist für jeden einzelnen genutzten Dienst. Personenbezogene Daten werden durch die verschiedenen Dienstleistungsanbieter jeweils unterschiedlich verwendet, so dass die Endbenutzenden sich mit vielerlei unterschiedlichen Bedingungen konfrontiert sehen. Die Vertrauensbasis zu den einzelnen Dienstleistungsanbietern muss jeweils wieder neu verhandelt werden. Neben der Beseitigung datenschutzrechtlicher Probleme gilt es, schweizweit einen sicheren Zugang zu Onlinediensten für alle Ebenen des Bildungssystems einzurichten.

[101] Einflussnahme via Rahmenlehrpläne und Anerkennungsverfügungen

Die Schaffung eines sicheren Zugangs zu Onlinediensten ermöglicht es, für einen bestimmten Personenkreis über die Nutzung personenbezogener Daten zu entscheiden sowie diese Entscheidung vertraglich festzuhalten und durchzusetzen. Die Kantone sind gegenwärtig dabei, zu diesem Zweck eine Föderation von Identitätsdiensten (FIDES) zu gründen. Die Föderation implementiert auf nationaler Ebene gemeinsame Kriterien, Standards und Regeln bezüglich des Anmeldeprozesses bei Onlinediensten, mit dem Ziel, dass sich sowohl die Dienstleistungsanbieter als auch die Identitätsanbieter daran halten. Dank der Verträge zwischen Föderation, Dienstleistungsanbieter und Kantonen gewinnen die Teilnehmenden an Rechtssicherheit. Der Vorteil dabei ist, wie bereits erwähnt, dass die Rahmenbedingungen für alle Teilnehmenden gleichermassen gelten. Sie bietet eine Chance für die Bildungsverantwortlichen die Datenflüsse zu kontrollieren, zu steuern und einen einfachen, gesicherten und steuerbaren Zugang zu Onlinediensten bereitzustellen.

Ziel: Alle Akteure des Bildungswesens (insbesondere Schülerinnen, Schüler und Lehrpersonen) bis Sekundarstufe II verfügen über eine digitale Identität, die schweizweit anerkannt ist.

Massnahme:

- **Der Bund unterstützt ein gesamtsystemisch relevantes Projekt der Schaffung einer Föderation von Identitätsdiensten (FIDES), damit die Institutionen der Bildungsstufen (Kindergarten bis Sekundarstufe II) überregional und interinstitutionell auf digitalisierte Medien und Dienste regelkonform zugreifen können («Vertrauensraum»).**

  Zuständigkeit : Bund und Kantone gemeinsam auf Basis von Art. 2 Bst. e und f. sowie Art. 6 Bst. b und d. ZSAV-BiZ

5.3 Aktionsfeld 3: Rasche Anpassung des Bildungssystems an die Anforderungen des Marktes

Wie in Kapitel 3.2 aufgezeigt, muss das Bildungssystem rasch auf die Entwicklung der auf dem Arbeitsmarkt nachgefragten und durch die Digitalisierung geforderten Kompetenzen reagieren, damit die Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Schweiz gewährleistet werden kann. Dies betrifft alle Ebenen der Bildung: vom frühen Anregen des Interesses für die MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) über die rasche Anpassung der Berufsbildung bis hin zur Förderung der Weiterbildung.

5.3.1 MINT-Förderung

Mehrere Studien zeigen, dass die Studien- und Berufswahl nicht nur durch Interesse und Talent, sondern massgeblich auch durch andere Faktoren beeinflusst ist. Eine Rolle spielen auch der Hintergrund der Eltern und, insbesondere im MINT-Bereich, das Geschlecht. Das bedeutet, dass einige junge Talente, die ein hohes Qualifikationsniveau erreichen könnten, unentdeckt bleiben, was sowohl für die Wirtschaft als auch die Gesellschaft einen Verlust darstellt. Deshalb sollten Massnahmen erarbeitet werden, dank denen die Berufs- und Studienwahl weniger von geschlechterspezifischen Stereotypen und vom Bildungshintergrund der Eltern beeinflusst wird, sondern vielmehr vom Talent und Potenzial der Jugendlichen sowie der Situation auf dem Arbeitsmarkt.

Ziel: Erhöhung der Anzahl Schülerinnen, Schüler und Studierenden in den MINT-Fächern auf der Sekundar- und Tertiärstufe und Erhöhung des Frauenanteils.

Massnahmen:

- **Qualifizierte Berufsberatung im Hinblick auf MINT und IKT am Ende der Sekundarstufe I und auf der Sekundarstufe II, aber auch auf der Tertiärstufe**

  - Der Bund lädt die Kantone ein, ihre diesbezüglichen Anstrengungen fortzusetzen oder zu intensivieren

  Zuständigkeit: Kantone

- **Das Interesse von Schülerinnen und Schülern an MINT-Fächern ausserhalb der Schule wecken**

  Das Interesse an den MINT-Fächern besonders früh bei den Schülerinnen und Schülern zu wecken hat sich als besonders wirksam erwiesen. Bereits mit der Wahl eines gymnasialen Schwerpunkts wird die spätere Studienwahl beeinflusst. Derzeit werden die Massnahmen der ausserschulischen MINT-Förderung in enger Abstimmung mit der EDK über die Akademien der Wissenschaft umgesetzt.

  In der BFI-Periode 2013-2016 haben die Akademien der Wissenschaften Schweiz eine Koordinationsrolle bei privaten und öffentlichen MINT-Förderinitiativen übernommen sowie zur besseren Vernetzung der MINT-Akteure beigetragen. Im Rahmen des Förderprogrammes «MINT-Schweiz» erhielten nach mehrstufiger Evaluation 28 MINT-Initiativen von Dritten eine finanzielle Unterstützung. Viele weitere Akteure haben MINT-Initiativen entwickelt. Die Akademien haben deshalb eine Übersicht zu den ausserschulischen MINT-Angeboten entwickelt, d.h. eine Übersicht zu den MINT-Fördermassnahmen von Non-Profit-Organisationen, öffentlicher Hand, Unternehmen usw. Auch in der BFI-Periode 2017-2020 werden die Akademien im Rahmen des MINT-Mandates für Aktivitäten im MINT-Bereich unterstützt. Die entwickelte Übersicht zu ausserschulischen MINT-Angeboten wird weitergeführt und auf educamint.ch abrufbar sein. Der Bund beabsichtigt, das Programm zu verstärken.

  Zuständigkeit: Bund (Rechtsgrundlage: Art. 11 Abs. 7 FIFG)

- **Private und andere Stellen werden ermuntert, neue Wege etwa bei der Gründung von Technologie-Zentren («fab-lab») zu beschreiten, wo Jugendliche konkrete Projekte sehen und die IK-Technologien mit Unterstützung von qualifiziertem Personal ausprobieren können.**

5.3.2 Berufsbildung

Die bisher gewährleistete zeitnahe Anpassung der Lerninhalte an die Anforderungen muss auch weiterhin rasch und präzise vollzogen werden können. Die durch die zahlreichen Verflechtungen von Verantwortlichkeiten zwischen den vielen Interessengruppen und den föderalen Strukturen hervorgerufenen und bisweilen komplexe und träge Vorgänge im Berufsbildungssystem behindern noch schnellere Veränderungen. Die Regulierungsdichte sollte, wie der administrative Aufwand insgesamt, auf das notwendige Mass reduziert werden.

Gleichzeitig wird das hohe Tempo der Digitalisierung zu einer Akzentuierung der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der technologischen Entwicklungen zwischen Branchen und zwischen Betrieben innerhalb einer Branche führen. Der Trend zur Höherqualifizierung und der Bedarf nach gut ausgebildeten Fachkräften – insbesondere auch aufgrund des demographischen Wandels – bleiben ungebrochen. Dies bedeutet zum einen, dass Bedarf besteht, neu entstehende Berufsfelder in innovativen Branchen möglichst schnell in der Berufsbildung zu verankern, ohne die Qualität und die Aussagefähigkeit der Berufsbildungsabschlüsse zu reduzieren. Hierbei sind einerseits auch neue Wege auch hinsichtlich der Trägerschaften zu beschreiten. Zum anderen folgt daraus, dass Flexibilisierungen im Berufsbildungssystem bis hin zu Modularisierungen der Bildungsangebote geprüft werden sollten. Die Lancierung innovativer Pilotprojekte kann hierbei wichtige Impulse setzen und Anreize für die Akteure schaffen, etwa

Komplementaritäten in den Bildungsgängen zu suchen und neue Bildungsformen zu testen. Die Digitalisierung bietet hierzu auch neue Instrumente, die zu einer effizienteren und effektiveren Ausgestaltung von Prozessen führt.

Aufgrund der technologischen Entwicklungen wird Wissen immer einfacher zugänglich. Die Lernenden sind technologisch meist gut vorgebildet. Die Digitalisierung ermöglicht flexible, orts- und zeitunabhängige, auf die individuellen Bedürfnisse massgeschneiderte Lernformen. Die Anforderungen an die Ausbildner in der Schule, an den verschiedenen Lernorten und auch im Betrieb steigen dadurch. Auch wenn bereits jetzt elektronische Lernplattformen breit zum Einsatz kommen, müssen Bildungsinhalte insbesondere im allgemeinbildenden Teil (z.B. hinsichtlich IKT-Kompetenzen) sowie bei der Vermittlung von Kompetenzwissen und den Softskills (abstraktes, systemisches oder auch kritisches Denken) abgedeckt werden. Hier sind Anpassungen zu prüfen.

Ziel: Die Bildungsgänge der Berufsbildung (BGB und HBB) sowie die Ausbildungsinhalte passen sich schnell den Anforderungen des Arbeitsmarktes an.

Massnahmen :

- **Stärkung des Innovationsmechanismus bei der Festlegung der Bildungsinhalte**
  - Der Bund überprüft den Berufsentwicklungsprozess, um eine schnellere und flexiblere Anpassung der Bildungsverordnungen (BiVo) sicherzustellen, respektive flexiblere Ausgestaltung der Inhalte unter dem Dach der BiVo.
  - Bei der Überarbeitung der BiVos soll den Bildungsinhalten im Hinblick auf die Anforderungen der digitalisierten Wirtschaft eine hohe Priorität beigemessen werden («Digitalisierungscheck»).
  - Der Bund unterstützt eine vereinfachte Integration transversaler, für die Digitalisierung relevanter Bildungsinhalte. Ziel sollte es sein, die Bildungsinhalte jeweils an den innovativsten Unternehmen in ihren Branchen auszurichten.

- **Flexiblere Förderung neuer Berufsbilder und innovativer Projekte**
  - Der Bund unterstützt eine Verkürzung und Flexibilisierung des Prozesses der Berufsentwicklung und fördert die Entwicklung neuer Berufsbilder. Dabei können auch temporäre Trägerschaften geprüft werden.
  - Der Bund schafft durch die Lancierung von Pilotprojekten Anreize für die Akteure, neue Ideen auch hinsichtlich Aufbau und Struktur der Bildungsinhalte, der Komplementarität zu anderen Berufsbildern sowie neuer Berufsbilder zu entwickeln.

- **Integration der Digitalisierung und digitaler Inhalte an den verschiedenen Lernorten**
  - Der Bund prüft eine Stärkung der digitalen wie auch der transversalen Kompetenzen im allgemein bildenden Unterricht (ABU) resp. im Rahmenlehrplan (RLP).
  - Der Bund unterstützt eine Verbesserung der Wissensvermittlung und engere Vernetzung der Lernorte durch die Nutzung digitaler Technologien.

Zuständigkeit: Verbundpartnerschaft gemäss Berufsbildungsgesetz BBG (u.a. Art. 54 und 55 BBG). Die Massnahmen werden auf Basis des Strategieprozesses Berufsbildung 2030 in der Verbundpartnerschaft diskutiert und im Rahmen der Zuständigkeiten umgesetzt.

5.3.3 Weiterbildung

Gemäss einer Studie des Instituts für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung[102] in Deutschland betrifft die Automation von Routinetätigkeiten insbesondere den Fertigungsbereich und Tätigkeiten, die ein relativ geringes Qualifikationsniveau voraussetzen. Gerade in diesem Bereich verändert die Einbindung digitaler Technologien in die Arbeitsprozesse die Tätigkeitsprofile und damit auch die Anforderungen an die Beschäftigten[103], die sich in Weiterbildungsbedarf niederschlagen. Die Handlungsfelder im Bereich Weiterbildung fokussieren deshalb insbesondere auf Arbeitnehmende mit geringem Qualifikationsniveau.

Der **Bund** erhält in der Verfassung den Auftrag, Grundsätze über die Weiterbildung festzulegen. Das am 1. Januar 2017 in Kraft getretene Weiterbildungsgesetz[104] konkretisiert diese Pflicht, indem es Grundsätze zur Verantwortung, Qualität, Anrechnung von Bildungsleistungen an die formale Bildung, Verbesserung der Chancengleichheit sowie zum Wettbewerb bestimmt. Das Gesetz legt zudem einheitliche Voraussetzungen für die Subventionierung der Weiterbildung in den Spezialgesetzen des Bundes fest.

Ebenfalls im Weiterbildungsgesetz geregelt wird die Förderung des Erwerbs und des Erhalts von Grundkompetenzen Erwachsener. Das Gesetz hat zum Ziel, die Koordination der bestehenden Massnahmen zwischen Bund und Kantonen zu verbessern und überdies dem Bund die Möglichkeit einzuräumen, den Kantonen gezielt Beiträge für Massnahmen zum Erwerb und Erhalt von Grundkompetenzen Erwachsener auszurichten. Personen mit fehlenden Grundkompetenzen sollen grundlegende Kompetenzen in Lesen, Schreiben und mündlicher Ausdrucksfähigkeit in einer Landessprache, Alltagsmathematik und Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien erwerben können, was ihre Integration in die Gesellschaft und den Arbeitsmarkt verbessert.

Schliesslich ermöglicht Artikel 12 des Weiterbildungsgesetzes Beiträge an Organisation der Weiterbildung, die sich überwiegend mit Fragen der Weiterbildung befassen, gesamtschweizerisch tätig sind und übergeordnete Leistungen für die Weiterbildung erbringen.

Es ist darauf hinzuweisen, dass auch andere Spezialgesetze des Bundes Bestimmungen über die Weiterbildung enthalten. Dazu gehören:

- das Bundesgesetz über die Berufsbildung (BBG) regelt die berufsorientierte Weiterbildung;
- verschiedene Bundesbestimmungen betreffen Wiedereingliederungsmassnahmen bei Arbeitslosigkeit oder Invalidität;
- das Obligationenrecht und das Arbeitsrecht enthalten ebenfalls Bestimmungen zur Weiterbildung;
- Weiterbildungsmassnahmen werden auch im Rahmen der Politik zur soziokulturellen Integration spezifischer Gruppen unterstützt. Dazu zählen die Ausländerpolitik, die Jugend- und Sportpolitik oder auch die Politik zur Gleichstellung von Menschen mit Behinderungen.

Die Kantone konkretisieren die berufsorientierte Weiterbildung in den kantonalen Ausführungsgesetzen zum Berufsbildungsgesetz. Die allgemeine (nicht berufsorientierte) Weiterbildung kann je nach Kanton gesetzlich und organisatorisch unterschiedlich geregelt werden, beispielsweise in einem Weiterbildungsgesetz, im Rahmen der Regelung der berufsorientierten Weiterbildung, in Schul- und Kulturgesetzen oder in anderen Rechtsgrundlagen. Die Kantone koordinieren überregionale Aufgaben in der Weiterbildung durch die Interkantonale Konferenz für Weiterbildung (IKW). Die IKW setzt sich als Fachkonferenz der EDK für lebenslanges Lernen ein. Sie setzt sich aus den kantonalen Beauftragten für Weiterbildung zusammen.

---

[102] Dengler/Matthes (2015): «Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt – Substituierbarkeitspotenziale für Deutschland». Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung.
[103] Vgl. Bundesrat (2017). «Bericht über die zentralen Rahmenbedingungen für die digitale Wirtschaft», S. 41.
[104] Bundesgesetz über die Weiterbildung (WeBiG).

Ziel: Die Beschäftigten sind den digitalen Anforderungen der Arbeitswelt gewachsen.

Massnahmen:

- **Prävention: Förderung des lebenslangen Lernens von Grund- und digitalen Kompetenzen, um der Entlassung von Personal vorzubeugen, dem die von den Unternehmen geforderten Kompetenzen fehlen.**

  - Im Rahmen des Weiterbildungsgesetzes unterstützt der Bund die Kantone bei der Förderung des Erwerbs und Erhalts von Grundkompetenzen Erwachsener. Grundkompetenzen – dazu gehören auch Grundkenntnisse in der Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien – sind Voraussetzung dafür, dass Individuen am lebenslangen Lernen überhaupt teilnehmen können.

    Zuständigkeit: Bund (Rechtsgrundlage: Art. 16 WeBiG) und Kantone

  - Der Bund lädt die Unternehmen ein, Standortgespräche mit den Mitarbeitenden zu nutzen, um mögliche Risiken und fehlende Kompetenzen schnell aufzudecken und an ihrer Behebung zu arbeiten.

    Zuständigkeit: Unternehmen

  - Der Bund ermuntert die Kantone, in der Berufsberatung auch Angebote für Erwerbspersonen in Branchen oder Berufen mit einem hohen Automatisierungspotenzial vorzusehen.

    Zuständigkeit: Kantone

  - Der Bund entwickelt bis Ende November 2017 Kriterien für eine Unterstützung von Weiterbildungen von geringqualifizierten und insbesondere älteren Arbeitnehmenden im Bereich Grundkompetenzen (namentlich Digitalisierung, Sprache) auf Basis des Berufsbildungsgesetzes. Ebenfalls bis Ende November 2017 sollen die dazu notwendigen finanziellen Ressourcen beziffert und dem Bundesrat beantragt werden.

    Zuständigkeit: Bund (Rechtsgrundlage: Art. 5 Abs. 2-4 WeBiG und Art. 32 Abs. 2 Bst. a. BBG)

- **Reaktion auf den Strukturwandel: Berufsorientierte Weiterbildung zur Ermöglichung des Verbleibs im Erwerbsleben**

  - Grundsätzlich trägt der einzelne Mensch die Verantwortung für seine Weiterbildung. Letztere wird durch die Arbeitgeber begünstigt. Subsidiär können Bund und Kantone einschreiten (Art. 5 WeBiG). Eine Interventionsmöglichkeit bietet u.a. Art. 32 BBG, der es dem Bund ermöglicht, Angebote zu unterstützen, die darauf ausgerichtet sind, Personen bei Strukturveränderungen in der Berufswelt den Verbleib im Erwerbsleben zu ermöglichen. Dabei sind die vom Bund geförderten Angebote der berufsorientierten Weiterbildung und die arbeitsmarktlichen Massnahmen nach dem Arbeitslosenversicherungsgesetz zu koordinieren.

    Voraussetzungen für eine Bundesintervention sind – neben der vom WeBiG umrissenen Verantwortungskaskade – eine klar definierte Zielgruppe sowie klar umreissbare Bildungsinhalte.

    Zum heutigen Zeitpunkt ist ausserhalb des Bereichs der Grundkompetenzen bzw. der Basis-Informatikkenntnisse kein konkreter Handlungsbedarf auszumachen.

  Zuständigkeit: Bund (Rechtsgrundlage: Art. 5 Abs. 2-4 WeBiG und Art. 32 Abs. 2 Bst. a. BBG)

5.3.4 Cyber-Defence

Wie die Arbeiten des VBS zusammen mit dem SBFI im Rahmen der Erarbeitung der Massnahmen der Nationalen Strategie zum Schutz der Schweiz vor Cyber-Risiken (NCS) zeigten, ist das Thema Cyber-Defence (oder Cyber-Abwehr) noch nicht Teil der Bildungslandschaft. In Anbetracht der wachsenden Anzahl der täglichen Cyber-Vorfälle ist dies eine wesentliche Lücke. Mehrere Studien und Strategien des Bundes haben dies und die damit insbesondere für die Betreiber kritischer Infrastrukturen und das VBS (insbesondere die Armee) verbundene Problematik festgestellt. Das notwendige Personal fehlt und es gibt keine entsprechende Ausbildung (Grund- oder Weiterbildung), sodass jeder eigene und unkoordinierte Teillösungen entwickelt. Die Armee, welche zu Gunsten ziviler Stellen mit subsidiären Aufgaben beauftragt werden kann, verfügt ebenso wenig über die geeigneten Ausbildungsangebote. Zudem besteht in diesem Bereich eine grosse Heterogenität bezüglich dem Know-how des Personals, was zu Verständigungsproblemen der Einsatzkräfte bei Krisen führen kann.

Es geht somit darum Massnahmen zu entwickeln um 1) kompetente Personen rechtzeitig zu selektionieren, 2) die nötigen Ausbildungsprogramme zu definieren und zu schaffen, 3) einen Mechanismus zu entwickeln um dieses Personal halten und weiterbilden zu können.

Die Priorisierung sollte die folgende Logik verfolgen: 1) das Personal der Armee, um dieses zu befähigen, so rasch wie möglich die erwarteten subsidiären Leistungen sicherzustellen, 2) das Personal der kritischen Infrastrukturen (pro Branche, mit Priorität bezüglich den für das Land zentralen Leistungen) und 3) die Weiterbildung der genannten Personalkategorien sowie die allgemeine Ausbildung zu Gunsten des Wirtschaftsstandorts Schweiz.

Ziel: Schaffung eines Kontingents an Spezialisten für Cyber-Defence zugunsten der Betreiber kritischer Infrastrukturen und der Armee.

Massnahmen:

Das VBS hat die Konzeption seines Aktionsplanes Cyber-Defence kürzlich gutgeheissen. Bis am 30.10.2017 werden die beauftragten Organisationseinheiten die Details der verschiedenen Berufsprofile bearbeiten. Damit erste Ergebnisse im Herbst 2018 vorliegen, wird eine enge Zusammenarbeit des VBS mit den Betreibern kritischer Infrastrukturen, den Hochschulen und der Wirtschaft angestrebt. Mit Berücksichtigung des Zeitplanes der Revision der NCS unter Federführung des EFD werden die Massnahmen (inkl. Finanzierung) zur Zielerreichung den Verantwortlichen Stellen im VBS und WBF Ende März 2018 vorgestellt.

Zuständigkeit: Bund (VBS, SBFI, SATW; Rechtsgrundlage: Art 100 Abs. 1 und 2 MG, Art. 26 und 37 NDG)

5.4 Aktionsfeld 4: Koordination und Kommunikation in der Bildungszusammenarbeit

Die bestehende Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen in diesem Bereich muss weitergeführt und gar intensiviert werden, um ihre Strategien zu koordinieren, das Monitoring des Bildungssystems zu verbessern und eine offene und koordinierte Kommunikation über Chancen und Risiken der Digitalisierung im Bildungsbereich zu eröffnen. Der neue Koordinationsausschuss Digitalisierung (KoA Digi) hat die Aufgabe für die Kohärenz der Ziele und Massnahmen auf den verschiedenen Bildungsstufen zu sorgen. Es besteht aber ein massiv zunehmender Bedarf an Entscheidungsgrundlagen aus Statistik und Forschung. Von einer validen Faktenbasis aus können die Behörden sinnvolle Entscheidungen treffen. Der Bund muss ausserdem in Abstimmung mit den Kantonen die internationalen Entwicklungen

im Bereich Digitalisierung der Bildung verfolgen und gesamtschweizerisch nutzbar machen (z.B. Analyse des Bedarfs, in der Schweiz eine ähnliche Initiative wie die «Digital Skills and Jobs Coalition» der Europäischen Union zu schaffen).

Eine weitere wichtige gesamtsystemische Aufgabe von Bund und Kantonen liegt in der Sensibilisierung der Bevölkerung für die Chancen und Risiken der Digitalisierung im Bildungsbereich. Der Verunsicherung, die sich aus den dargestellten Veränderungen ergeben wird, ist kommunikativ verantwortungsvoll und gemeinsam koordiniert zu begegnen. Digitalisierung sollte durchaus als Chance für die Weiterentwicklung des Bildungsraumes und jedes einzelnen Beteiligten gesehen werden, auch wenn die Herausforderungen gross sind.

Ziel: Bund und Kantone intensivieren ihre Zusammenarbeit im Hinblick auf die Herausforderungen der Digitalisierung. Bund und Kantone stimmen ihre jeweiligen Strategien ab und kommunizieren koordiniert über Chancen und Risiken der Digitalisierung im Bildungsbereich.

Massnahmen :

- **Verstärkung der systemischen Koordination Bund-Kantone**
  - Verstärkte Erarbeitung von Entscheidungrundlagen basierend auf den Erkenntnissen aus Statistik und Forschung.
  - Verstärkte Beobachtung und Nutzbarmachung internationaler Entwicklungen.

  Zuständigkeit: Bund und Kantone gemeinsam auf Basis von Art. 2 Bst. e und f. sowie Art. 6 Bst. b und d. ZSAV-BiZ

- **Sicherstellung einer gezielten und koordinierten Kommunikation über Chancen und Risiken der Digitalisierung im Bildungsbereich und über die getroffenen Massnahmen**
  - Lancierung einer bildungsstufenübergreifenden Sensibilisierungs- und Kommunikationskampagne sowohl über die Chancen und Risiken der Digitalisierung im Bildungsbereich als auch über die getroffenen Massnahmen.

  Zuständigkeit: Bund und Kantone gemeinsam auf Basis von Art. 2 Bst. e und f. sowie Art. 6 Bst. b und d. ZSAV-BiZ

6 Aktionsfelder und Massnahmen im Bereich Forschung/Innovation und Hochschulen

Die mit der Digitalisierung verbundenen Veränderungen für den Einzelnen, die Gesellschaft und die Wirtschaft sind hochkomplex und in ihren Zusammenhängen noch keineswegs verstanden. Der Forschung zu gesellschaftlichen, rechtlichen und politischen Fragen der Digitalisierung selbst kommt deswegen eine zentrale Bedeutung zu. Ihre Erkenntnisse sind eine wesentliche Grundlage für Politik und Gesellschaft, um den digitalen Wandel besser zu verstehen, verantwortungsvoll zu gestalten, Akzeptanz und Vertrauen in einer digitalisierten Welt zu stärken und um die Chancen der Digitalisierung auf allen Stufen zu nutzen.

Ein wichtiges Merkmal des digitalen Wandels liegt in seiner Dynamik: die Entwicklung von digitalen Technologien verläuft schnell und kann zu grundlegenden Veränderungen in zahlreichen Bereichen führen, darunter insbesondere auch im Bereich der Arbeitswelt und tangiert damit die Frage der Kompetenzentwicklung und Kompetenzvermittlung im Bereich von Lehre (Aus- und Weiterbildung) und Forschung (Nachwuchsförderung).

Die vorangegangenen Abschnitte zeigen, dass die Bildungsbereiche im Hinblick auf die gestiegene Bedeutung der Digitalisierung bereits reagiert haben und die Schweiz grundsätzlich eine sehr gute Position aufweist. Im Kontext der zunehmend forschungsbasierten Digitalisierung der Wirtschaft stellen sich dennoch verschiedene Fragen, beispielsweise wie die Schweizer Hochschulen im Bereich der Lehre und der Nachwuchsqualifikation optimal unterstützt werden können, um zur Lösung dieser Herausforderung beizutragen. Dabei gilt es, der Autonomie der Hochschulen Rechnung zu tragen und die Kantone als Träger in die Planung allfälliger Massnahmen frühzeitig und in angemessener Weise einzubeziehen.

Mit der enormen Geschwindigkeit und Breite der Durchdringung der Digitalisierung in verschiedenen Sektoren, gewinnt die Informatik als Grundlagenwissenschaft in ihrer ganzen Breite für andere Forschungsbereiche an Bedeutung. Die computergestützte Wissenschaft ist heute in allen Bereich des Wissens von Relevanz, von den Natur- bis zu den Geisteswissenschaften (z. B. «Digital Humanities», vgl. Anhang 3). Zudem nimmt die Relevanz der Forschungsnähe für zahlreiche Branchen der Wirtschaft weiter zu. Die Schweizer Wirtschaft ist angesichts der grossen Abhängigkeit von F&E, Innovationen und neuen Technologien besonders darauf angewiesen, die Chancen dieser Entwicklungen zu nutzen. Dies erfordert sowohl eine Stärkung der IKT-bezogenen Grundlagenforschung als auch des Wissens- und Technologietransfers.

Schliesslich erlauben Digitalisierungstechnologien grundlegend neue Lösungsansätze in einer Vielzahl zentraler Politikbereiche, darunter Energie, Verkehr, Gesundheit, Sicherheit, Kultur und Kommunikation. Dabei bestehen nicht nur enorme Potenziale, sondern auch grosse Herausforderungen in der Bewältigung der digitalen Transformation, für welche aus Sicht zuständiger Fachstellen und -ämter des Bundes gezielte Massnahmen zur Sicherung von Forschungskompetenzen und Stärkung der Fachkräftequalifikation einen wesentlichen Beitrag leisten müssen.

Die Analyse der Herausforderung und Schwächen der Schweiz zeigt, dass die Schweiz – was die Forschung und die Hochschulen anbelangt – insgesamt in einer guten Position ist, um auf die mit der Digitalisierung verbundenen Herausforderungen reagieren zu können. Allerdings legt die Analyse auch Schwächen offen, namentlich im Hinblick auf jene Forschungskapazitäten, welche notwendig sind, um die Digitalisierung als Grundlagenwissenschaft in ihrer ganzen Breite auf höchstem Niveau abzudecken.

Zu den genannten Herausforderungen sind daher, ergänzend zu den mit der BFI-Botschaft 2017-2020 festgelegten und initiierten Arbeiten, zusätzliche Massnahmen erforderlich, welche in den folgenden vier (systemisch miteinander verknüpften) Aktionsfeldern liegen:

- Aktionsfeld 5: Stärkung der Nachwuchsqualifikation («digital skills»)
- Aktionsfeld 6: Sicherung der interdisziplinären Forschung zu den Konsequenzen des digitalen Wandels für Wirtschaft und Gesellschaft in der Schweiz
- Aktionsfeld 7: Stärkung von Kompetenzen in der Grundlagenforschung
- Aktionsfeld 8: Innovationsförderung: Beschleunigung des Wissenstransfers

Die nachfolgenden Handlungsempfehlungen beschränken sich auf Massnahmen, welche relevant und geeignet sind, den identifizierten Schwächen der Schweiz im Hinblick auf die Herausforderungen der Digitalisierung entgegenzuwirken. Die Selektion erfolgte zudem unter Beachtung folgender Prinzipien:

- Beschränkung auf Massnahmen im Kompetenzbereich des Bundes, sowie in enger Zusammenarbeit mit den relevanten Akteuren aus dem Hochschulbereich;
- Beschränkung auf die Unterstützung von bereits begonnenen oder in fortgeschrittener Planung befindlichen Initiativen im ETH-Bereich;
- Abstützung auf etablierte kompetitive Förderinstrumente des Bundes sowohl im Bereich der Forschungsförderung wie der Innovationsförderung.

Neben den kurzfristig angelegten Massnahmen (ab 2019) soll das Thema Digitalisierung auch als Mandat der SHK für die strategische Planung der Hochschulen für die Jahre 2021-2024 aufgenommen werden. Die strategische Planung bildet die Grundlage für die Auswahl der Förderschwerpunkte in der BFI-Botschaft. Zu diesem Zweck müssten Bund und Kantone (SHK) swissuniversities beauftragen, entsprechende Projektvorschläge auszuarbeiten.

6.1 Aktionsfeld 5: Stärkung der Nachwuchsqualifikation («digital skills»)

Die fortschreitende Digitalisierung stellt auch die Hochschulen selbst vor grosse Herausforderungen, hinsichtlich wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen sowie hinsichtlich Anpassungen von Lehr- und Lernformen sowie der Lehrinhalte, d.h. der Vermittlung von mit der Entwicklung von digitalen Technologien verbundenen Anwendungskompetenzen («digital skills»).

Hinsichtlich der wissenschaftlichen Informationsinfrastrukturen stellt sich die Frage, wie die Zugänglichkeit und Nutzung der für Lehre und Forschung notwendigen digitalen Informationen auf nationaler Ebene organsiert werden können, damit die Informationen zu geringen Kosten frei zugänglich sind. In diesem Zusammenhang wurden bereits verschiedene Massnahmen eingeleitet (vgl. Anhang 3 für eine Übersicht der Massnahmen).

Ähnliches gilt für die Weiterentwicklung neuer Lehr- und Lernformen. Die Digitalisierung hat auch Eingang in die Formen und die Entwicklung des Lehrens und des Lernens an Schweizer Hochschulen gefunden und führt zu nachhaltigen Veränderungen. Die neuen technologischen Möglichkeiten werden das Lehren und Lernen stark verändern («educational technology»). Die Kompetenz für die Anpassung der Lehre liegt bei den Hochschulen selbst, welche bereits zielführende Massnahmen ergriffen haben (vgl. Anhang 3).

Angesichts des hohen Bedarfs an Tertiärabschlüssen im IKT-Bereich (vgl. Kapitel 3.1) kommt den Hochschulen bei der Ausbildung und der Nachwuchsqualifikation im Hinblick auf «digital skills» eine besonders wichtige Rolle zu. Neben dem quantitativen Aspekt ist entscheidend, dass in den angebotenen Aus- und Weiterbildungsgängen die von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft geforderten Qualifikationen vermittelt werden. Die mit der fortschreitenden Digitalisierung verbundenen Qualifikationsanforderungen betreffen allerdings nicht nur IKT-Fachkräfte im engeren Sinne («Informatikberufe»), sondern massgeblich auch Aus- und Weiterbildungen in anderen Disziplinen. Insbesondere die kritische Auseinandersetzung («digital literacy») und der Umgang mit digitaler Technologie sowie die verstärkte

Förderung neuer Fähigkeiten der Datenanalytik und der Informationsverarbeitung im interdisziplinären Bereich werden voraussichtlich an Bedeutung gewinnen – über alle Fachbereiche hinweg. Hinsichtlich der Vermittlung von «digital skills» über alle Fachbereiche besteht somit zusätzlicher Handlungsbedarf.

Um die Passung zwischen vermittelten und geforderten Qualifikationen möglichst sicherzustellen, pflegen die Hochschulen den Austausch mit Wirtschaft und Gesellschaft, beurteilen den Bedarf sowie die praktische Relevanz von neuen Aus- und Weiterbildungsangeboten laufend und passen ihre Angebote in eigener Autonomie entsprechend an. Das Prinzip der Hochschulautonomie ist, wie für andere Disziplinen, auch für den IKT-Bereich ein massgeblicher Treiber für die erfolgreiche und ständige Weiterentwicklung der Studienangebote.

Ziel: Stärkung der «digital skills» über alle Fachbereiche

Sicherstellen von qualifiziertem Nachwuchs und notwendigen Skills bezüglich digitaler Technologien über alle Fachbereiche. Beschleunigtes Einbringen von Themen rund um intelligente Cybertechnologie in Lehre und Ausbildung sowie Kompetenzvermittlung über Technologien der Digitalisierung an Studierende aller Fachbereiche.

Massnahme:

- **Stärkung digitaler Anwendungskompetenzen in der Lehre («digital skills») im Rahmen projektgebundene Beiträge (PgB)**

  Der Bund finanziert die kantonalen Universitäten sowie die Fachhochschulen gemäss den Bestimmungen des Hochschulförderungs- und -koordinationsgesetzes HFKG subsidiär über drei verschiedene Beitragsarten. Einzig mit dem Instrument der projektgebundenen Beiträge[105] ist eine thematische Zweckbindung möglich, über welche die SHK auf Antrag von swissuniversities Koordinationsprojekte der Hochschulen zur Erreichung gemeinsam definierter Ziele und Aufgaben unterstützen kann.[106] Zur Prüfung einer inhaltlichen Ausarbeitung von Projekten hat die SHK am 19. Mai 2017 die Rektorenkonferenz der Schweizerischen Hochschulen (swissuniversities) eingeladen.

  Als kurzfristig wirkende Massnahme wird swissuniversities Kooperationsprojekte zwischen den Hochschulen vorschlagen, die zur Stärkung der «digital skills» beitragen: Das Spektrum ist bewusst weit gefasst und kann von den Bereichen Fachdidaktik, «educational technology», Lehr- und Lernformen, curriculare Anforderungsprofile bis hin zu Massnahmen im Bereich der «digital humanities» und wissenschaftlichen Information reichen.

  Zuständigkeit**:** swissuniversities und SHK

6.2 Aktionsfeld 6: Sicherung der interdisziplinären Forschung zu den Konsequenzen des digitalen Wandels für Wirtschaft und Gesellschaft in der Schweiz

Die gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und bildungsbezogenen Veränderungen im Zuge der Digitalisierung werden zu Herausforderungen führen, welche derzeit noch wenig verstanden sind. Das Verständnis erfordert vermehrte interdisziplinäre Forschung. Durch neue Forschungsschwerpunkte in allen Wissenschaftsdisziplinen sollen die inhaltlichen Forschungskompetenzen gestärkt werden, mit dem Fokus auf Fragen nach den gesellschaftlichen Auswirkungen der Digitalisierung.

[105] Rechtsgrundlage: Art. 47 Abs. 1 lit.c HFKG i.V.m. Art 59 HFKG.
[106] Projektgebundene Beiträge nach HFKG weisen eine Laufdauer von 4 Jahren und 50% Matching-Funds auf.

Ziel: Stärkung der inhaltlichen Forschungskompetenzen im Hinblick auf die gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, räumlichen und bildungsbezogenen Auswirkungen der Digitalisierung.

Fördern des Wissens und des wissenschaftlichen Nachwuchses im Hinblick auf die Thematisierung übergeordneten Fragen rund um die Digitalisierung; Stärkung der Forschung im Hinblick auf gesellschaftlich relevante Fragestellungen über eine Vielzahl von gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, rechtlichen, politischen wie auch sicherheitsbezogenen Themen.

Massnahme:

- **Lancierung einer interdisziplinär ausgerichteten NFP-Serie «Digitaler Wandel»**

  Die Nationalen Forschungsprogramme (NFP) leisten wissenschaftlich fundierte Beiträge zur Lösung dringender Probleme von nationaler Bedeutung. Zur Ergründung der Auswirkungen der Digitalisierung soll ein NFP und ggf. eine NFP-Serie[107] lanciert werden, in dessen bzw. deren Rahmen die übergeordneten Herausforderungen der Digitalisierung in ihrem Zusammenwirken systematisch und unter dem Aspekt von weiterführendem Handlungsbedarf analysiert.[108]

  Übergeordnet soll der Fokus auf gesamtgesellschaftlichen Aspekten liegen. Zu berücksichtigen sind beispielsweise Fragen zur Organisation von demokratischen Prozessen, zur Kultur, zur Entwicklung von Beschäftigungsformen oder zur Produktivität im Zeitalter der Digitalisierung.

  Weiter stellen sich spezifische Fragen zur Datensicherheit, zum Schutz der Privatsphäre (Regulationsebene) und zur IT-Sicherheit neuer digitaler Technologien in diversen Anwendungsbereichen (z.B. kritische Infrastrukturen). Ein besonderer Fokus stellen auch die mit der Digitalisierung verbundenen Veränderungen (Chancen & Risiken) in der Arbeitswelt und in unterschiedlichen Berufsbranchen (produzierender Sektor und Dienstleistungssektor) dar.

  Die wissenschaftliche Machbarkeitsprüfung von Programmen erfolgt nach etabliertem Verfahren durch den Schweizerischen Nationalfonds (SNF), ggf. unter Koordination mit der KTI/Innosuisse. Für die Vorbereitung der Programmvorschläge setzt das WBF (SBFI) eine nationale Expertenkommission mit Vertretungen der SHK, von swissuniversities, betroffenen Fachämtern des Bundes, sowie von Organisationen der Arbeitswelt ein.

  Zuständigkeit**:** Bund (WBF) und SNF (ggf. koordiniert mit KTI/Innosuisse)

6.3 Aktionsfeld 7: Stärkung der Kompetenzen in der Grundlagenforschung (Informatik/Computing Science)

Für die Generierung von technologischen Innovationen spielt die Grundlagenforschung (sowie der Zugang zu deren Resultaten) eine entscheidende Rolle. Dabei sind Schlüsseltechnologien wichtige Treiber für Innovationen. Innovative Entwicklungen aus der Mikroelektronik, der Photonik/Optik, der Biotechnologie, aus den Produktionstechnologien sowie den Werkstoff- und Nanowissenschaften (Materialforschung) bilden die Grundlage für neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen in vielen industriellen und gesellschaftlichen Anwendungsbereichen.[109] In vielen Schlüsseltechnologien verfügt die Schweiz, u.a. auch im ETH-Bereich, über eine exzellente, im internationalen Vergleich hoch kompetitive Grundlagenforschung. Mit Informations- und Kommunikationstechnologien beziehungsweise den neuen Digitalisierungstechnologien kommen Entwicklungen hinzu, die sich mit den etablierten Schlüsseltechnologien verbinden, mit diesen interagieren, sie wesentlich beeinflussen und weiter vorantreiben. Wissensvorsprünge in den Schlüsselkompetenzen der Digitalisierung werden für den weiteren Erfolg

[107] Rechtsgrundlage: Art. 7 Abs. 3 FIFG i.V.m. Art. 10 Abs. 2 lit. c FIFG; Art. 5 Abs. 4 V-FIFG.
[108] Das vorgeschlagene NFP ergänzt dabei das bereits laufende NFP «Big Data».
[109] Vergleiche SATW Technology Outlook 2017.

des nationalen Innovationssystems der Schweiz ausschlaggebend sein. Entsprechend kommt der Wissensgenerierung und damit der Grundlagenforschung im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologie («Digitale Technologien») eine zentrale Bedeutung zu.

Gemäss den vorgelegten Analysen (siehe Kapitel 4.1) weist die Schweiz im Unterschied zu anderen grossen Forschungsgebieten wie Physik oder den Life Sciences hinsichtlich Forschungsaktivität insgesamt zwar keinen Schwerpunkt in Forschungsbereichen digitaler Technologien auf, verfügt aber dennoch teilweise über Forschungsleistungen von höchster Qualität. Allerdings fällt die Schweiz innerhalb der IKT-bezogenen Forschungscluster gerade in jenen Forschungsbereichen ab, die einen Grossteil der derzeit aufkommenden Digitalisierungstechnologien abdecken. Vergleicht man zudem die beiden ETH mit den weltweit führenden Forschungsinstituten im Bereich der Computing Science, zeigt sich, dass diese für die Schweiz zentralen Forschungsträger im internationalen Vergleich im Hinblick auf die Anzahl Professuren ausgesprochen geringe Kapazitäten aufweisen.

Da sowohl Geschwindigkeit der Anwendung als auch Durchdringung von Digitalisierungstechnologien über alle Sektoren hinweg deutlich an Bedeutung gewonnen haben, ist derzeit nicht absehbar, welche Kompetenzen und Technologien in Zukunft relevant sein werden. Klar ist allerdings, dass im Zuge der Verknüpfung von Schlüsseltechnologien die Grundlagenforschung in ihrer ganzen Breite eine entscheidende Rolle spielen wird. Vor diesem Hintergrund zeigen die Befunde, dass hinsichtlich der Stärkung der Forschungskompetenz im Bereich der «digitalen» Grundlagenforschung (Informatik/Computing Science) ein zusätzlicher Handlungsbedarf besteht. Dies bestätigt auch die Analyse einer Expertengruppe aus Wissenschaft und Wirtschaft, welche in einigen IKT-bezogenen Forschungsbereichen erheblichen Handlungsbedarf für die Schweiz festgestellt hat.

Ziel: Stärkung der Forschungskompetenzen in der Grundlagenforschung im Bereich Informatik/Computing Science in ihrer ganzen Breite und unter Berücksichtigung ihrer Bedeutung für andere Forschungsbereiche.

Sicherung der Forschung und Entwicklung in Informatik/Computing Science auf höchstem Niveau. Die Informationswissenschaften werden im 21. Jahrhundert sein, was die Physik im 20. Jahrhundert war: eine Basiswissenschaft, auf welcher andere Wissenschaften und Anwendungen aufbauen können. Der Kompetenzaufbau muss daher viel stärker als in der Vergangenheit diese Bedeutung der Transversalität aufgreifen und als Grundlagenforschung und über Fachgrenzen hinweg das Generieren von Wissen für neue Anwendungen ausbauen und sicherstellen. Dabei ist insbesondere den Risiken und dem Schutz vor Cyberrisiken die notwendige Beachtung zu schenken.

Massnahmen:

- **Stärkung der kompetitiven Forschungsförderung über Nationale Forschungsschwerpunkte NFS/NCCR (5. Serie)**

  Das Instrument der Nationalen Förderschwerpunkte (NFS/NCCR)[110] erlaubt es dem Bund, langfristige Forschungsprojekte von nationaler Bedeutung und höchster Qualität zu fördern sowie Arbeitsteilung und Koordination unter den Hochschulen in für die Schweiz strategisch wichtigen Forschungsbereichen zu stärken. Neben dem Bundesbeitrag werden die NFS zusätzlich durch Eigenmittel der Hochschulen und durch Drittmittel finanziert. Zur Stärkung der Grundlagenforschung im Bereich IKT kann im Rahmen der Ausschreibung zur 5. Serie der NFS im Rahmen der geltenden Verfahren die Priorität auf Projekte im Bereich der Computing Science gesetzt werden. Das WBF

[110] Rechtsgrundlage: Art. 7 Abs. 3 FIFG i.V.m. Art. 10 Abs. 2 lit. c FIFG; Art. 13 Abs.1 V-FIFG.

entscheidet schliesslich auf Basis der Empfehlungen des SNF über die Durchführung allfälliger Projekte.[111]

Zuständigkeit**:** Bund (WBF) und SNF

- **Kompetenzaufbau «Informatik/Computing Science» im ETH-Bereich**

  Die Durchdringung der IKT in anderen Fachbereichen und Technologien bedingt eine stärker interdisziplinär ausgerichtete Grundlagenforschung in der Informatik als in der Vergangenheit. Es ist zudem von grosser Bedeutung, dass gleichzeitig grundlagenorientierte und anwendungsorientierte Forschung betrieben wird. Die Initiative des ETH-Bereichs im Bereich der Datenwissenschaften (u.a. die Etablierung des Swiss Data Science Center SDSC, siehe Anhang 3) greift diese Herausforderung in einem Teilbereich auf und bestätigt das diesbezügliche Potenzial.

  Wesentliche Impulse für die Verbindung von digitalen Technologien mit anderen Schlüsseltechnologien vermögen jedoch nur zusätzliche Forschungskompetenzen in der Grundlagenforschung im Bereich «Informatik/Computing Science» in ihrer ganzen Breite zu liefern. Diesbezüglich ist ein zeitlich gestaffelter Kompetenzaufbau im ETH-Bereich mittels Schaffung neuer Professuren unter Berücksichtigung der strategischen Planung 2021-2024 von swissuniversities vorzusehen und damit für die Schweiz eine institutionelle Basis zu sichern, welche mit den weltweit führenden Referenzzentren ressourcenmässig mithalten kann.[112]

  Zuständigkeit**:** Bund/ETH-Bereich (ETH Zürich und EPFL)

6.4 Aktionsfeld 8: Innovationsförderung: Beschleunigung des Wissenstransfers

Die Digitalisierung schafft neue Wertschöpfungspotenziale in verschiedenen Bereichen der Wirtschaft. Neben dem Wissenstransfer in Branchen und Unternehmen, die hauptsächlich digitale Produkte oder Dienstleistungen entwickeln und verkaufen und die oftmals die Nähe zu den in diesen Bereichen tätigen Forschungseinrichtungen suchen und haben, gilt es, die neuen digitalen Lösungen und Möglichkeiten auch in der Schweizer Industrie nutzbar zu machen und dadurch ihre Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit zu sichern und zu steigern.

Besondere Herausforderungen der fortschreitenden Digitalisierung in der Industrie (oftmals auch Industrie 4.0 genannt) bestehen für viele Schweizer Industrieunternehmen und insbesondere für KMU im Bereich moderner Fertigungstechnologien. Dies, weil die Digitalisierung nicht nur neue Geschäftsmodelle ermöglicht (z.B. im Rahmen durchgängiger Wertschöpfungsketten und der stärkeren Vernetzung im Internet der Dinge) und bestehende Produktionsprozesse durchdringt (etwa durch den Einsatz von Robotern und industrieller Automation), sondern weil auch die Fertigungstechnologien selbst einem enormen Wandel unterliegen. Die Additive Fertigung als relativ neues Verfahren ist hierfür nur ein Beispiel einer Fertigungstechnologie mit hoher Integrationsdichte. Die Möglichkeit der digitalen Technologien, wie Simulation, Datenerfassung und -analyse, Visualisierung, selbstlernende Systeme oder Unterstützung bei der Bedienung von Maschinen führen auch bei vielen anderen und weit verbreiteten Fertigungstechnologien zu stärkerer Integration und zu Produktivitätssteigerungen. Die Entwicklung solcher fortschrittlicher, stärker digitalisierter Fertigungstechnologien («Advanced Manufacturing») erfordert eine intensive trans- und interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Spezialisten verschiedener Disziplinen (vgl. Kapitel 2.3).

[111] Das zweistufige Verfahren sieht vor, dass Eingaben für neue NFS zunächst von einem internationalen Komitee und dem SNF auf ihre Qualität, Interdisziplinarität und Neuartigkeit geprüft und beurteilt werden. Dieser empfiehlt dem WBF dann eine Auswahl hoch bewerteter Gesuche zur Umsetzung.
[112] Rechtsgrundlage: Art. 7 i.V. mit Art. 34b ETH-Gesetz

Von besonderer Bedeutung ist der WTT überdies bei den Herausforderungen in zentralen Politikbereichen (Kapitel 2.4). Über die zunehmende dezentrale Erfassung von Daten im Rahmen der verbesserten Sensorik schafft die Digitalisierung z.B. neue Voraussetzungen für Steuerungsprozesse und die Sicherheit von sensiblen Infrastrukturen v.a. im Bereich der Energie sowie des Verkehrswesens. Hierbei geht es direkt um angewandte Forschung, da bestehende Infrastrukturen nicht von Grund auf neu gestaltet werden können, sondern vielmehr im laufenden Betrieb ersetzt und ergänzt werden müssen.

Diese Befunde zeigen, auch in der Einschätzung verschiedener Bundesämter, dass hinsichtlich der WTT-Beschleunigung/Innovationsförderung auf der Basis digitaler Technologien ein zusätzlicher Handlungsbedarf besteht.

Ziel: WTT-Beschleunigung für die spezifisch an KMU orientierte Innovationsunterstützung im Bereich fortschrittlicher Fertigungstechnologien und weitere Entwicklung und Stärkung der Sicherheit zentraler Infrastrukturen (Energie/Verkehr).

Sicherstellen von notwendigen Kompetenzen und Qualifikationen wie auch Gewährleisten des Wissens- und Technologie-Transfers in für die Schweizer Wirtschaft zentralen Feldern und wichtigen Politikbereichen. Eine besondere Herausforderung, welche einen verstärkten Wissenstransfer erfordert, besteht dabei bezüglich der Entwicklungen im Rahmen von Industrie 4.0 und additiven Fertigungsverfahren sowie bezüglich Weiterentwicklung und Sicherheit sensibler Infrastrukturen.

Massnahmen:

- **Lancierung eines Impulsprogramms KTI/Innosuisse «Fertigungstechnologien»**[113]
  Die Entwicklung von fortschrittlichen, stärker digitalisierten Fertigungstechnologien erfordert eine intensive Zusammenarbeit zwischen Spezialisten verschiedener Disziplinen. Hierzu gehören insbesondere Informatik, Elektrotechnik, Maschinenbau, Materialwissenschaften sowie Naturwissenschaften wie Chemie und Physik. Die hierfür notwendigen Forschungskompetenzen sind praktisch nur an Hochschulen und Forschungsinstitutionen vorhanden. Die Aufgabe, solche Technologien oder einzelne Bausteine dieser Technologien zu entwickeln, erfordert in der Regel interdisziplinäre Teams mit Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Instituten und Hochschulen sowie – vor allem in späteren Phasen – eine enge Zusammenarbeit mit der Industrie.

  Die Zielsetzung des Impulsprogramms «Fertigungstechnologien» ist ähnlich wie diejenige des von SNF und der Kommission für Technologie und Innovation (KTI) geschaffenen Programms BRIDGE. Dieses schliesst die Lücke zwischen den eher auf Produktentwicklung ausgerichteten KTI-Projekten und den stärker auf grundlegende Forschung ausgerichteten SNF-Förderprogrammen. Analog dem BRIDGE-Programm, aber mit einem thematischen Schwerpunkt, ermöglicht ein Impulsprogramm «Fertigungstechnologien» Projekte an der Schnittstelle zwischen Grundlagenforschung und Technologietransfer, in denen grössere Konsortien oder Forschungsverbünde mit interdisziplinären Teams aus Forschung und Industrie zusammenarbeiten. Nur so können in Projekten zur Entwicklung komplexer Technologien alle notwendigen Kenntnisse und Kompetenzen zusammengebracht werden. Namentlich können auch die Fachhochschulen mit ihrer Expertise in angewandter Forschung und ihrer Nähe zur Praxis in diesem Bereich einen wichtigen Beitrag leisten.

  Zuständigkeit**:** Bund/KTI (Innosuisse)

[113] Rechtsgrundlage: Art. 7 Abs. 3 FIFG i.V.m. Art.3 Abs. 6 SAFIG.

- **Aufbau eines nationalen Verbunds von Technologietransferzentren für Fertigungstechnologien («Advanced Manufacturing Technology Transfer Centers»)**

  Über die Förderung von Aktivitäten und Projekten hinaus ist es wichtig, den Aufbau von Plattformen und Infrastrukturen zu fördern, welche notwendig sind, um innovative Technologien zu entwickeln. Hierzu zählen auch die Einrichtung und Ausstattung von Technologietransferzentren mit Pilotanlagen, auf denen neue Fertigungstechnologien erprobt und entwickelt werden können. Die Anschaffung und der Betrieb der Pilotanlagen und Infrastrukturen sind teuer und übersteigen oft die finanziellen Möglichkeiten einzelner Forschungseinrichtungen. Zudem kann eine einzelne Forschungseinrichtung meist auch nicht für eine ausreichende Auslastung der Anlagen sorgen.
  Mit der Schaffung von Technologietransferzentren[114] soll die Lücke zwischen Forschung und industrieller Anwendung geschlossen werden. Mit einem Verbund von regionalen Zentren mit individuellen Schwerpunkten, die als Public-Private Partnership (PPP) organisiert sind, können sich sowohl Hochschulen und Forschungsinstitutionen als auch Unternehmen am Aufbau und Betrieb beteiligen. Die Anlagen in diesen Zentren sollten dabei allen Parteien aus Forschung und Industrie in der Schweiz zugänglich sein, so dass sie sowohl für öffentlich geförderte Forschungsprojekte als auch für Versuche einzelner Unternehmen genutzt werden können und damit einen wichtigen Beitrag für die Entwicklung und den Einsatz von fortschrittlichen, stärker digitalisierten Fertigungstechnologien leisten.

  In der Schweiz bieten die Forschungsinfrastrukturen der Institutionen des ETH-Bereichs sowie einige Standorte des Schweizer Innovationsparks die idealen Voraussetzungen für die Errichtung von ersten Technologietransferzentren für einen späteren schweizweiten Verbund weiterer Zentren.

  Zuständigkeit**:** Bund/ETH-Bereich (Koordination Empa)

- **Stärkung der Fördermassnahmen von KTI/Innosuisse im Bereich der Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER)**

  Im Rahmen des Aktionsplanes «Koordinierte Energieforschung Schweiz» hat die KTI den Auftrag, den Aufbau von interuniversitär vernetzten Forschungskompetenzzentren, den Swiss Competence Centers for Energy Research (SCCER), zu finanzieren und zu steuern. Die dabei formulierten Stossrichtungen betreffen zu weiten Teilen technische, gesellschaftliche und politische Herausforderungen, für welche Digitalisierungstechnologien wichtige Beiträge zu deren Bewältigung leisten können (siehe Kapitel 2.4).

  Um das Potenzial neuer Technologien zur Bewältigung der Herausforderungen in den in den zentralen Politikbereichen Energie und Verkehr noch weiter optimiert nutzen zu können, sollen drei der zwischenzeitlich aufgebauten SCCER («Future Energy Efficient Buildings & Districts»[115], «Future Swiss Electrical Infrastructure»[116] und «Efficient Technologies and Systems for Mobility»[117]) mit stärkerer Fokussierung auf Digitalisierung weitergeführt werden. Eine Aufstockung und Weiterführung dieser SCCER[118] führt somit zum Aufbau wichtiger Forschungskompetenzen im Hinblick auf das Potenzial der IKT.

  Zuständigkeit**:** Bund/KTI (Innosuisse)

[114] Rechtsgrundlage: Art. 7 i.V. mit Art. 34b ETH-Gesetz
[115] http://www.sccer-feebd.ch/de/
[116] http://sccer-furies.epfl.ch/Home
[117] http://www.sccer-mobility.ch/
[118] Rechtsgrundlage: Art. 7 Abs. 3 FIFG i.V.m. Art.3 Abs. 6 SAFIG

ANHÄNGE

Anhang 1: Herausforderung in weiteren Politikbereichen gemäss Eingaben der betroffenen Bundesämter

1. Bundesamt für Energie

Die Digitalisierung bedeutet für das Energiesystem einen neuen Technologiesprung. Digitale Dienstleistungssysteme sowie Informations- und Kommunikationstechnologien werden auf den Komponenten der Energieinfrastruktur aufsetzen und es ermöglichen, das Energiesystem neuartig zu steuern. Überlagert und eng verknüpft mit der digitalen Systemsteuerung sind Systemkontrollen, welche die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Energieinfrastruktur überwachen und gewährleisten.

Mit der Digitalisierung wird sich zudem die Branchenstruktur verändern, bestehende Strukturen werden aufgebrochen und neue, bis anhin branchenfremde Anbieter von Produkten und Dienstleistungen werden in den Markt eintreten. Damit verbunden sind neue regulatorische Fragestellungen, die im Bereich der Energieversorgung mittel- bis langfristig zu klären sind.

Der sinnvolle Nutzen der digitalen Datenströme bedingt eine zweckorientierte Erfassung, Analyse, Interpretation und Repräsentation respektive Darstellung von Daten. Dies manifestiert sich etwa bei der Visualisierung, Dezentralisierung oder Bildgebung sowie beim vorausschauenden Betrieb und der Wartung von Energiesystemen. Zunehmende Simulationstechniken, neue Sensoren, grosse Datenspeicherkapazitäten und eine immer weitergehende Konnektivität weisen auf eine grosse Komplexität hin, welche durch Sinn- und Zweckgebundenheit fokussiert werden muss. Darauf werden Applikationen geschaffen werden, die verlässlich und sicher mit den Daten umgehen und Effizienzgewinne ermöglichen.

In der energiebezogenen Ressourcen- und Prozessindustrie ist die Digitalisierung die nächste Stufe, um eine integrierte Konstruktion und das Lebenszyklusmanagement zu erfassen und zu optimieren. Es besteht ein direkter und praktischer Zusammenhang zu anspruchsvollen Datenmodellen (z.B. Geodaten zur Erfassung der dreidimensionalen Schweiz, Prozessdaten, Anlagendaten), die aufgrund der stattfindenden Digitalisierung auch untereinander verknüpft werden und so ungeahnte Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung, Innovation, Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit und Sicherheit bieten. Vertikale und horizontale Integration, Verknüpfungen auf den verschiedenen Systemebenen, integrierte Operationen über den Gesamtlebenszyklus, Integration von Algorithmen und Steuerungssystemen, die Synthese und Reduktion von «Big Data» zu essenziellen, zweckorientierten «Small Data» und die Entwicklung zu neuen, auf Analyse und Interpretation von Energiesystem und dessen Komponenten bedachten Berufsfelder und Aufgabengebiete lassen die Digitalisierung als eine «new frontier» für das Energiesystem erscheinen, die es zu erschliessen und auszuloten gilt.

Digitalisierung ist deshalb auch für den Aktionsplan «Koordinierte Energieforschung Schweiz» von zentraler Bedeutung: Es bestehen etliche Schnittstellen zwischen den Forschungskompetenzzentren im Energiebereich (SCCER) und «Big Data» respektive den damit verbundenen Chancen und Risiken: Erwähnt seien die SCCER *Mobility* (neue Verkehrssysteme, Verkehrslenkung und -minderung, neue Dienste wie Uber, autonomes Fahren, dichtere Bahnfahrpläne, ggf. schnellere Verkehrssysteme), SCCER *FURIES* Future Swiss Electrical Infrasturcture (Smart Grids, Netzführung, Cybersecurity), SCCER *FEEB&D* Future Energy Efficient Buildings & Districts (Smart Cities, persönliche Daten, Datensicherheit, neue Arbeitsformen, Pendlerproblematik, neue Dienste wie AirB&B) und SCCER *EIP* Efficiency of Industrial Processes (Energieeffizienz in industriellen Prozessen, Industrie 4.0).

Im Einzelnen sei beispielhaft auf einige Aspekte im Energiebereich hingewiesen, wo die Digitalisierung eine wichtige Rolle spielt:

- Erneuerbare Energien: Für die Prognose der optimalen Nutzung erneuerbarer Energie sind verbesserte Echtzeit-Datenmodelle (Wind und Windprofile, Sonneneinstrahlung, Nebel, Starkregen usw.)

nötig. Bei der Windenergie im Speziellen geht es zudem um maschinelles Lernen (Selbstoptimierung aufgrund der eigenen Betriebsdaten in Verbindung mit Wetterdaten), Fernüberwachung der Rotorblätter (verschiedene Sensoren wie Druck, Biegung, usw.) und der Drohnenwartung.

- Betrieb und Instandhaltung von Wasserkraftanlagen: Die optimale Bestimmung des Zeitpunkts für Revisionsarbeiten an Maschinenteilen wie beispielsweise Schaufeln von Peltonturbinen (Pumpspeicherkraftwerke) oder Industrieprozessen setzt die Beherrschung und zeitnahe Auswertung grosser Datenmengen voraus. Damit können kostenintensive Ausfallzeiten und Reparaturaufwendungen wesentlich reduziert und die Energieversorgung sicher gestaltet werden.
- Im Gebäudebereich sind zwei Entwicklungen zu erwähnen: Erstens hat die Digitalisierung die Baubranche (v.a. Gebäudetechnikplaner, aber auch Architekten) unter dem Begriff BIM – Building Information Modeling erfasst. Dabei geht es um softwarebasierte Methoden zur optimierten Planung, Ausführung und Bewirtschaftung von Gebäuden. Auch hat sich bereits die Interessensgemeinschaft «Bauen digital Schweiz» gebildet[119]. Das Thema fliesst kontinuierlich sowohl in die Forschung als auch in die Aus- und Weiterbildung im Gebäudebereich ein. Zweitens ist «Big Data» bei den «Smart Cities» ein potenziell wichtiges Thema. Hier wird es zunehmend darum gehen, Effizienzpotenziale im Sinne der Nachhaltigkeit spartenübergreifend zu heben. Gerade die Integration der Sparten Wasser, Strom, Gas, Mobilität, Telekommunikation wird durch die Digitalisierung unterstützt.
- «Börsensysteme» sowohl für Energiegeschäfte als auch für Dienstleistungen (z.B. lokale und/oder systemweite Flexibilitäten). Neue Interaktionen im Bereich Eigenverbrauchsgemeinschaften sind künftig genauso vorstellbar wie Mikronetze, die miteinander kommunizieren, oder ein direkter Handel zwischen kleinsten Prosumern und Speichern. Es gibt mehrere Ideen, wie man dies organisieren könnte (z.B. mittels Blockchain). In der Schweiz starten dazu die ersten Forschungsprojekte. Sie haben zum Ziel, nicht nur «virtuelle» Stromtransaktionen in Peer-to-peer-Netzwerken zu ermöglichen, sondern auch das physische Netz unter der Ausbreitung von dezentralen erneuerbaren Energiesystemen automatisch zu steuern. Im Weiteren wurden mehrere Firmen mit Aktivitäten in den Bereichen Blockchain und Fintech im sogenannten Crypto Valley in Zug gegründet. Die Schweiz könnte hier eine wichtige Vorreiterrolle einnehmen. Die Technologie des Blockchain steckt aber noch in den Kinderschuhen und viele Fragen bleiben unbeantwortet, z.B. bezüglich Umgang mit grossen Datenmengen, Sicherheitsaspekten und Anonymität.
- «Internet of things» (IoT): Dabei handelt es sich um ein typisches Querschnittsthema, es betrifft aber auch den Energiebereich. Themen sind u.a. Hardware, Kommunikation, Datenschutz und Datensicherheit, Datenplattformen und Anwendungen. Forschungsbedarf besteht hinsichtlich Konzepte und Architekturen, die sowohl für diskriminierungsfreie/öffentliche Systeme, als auch für abgekapselte Systeme (kritische Infrastrukturen) geeignet sind. Bei IoT sind zwei Aspekte wichtig, die Infrastruktur selbst und die Möglichkeiten, die sich aus der Technologie ergeben («enabler»).
- Intelligente Netze sind Infrastrukturen, die vermehrt von Informations- und Kommunikationstechnologien durchdrungen sind und damit effizienter geplant und betrieben werden können[120]. Während die Digitalisierung im Strombereich bereits voranschreitet, sind andere Sparten noch kaum davon betroffen. Insbesondere im Gas- sowie Wasser- und Wärmesektor sind Entwicklungen zu erwarten. Eine integrierte Betrachtung dieser Infrastrukturen verspricht volkswirtschaftliche Gewinne, birgt jedoch eine enorme nicht nur technische sondern auch organisatorische Komplexität. Eine verbesserte Datenaufnahme, -analyse und -durchlässigkeit ist hier nötig.
- Messinfrastrukturen: Es werden immer mehr Messgeräte zu verschiedensten Zwecken installiert, z.B. zur Netzzustandsüberwachung oder zu Schutzzwecken. Typische Fragen betreffen geeignete Kommunikationskanäle (sicher, hochverfügbar, deterministische Latenzen usw.). Es braucht Konzepte zu deren (zentralen/dezentralen) Auswertung und Speicherung. Es stellt sich ausserdem die Frage, wie «analoge» Geräte «digitalisiert» werden können, ohne sie aber vollständig austauschen

[119] http://www.bauen-digital.ch/de/
[120] Siehe auch den Bericht des BFE (2015): «Smart Grid Roadmap – Wege in die Zukunft der Schweizer Elektrizitätsnetze».

zu müssen, und wie die daraus gewonnen Daten übertragen und in bestehende Leitsysteme eingebunden werden können.

- «Verarbeitung von Datenmengen» z.B. aus Smart Metern, welche auf dem Vormarsch sind: Energieversorger sind mit der Frage konfrontiert, wie sie mit diesen Datenmengen umgehen sollen von der Planung über den Betrieb bis hin zu neuen Geschäftsmodellen auf dem freien Markt. Insbesondere für den Strommarkt oder für den Energiedienstleistungsmarkt sind qualitativ hochwertige Daten unterschiedlichster Form von grossem Stellenwert. Eine effiziente Organisation wird zunehmend dringender. In der kürzeren Frist sind zentralere Varianten einer Datenorganisation, z. B. Datahubs vorstellbar.
- «Bugs»: Bei kritischen Infrastrukturen sind Programmierfehler ein grosses Problem und es braucht Konzepte für ein so genanntes «bug free by design». Gerade aus dem Verkehrsbereich weiss man, dass eine Zulassung – auch von Software – z.T. extrem lange braucht. Da sind Lösungen gefragt, um den Prozess zu beschleunigen bei gleichbleibender/höherer Sicherheit[121].
- Planungstools: Das beginnt bei der Planung der optimalen Netztopologie (zahlreiche Möglichkeiten, Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen), der Leitungen selber, der Dimensionierung der Netzanbindung von Gebäuden/Arealen bis zum Betrieb der Anlagen (inkl. Wetterprognosen, Verbrauchsprognosen, Instandhaltungsmassnahmen und «digital twinning», usw.).

2. Bundesamt für Kommunikation

Die Telekommunikationsnetze stellen die zentrale Infrastruktur zur Ermöglichung der Anwendung von digitalen Technologien dar. Entsprechend wichtig ist es, die Entwicklungen zu beobachten und neue Herausforderungen rechtzeitig anzugehen.

- Im Rahmen der laufenden Digitalisierung werden zunehmend neue, datenintensive Dienste angeboten. Insbesondere Cloud Computing und Internet of Things (IoT) haben zur Folge, dass die Daten zunehmend nicht mehr beim Anwender, sondern dezentral in einer Cloud abgelegt sind.
- Für die Funktion entsprechender Anwendungen, insbesondere für den Zugriff auf die entsprechenden Daten muss deshalb eine permanente Verbindung zum Internet bestehen. Es ist deshalb zu erwarten, dass die Anforderungen an die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit der Telekommunikationsnetze zunehmen werden.
- Die zunehmende Digitalisierung führt zudem dazu, dass der Datenverkehr auf den Telekommunikationsnetzen stetig zunimmt. Dies betrifft sowohl die Festnetze wie auch die Mobilfunknetze.
- Damit die Netze den zunehmenden Datenverkehr abwickeln können, müssen diese stetig ausgebaut werden.
- Insbesondere für den Ausbau der Mobilfunknetze müssen dabei ausreichend Frequenzressourcen verfügbar sein. Die im Rahmen der internationalen Frequenzkoordination dem Mobilfunk zugewiesen Frequenzen sollen dabei möglichst rasch vergeben werden. Zuständig für die entsprechenden Frequenzvergabeverfahren ist die Eidgenössische Kommunikationskommission ComCom.
- Im Rahmen des Ausbaus der Mobilfunknetze ist damit zu rechnen, dass eine grosse Anzahl neuer Antennenstandorte gebaut werden müssen. Dies ist für die Mobilfunkbetreiber eine grosse Herausforderung, da sie einerseits Standorte für die entsprechenden Anlagen finden, Baubewilligungsverfahren durchlaufen und die in der Schweiz strengen Strahlengrenzwerte einhalten müssen.

Im Rahmen der Umsetzung der nationalen Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen SKI laufen derzeit die Arbeiten zur Durchführung der Verwundbarkeitsanalyse des Telekomsektors unter Feder-

[121] Siehe auch den Bericht des BFE (2016): «Schutz- und Sicherheitsanalyse im Rahmen der Entwicklung von Smart Grids in der Schweiz».

führung des BWL. Herausforderungen der genannten Entwicklungen für den Bildungs- bzw. Forschungsbereich werden im Rahmen dieser Analyse thematisiert. Zentrale Aspekte betreffend die Herausforderungen der genannten Entwicklungen für den Bildungs- bzw. Forschungsbereich dürften dabei sein:

Fachkräfte: Da in Zukunft alles mit der Verfügbarkeit und der Robustheit der Netze steht und fällt, braucht es zwangsläufig mehr Fachkräfte, die sichere, belastbare Netze bauen und betreiben können, die nach einer Störung oder einem Vorfall in der Lage sind, den Betrieb schnell wieder hochzufahren und eventuell verlorengegangene Informationen wiederherstellen können (Fachkräfte IT-Architektur, IT-Sicherheit, Information Retrieval). Da die Systeme komplex sind, kommt ein Bedarf an Kommunikationswissen hinzu, um den Entscheidungsträgern bzw. dem Management effizient vermitteln zu können, welche Entscheidung was beeinflusst. Ob es sich hierbei allenfalls um eine eigene Spezialisierung handelt, lässt sich derzeit nicht abschätzen.

Breite Bevölkerung: Auch die breite Bevölkerung (Personen, die das formale Bildungssystem bereits verlassen haben) muss in Grundzügen verstehen, wie IT-Systeme funktionieren, was eine Cloud ist usw. Das bedingt entsprechend gut aufbereitete, leicht zugängliche und verlässliche Informationen. Für diejenigen, die im Bildungssystem stehen, sollte dieses Grundwissen Teil der Schulbildung werden. Zu diskutieren wird sein, ob Schülerinnen und Schüler z.B. das Programmieren lernen sollten, was über ein Grundwissen deutlich hinausgeht. In beiden Fällen müssen Lehrkräfte entsprechend ausgebildet und Lehrmaterialien vorhanden sein.

3. Bundesamt für Raumentwicklung

Für die Raumentwicklung sind nach Information des ARE aus derzeitiger Sicht die folgenden Entwicklungen der Digitalisierung relevant:

Digitalisierung der Planung:
Die Planung erfolgt heute noch weitgehend analog. Eine Umstellung auf eine digitale Planung wird die beteiligten Planungspartner vor grosse Herausforderungen stellen und entsprechende Anpassungen in Ausbildung und Forschung notwendig machen.

Digitalisierung im Bereich der Mobilität:
Durch die Digitalisierung entstehen im Mobilitätsbereich neue Angebote im Verkehrssystem (Automatisierte Fahrzeuge, Vermischung ÖV/MIV durch Ridesharing/Sammeltaxis, Bikesharing, Parksharing, Markteintritt von Mobility as a service*-Providern) und gesellschaftliche Veränderungen (ortsunabhängiges Arbeiten, Teilen statt besitzen (z. B. Car Sharing)), welche räumliche und verkehrliche Auswirkungen haben werden. In welche Dimension, Richtung und in welcher Geschwindigkeit diese Entwicklungen gehen, ist allerdings noch unklar. Die verkehrlichen und räumlichen Auswirkungen der neuen Angebote und der gesellschaftlichen Verhaltensänderungen müssen durch Forschung antizipiert und analysiert werden. Die Erkenntnisse daraus müssen zusammen mit in Raum- und Verkehrsplanungsgrundsätzen festgehaltenen Vorstellungen der erwünschten Entwicklung in Planungs-, Projektierungs- und Dimensionierungsgrundlagen sowie in den Gesetzgebungsprozess einfliessen.

4. Bundesamt für Verkehr

Die Digitalisierung verändert die Art und Weise der Leistungserbringung und das Angebot der Transportunternehmungen wie auch der Infrastrukturbetreiber fundamental. Daten sind der Schlüssel dazu. Heute liegt der Fokus noch stark auf statischen Netzdaten. Allerdings treten mit zunehmender Echtzeitdatenverfügbarkeit dynamische Momentaufnahmen und Echtzeitsteuerung der Transportangebote sowie das Tracking der Betriebs- und Unterhaltsprozesse von Fahrzeugen und Infrastruktur in den Fokus. Die digitale Verfügbarkeit der Tarifinformationen verändert zugleich die Kundenkommunikation. In Zukunft wird auch der Verkauf von Mobilitätsdienstleistungen möglich werden.

Um die Chancen der Digitalisierung zu nutzen und Risiken zu minimieren, sind die Herausforderungen insbesondere im Bereich Bildung und Forschung als Querschnittsthema anzugehen. Um die Chancen für die einzelnen Geschäftsbereiche zu nutzen, gilt es einerseits die digitalen Kompetenzen aufzubauen. Anderseits bedarf es zur Risikominimierung (und Kosteneffizienz) vermehrt Kompetenzen für ein systematisches «lean»-Innovationsmanagement.

In der folgenden nicht abschliessenden Themenliste zeichnet sich ab, dass neue Kompetenzen in Bildung und Forschung erforderlich sind:

- Kritische Infrastrukturen (Versorgungslinien, Kommunikationsinfrastrukturen, Verkehrswege, Energieversorgung, internationale datengestützte Systeme): Das betrifft die Zusammenhänge zwischen Cybertechnologien, Betrieb, Kontrolle und Sicherheit
- Cybersecurity technischer Anlagen und Komponenten: das Thema hat ein zunehmende Bedeutung insbesondere bei der funktionalen Sicherheit und Qualifizierung von Bauteilen
- Automatisierte Fahrzeuge -> Schiene, Strasse
- Digitalisierung der Transportangebote und deren Verknüpfung zu «Mobility as a Service»
- Digitalisierung der Fahrzeug- und Infrastrukturdaten -> Betrieb und Unterhalt: Nutzung der Möglichkeiten von Big Data, Datamining usw.
- Online-Erfassung von Daten (Leistungen, Projekte, Finanzielles) der Transportunternehmen sowie dem Datenaustausch mit dem Regulator
- Virtualisierung der Zulassungsnachweise
- Technologiemanagement
- Definition von Schnittstellen zur Vereinfachung des Datenaustausches

Der Bericht stellt unter anderem die Frage: Inwiefern hat der enge Zusammenhang zwischen Cybertechnologien, Forschungskompetenzen und dem Betrieb, der Kontrolle und der Sicherheit kritischer Infrastrukturen (Versorgungslinien, Kommunikationsinfrastrukturen, Verkehrswege, Energieversorgung, internationale datengestützte Systeme) einen weiterführenden Einfluss?

Neben den Chancen einer zunehmenden Digitalisierung für neue Mobilitätsformen stellen sich im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Forschungskompetenzen und dem Betrieb, der Kontrolle und der Sicherheit kritischer Infrastrukturen – für den Bereich Sicherheitstechnik im Verkehr – folgende Herausforderungen:

- Digitalisierungsfolgenabschätzungen
- Nutzen und Anwendung der Digitalisierung für die Bereich Energieeffizienz, Umweltschutz im Verkehr (aber diesbezügliche Manipulationsmöglichkeiten und Risiken)

5. Bundesamt für wirtschaftliche Landesversorgung

Die Betreiber von grossen, kritischen Infrastrukturen, etwa im Bereich der Strom-, Gas- oder Wasserversorgung setzen zur Steuerung ihrer Anlagen komplexe Systeme, sogenannte «Industrial Control Systems» (ICS), resp «Supervisory Control and Data Acquisition»-Systeme (SCADA) ein. ICS / SCADA-Systeme sind Individualentwicklungen, die auf die jeweiligen Kundenbedürfnisse zugeschnitten sind. Die Abhängigkeit gegenüber den Herstellern ist hoch. Betreiber von kritischen Infrastrukturen bemängelten verschiedentlich, dass die Schweizer Hoch- und Fachhochschulen kaum spezialisierte Ausbildungslehrgänge für ICS/SCADA-Administratoren anbieten. Entsprechend können die Betreiber der kritischen Infrastrukturen diese Qualifikation bei Stellenausschreibungen auch nicht explizit nachfragen.

Sehr viele Beschäftigte, die sich um Betrieb und Unterhalt (sowie teilweise die operative Bedienung) dieser Systeme kümmern, sind eigentlich «artfremde» Informatiker bzw. Quereinsteiger. Die Firma BKW lässt bspw. ihre SCADA-Administratoren aus diesem Grund in Deutschland weiterbilden und zertifizieren.

Bereits im Rahmen der nationalen Strategie zum Schutz der Schweiz vor Cyber-Risiken NCS wurde der Bedarf an besseren Ausbildungs- und Zertifizierungsmöglichkeiten im Umgang mit Industrial Control Systems (ICS) erkannt.[122] Im NCS-Massnahmenbericht zum Teilsektor Stromversorgung wurde deswegen die Schaffung eines anerkannten Fachausweises für SCADA-Administratoren als Ziel festgehalten.

6. Informatiksteuerungsorgan des Bundes

Zentrale Herausforderungen bzgl. Cyber Security sind aus Sicht des ISB:

- Die hohe Dynamik der Digitalisierung und die zunehmende Komplexität machen es schwierig, die Risiken und Bedrohungen einzuschätzen und zu antizipieren.
- Die Digitalisierung neuer Bereiche führt zu bisher unbekannten Risiken. Die stärkere Verbindung zwischen dem digitalen und dem physischen Raum erhöht das potenzielle Schadensausmass bei Angriffen oder Störungen der verwendeten IKT.
- Der Schutz von persönlichen Daten wird immer schwieriger, da immer mehr Geräte und Anwendungen Daten generieren. Es ist für den Nutzer nicht nachvollziehbar, wo und für welche Zwecke seine Daten gespeichert werden.
- Private Anbieter werden noch wichtiger für die Sicherheit der Staaten. Die öffentlich-private Zusammenarbeit gewinnt weiter an Bedeutung, ist aber im Bereich der Sicherheit herausfordernd.
- Die Einhaltung von Sicherheitsstandards ist in komplexen Systemen sehr schwierig zu überprüfen.

7. Bundesamt für Gesundheit

Die Digitalisierung wird den Gesundheitsbereich verschiedenartig beeinflussen. Es wird allgemein erwartet, dass sich der zunehmende Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) positiv auf die Effizienz, die Qualität und die Sicherheit des Gesundheitsbereichs auswirken wird. Die Durchdringung des Gesundheitswesens durch die IKT («eHealth») manifestiert sich etwa im elektronischen Patientendossier, welches kurz vor der Einführung steht. Es soll die Koordination aller Akteure im Behandlungsprozess stärken, Doppelspurigkeiten beseitigen, die Patientensicherheit erhöhen und langfristig zu einer Kostenreduktion führen. Technische Fortschritte ermöglichen überdies zunehmend neue Diagnosemöglichkeiten und Behandlungsformen. Zu nennen sind hierbei beispielsweise neuartige Möglichkeiten bei der Überwachung wichtiger Gesundheitsparameter (Telemonitoring) oder auch Verbesserungen im Bereich der personalisierten Medizin. Mit letzterem sind Behandlungsmethoden gemeint, welche – basierend auf der Analyse diagnostischer Daten – zunehmend auf individuelle Gegebenheiten der Patienten abgestimmt sind. Erhebliches Potenzial wird der Digitalisierung auch im Bereich der pharmazeutischen Forschung attestiert. Grosse Datensätze und steigende Rechenleistungen ermöglichen die Erkennung bisher unentdeckter Zusammenhänge und ermöglichen die Entwicklung neuer und effizienterer Medikamente und eine verbesserte Evaluation bestehender Instrumente. Der systematische «eHealth»-Ausbau lässt schliesslich einen neuen Dienstleistungssektor entstehen und wird so selbst zu einem eigentlichen Wirtschaftsfaktor.

[122] Die Problematik wurde auch von der Europäischen Agentur für Netz- und Informationssicherheit ENISA erkannt. Diese hat eine Studie veröffentlicht, welche eine Reihe von Empfehlungen zur Zertifizierung von SCADA-Administratoren publiziert hat: https://www.all-about-security.de/security-artikel/organisation/security-management/artikel/16683-enisas-empfehlungen-fuer-die-zertifizierung-von-icsscada/

Neben den erwähnten Chancen führt die Digitalisierung auch zu neuen Risiken, wobei insbesondere dem Schutz persönlicher Daten eine grosse Bedeutung beizumessen ist. Gleichzeitig stellt die Digitalisierung das Schweizer Gesundheitswesen vor eine Reihe zusätzlicher Herausforderungen. In erster Linie gilt es, den gestiegenen Fachkräftebedarf durch qualifizierten Nachwuchs aus allen Bildungsstufen sicherzustellen. Die Ausbildungsprofile sind dabei den neuen Herausforderungen anzupassen und, wo nötig, um IKT-Qualifikationen zu erweitern. Gerade im Bereich der Forschung dürfte dabei das interdisziplinäre Zusammenarbeiten – etwa zwischen medizinischem Fachpersonal und Computerwissenschaftlern – an Bedeutung gewinnen.

8. Bundesamt für Bevölkerungsschutz

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) koordiniert im Auftrag des Bundesrates die Umsetzung der nationalen Strategie zum Schutz kritischer Infrastrukturen (SKI). Für viele kritische Infrastrukturen, zu denen u.a. auch der Teilsektor Forschung und Lehre zählt, bringt die Digitalisierung sowohl grosse Chancen als auch grosse Risiken mit sich. Mit der Digitalisierung steigt auch die Verwundbarkeit der kritischen Infrastrukturen an: Nicht zuletzt weil IKT-basierte Systeme auf eine funktionierende Stromversorgung sowie vielfach auf funktionierende IT- und Telekommunikationsnetze angewiesen sind. Im Rahmen der nationalen SKI-Strategie sowie der nationalen Cyber-Risiko-Strategie werden für alle 28 kritischen Teilsektoren Risiko- und Verwundbarkeitsanalysen erstellt und basierend darauf Massnahmen zur Stärkung der Resilienz (Widerstands- und Regenerationsfähigkeit) erarbeitet. Insbesondere werden dabei Verwundbarkeiten analysiert, die sich aus dem Einsatz von IKT-Systemen ergeben. Das BABS hat zudem einen Leitfaden erstellt, der den Betreibern von kritischen Infrastrukturen aufzeigt, wie sie die Resilienz selber überprüfen und bei Bedarf verbessern können.

Die Digitalisierung betrifft aber auch das Verbundsystem Bevölkerungsschutz als Ganzes. Den Partnern im Bevölkerungsschutz (Führungsorgane, Blaulichtorganisationen) bieten sie vielfältige, neue Anwendungsmöglichkeiten, welche die Bewältigung von Katastrophen und Notlagen effizienter gestalten (z.B. in den Bereichen Lage-, Einsatz- und Kommunikationssysteme).

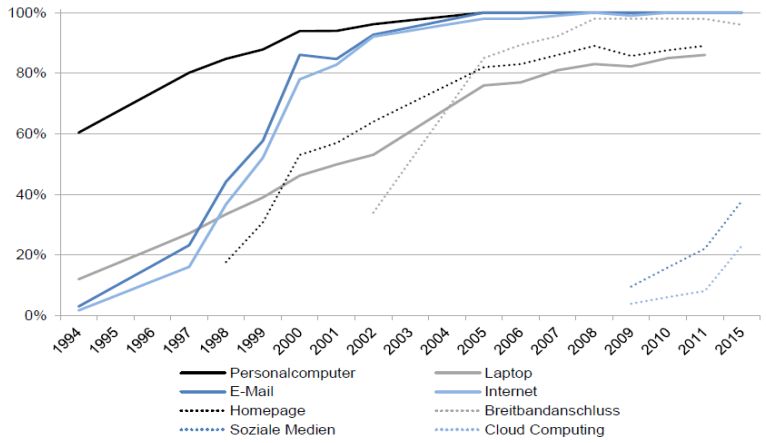
Anhang 2: Ergänzende Analysen

1. Ergänzende Informationen zu Kapitel 2: Digitalisierungstechnologien als neue Basistechnologien

1.1 Bedeutung der Digitalisierung für die Wirtschaft

Kaum ein Unternehmen kommt heute ohne massiven Einsatz von IKT aus. Der Bedeutungszuwachs lässt sich beispielsweise an der rasanten Veränderung der Nutzung solcher Technologien in den Unternehmen ablesen (vgl. Abbildung A)[123]. Die statistische Erfassung dieses Phänomens unterliegt allerdings der Schwierigkeit, relevante neue Technologien zu erfassen und abzugrenzen; während in den 1990er-Jahren die Nutzung des Internets noch relativ neu war, ist dieses heute für alle Unternehmen nicht mehr wegzudenken; dagegen sind die Unternehmen heute mit der Einführung neuer Technologien, wie etwa dem Cloud Computing konfrontiert.

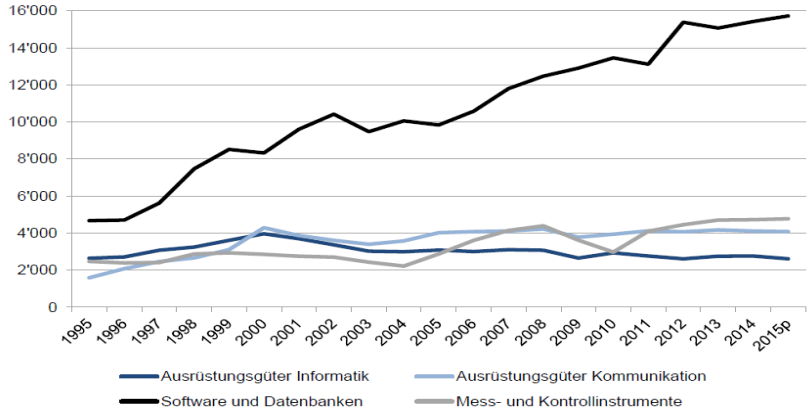
Abbildung A: IKT Infrastruktur in Schweizer Unternehmen, Entwicklung 1994-2015 (in % der Unternehmen)



Quelle: BFS

Auf aggregierter Ebene manifestiert sich der Bedeutungszuwachs in den IKT-Investitionen, welche insbesondere im Bereich Software und Datenbanken in den letzten Jahren markant gestiegen sind (vgl. Abbildung B).

Abbildung B: Investitionen in Informations- und Kommunikationstechnologien in der Schweiz, Entwicklung 1995-2015 (in Mio. Franken, zu laufenden Preisen)

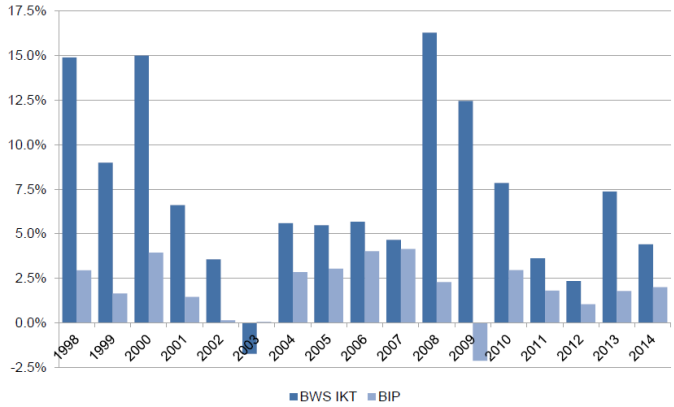


Quelle: BFS

[123] http://www.oecd.org/edu/ceri/GEIS2016-Background-document.pdf

Auch der IKT-Sektor selbst weist eine grosse Dynamik auf und ist volkswirtschaftlich bedeutsam. Trotz seinem relativ bescheidenen Anteil am BIP (zwischen 4.3% und 4.8% des BIP im Zeitraum 1997 bis 2014[124]), trägt er massgeblich zum Wachstum der Schweizer Wirtschaft bei. 2013 betrug sein Beitrag zum Wachstum des BIP 18%, im Jahr 2014 waren es 10%. Grund dafür sind die enorm grossen Zuwachsraten, welche – mit Ausnahme des Jahres 2003, nach dem Platzen der Internetblase – stets deutlich über jenen der Gesamtwirtschaft lagen (vgl. Abbildung C).[125]

Abbildung C: Wachstumsrate der Bruttowertschöpfung des IKT-Sektors und des BIP, 1998-2014 (zu Preisen des Vorjahres, in %)



Quelle: BFS

Von positiven Produktivitätseffekten werden gemäss Studien vor allem diejenigen Unternehmen übermässig profitieren, welche die Digitalisierungstechnologien selbst entwickeln.[126] Aber auch die Anwendung der Technologien zeigt grosse Produktivitätspotenziale. Eine Studie der KOF[127] zeigt, dass bereits über ein Drittel der Firmen mit dem Einsatz von IKT eine Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit vermeldet. Die Studie zeigt auch, dass Einsatz und Anwendungsbereiche der Technologien in Industrie- und Dienstleistungsunternehmen ähnlich sind; dies ist im Einklang mit der These, dass es sich bei diesen Technologien um Basistechnologien handelt, die branchenübergreifend eingesetzt werden. Eine Ausnahme bilden die Branchen der modernen Dienstleistungen (Banken / Versicherungen, Informationstechnologie, Medien, Telekommunikation, technische und nichttechnische unternehmensnahe Dienstleistungen), welche deutlich stärker auf Digitalisierungstechnologien setzen.

[124] https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/culture-medias-societe-information-sport/societe-information/indicateurs-generaux/secteur-tic/valeur-ajoutee-secteur-tic.assetdetail.1681022.html
[125] https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiques/culture-medias-societe-information-sport/societe-information/indicateurs-generaux/secteur-tic/valeur-ajoutee-secteur-tic.assetdetail.1681021.html
[126] Balsmeier / Wörter (2016): «Identifikation und Bewertung von wirtschaftlichen Entwicklungen im Bereich Digitalisierung aufgrund vorhandener Literatur». KOF Studien, Nr. 85.
[127] Arvanitis et al. (2017): «Digitalisierung in der Schweizer Wirtschaft: Ergebnisse der Umfrage 2016 – eine Teilauswertung im Auftrag des SBFI».

2. Ergänzende Informationen zu Kapitel 3: Herausforderungen im Bereich «Bildung»

2.1 Entwicklung der IKT-Studierendenzahlen und -Abschlüsse im Hochschulbereich

Bis ins Jahr 2003 konnte sowohl an den Fachhochschulen, wie auch an den universitären Hochschulen ein stetiger Anstieg der Studierendenzahlen im IKT-Bereich festgestellt werden. Nach einem Rückgang bis 2007 / 2008 sind die Studierendenzahlen seither in beiden Hochschulbereichen wieder konstant angestiegen (+171% an den universitären Hochschulen, +150% an den Fachhochschulen). Seit 2003 übersteigt zudem die Zahl der IKT-Studierenden an den Fachhochschulen diejenige an den universitären Hochschulen. Die Entwicklung der IKT-Abschlüsse verlief über die Zeit weitestgehend parallel zu den Studierendenzahlen.

Tabelle A: Entwicklung der IKT-Studierendenzahlen und –Abschlüsse

a) IKT-Abschlüsse an universitären Hochschulen, 1997-2015[128]

Jahr	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Master / Lizentiate / Diplome	268	221	307	284	346	402	451	599	542	509	496	497	428	316	329	317	391	428	410
Doktorate	58	66	72	76	69	72	68	73	105	108	103	103	110	146	118	165	109	147	159
Total (mit Bachelor)	326	287	379	360	415	474	533	704	788	822	850	882	751	714	687	765	773	909	893
Total (ohne Bachelor)	**326**	**287**	**379**	**360**	**415**	**474**	**519**	**672**	**647**	**617**	**599**	**600**	**538**	**462**	**447**	**482**	**500**	**575**	**569**

b) IKT-Abschlüsse an Fachhochschulen, 2000-2015[129]

Jahr	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15
Diplom / Bachelor	223	469	556	766	915	893	926	943	857	810	720	708	775	836	831	922
Master											79	178	216	158	218	222
Total	223	469	556	766	915	893	926	943	857	810	799	886	991	994	1049	1144

c) IKT-Studierende an Universitären Hochschulen und Fachhochschulen, 1997-2016

Jahr	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16
FH	465	1292	2202	3139	3793	4448	4752	4649	4524	4344	4128	4018	4327	4563	4817	5140	5501	5876	6392	6872
UH	2311	2609	3546	4203	4590	4669	4497	4067	3796	3548	3345	3347	3453	3630	3910	4097	4261	4442	4692	5021

Quelle: BFS, SHIS

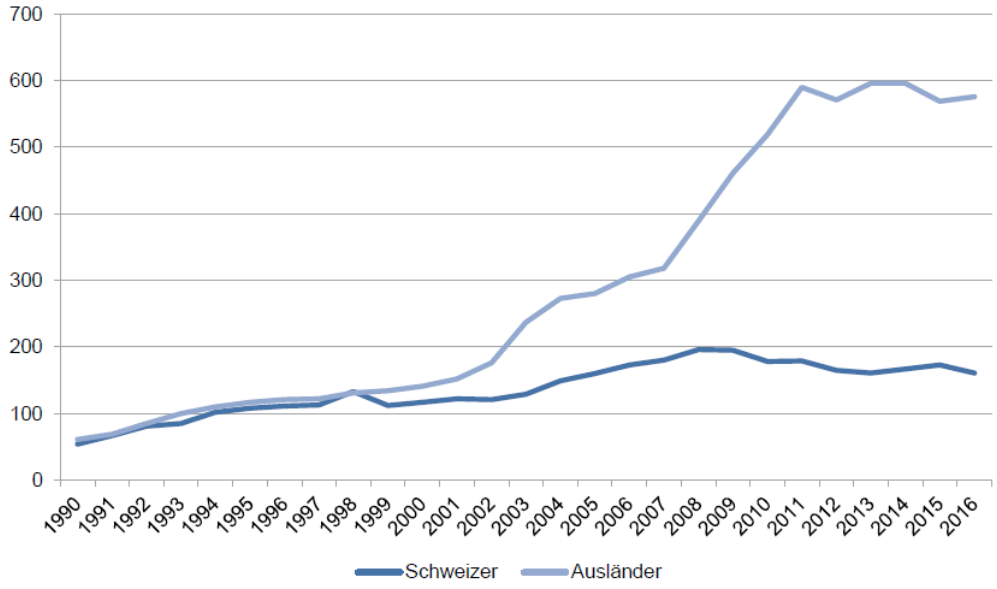
2.2 IKT-Promotionen

Die Zahl der Doktoratsabschlüsse im Bereich der Informationstechnologie und der Kommunikationssysteme ist seit Ende der 1990er-Jahre in der Schweiz stark angestiegen. Der Anstieg dieser IKT-Promotionen ist dabei in erheblichem Masse auf ausländische Staatsangehörige zurückzuführen, auf welche heute ein Grossteil der Promotionen entfällt (vgl. Abbildung D).

[128] Fachrichtungen: Informatik, Betriebsinformatik, Kommunikationssysteme.

[129] Fachrichtungen: Hyperwerk, Geomatik, Informatik, Wirtschaftsinformatik, Telekommunikation, Medizininformatik, Informationstechnologie, Engineering Technik & IT.

Abbildung D: IKT-Promotionen in der Schweiz nach Staatsangehörigkeit:



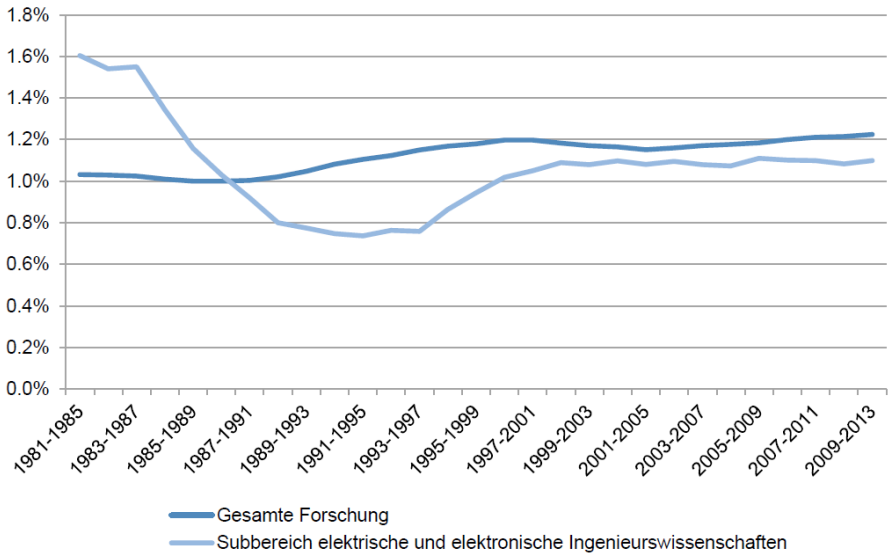
Quelle: BFS

3. Ergänzende Informationen zu Kapitel 4: Herausforderungen im Bereich «Forschung & Innovation»

3.1 Forschungsaktivität im Bereich «elektrische und elektronische Ingenieurwissenschaften»

Der Forschungsbereich «elektrische und elektronische Ingenieurwissenschaften» weist mit Hardware-bezogener Forschung (z.B. Halbleiter) ebenfalls einen Bezug zu IKT auf. Hinsichtlich dieses Bereichs stellt sich die Position der Schweiz sehr ähnlich dar, wie im Subbereich «Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik» (vgl. Abbildung E sowie Abbildung 14 im Bericht). Trotz eines zuletzt stagnierenden Anteils des Schweizer Publikationsvolumens ist dieser Forschungsbereich als qualitativ hochstehend einzustufen.

Abbildung E: Anteil der Schweiz an den globalen Publikationen im Bereich «elektrische und elektronische Ingenieurswissenschaften»

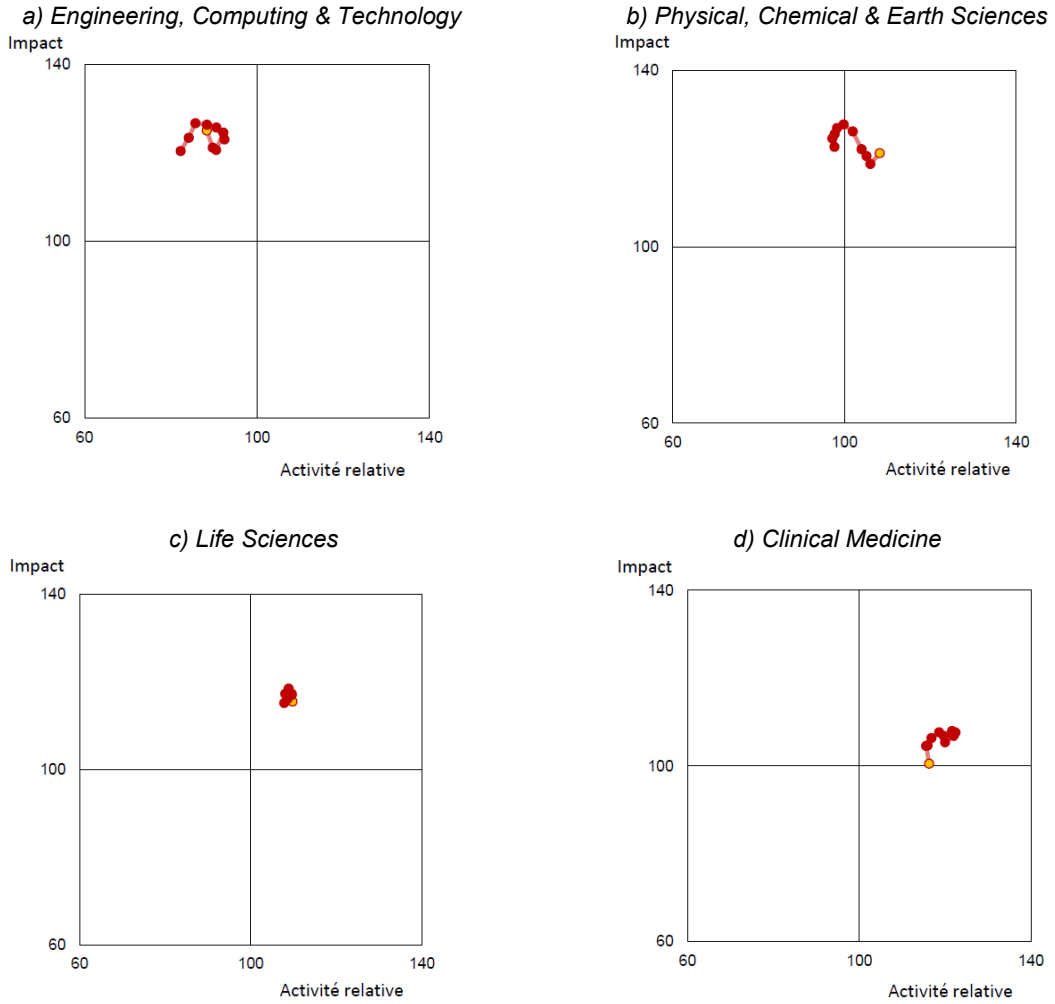


Quelle: Analyse SBFI auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

3.2 Anteile und Impact ausgewählter Forschungsbereiche

Im Vergleich zu anderen grossen Forschungsgebieten wie Physik oder den Life Sciences weist die Schweiz hinsichtlich der Forschungsaktivität (gemessen an der Produktion wissenschaftlicher Publikationen) insgesamt keinen Schwerpunkt in dem Forschungsbereichen der digitalen Technologien auf, verfügt aber – gemessen am relativen (Zitations-)Impact der wissenschaftlichen Publikationen – teilweise über Forschungsleistungen von sehr hoher Qualität (vgl. Abbildung Fa für den gesamten Bereich «Engineering, Computing & Technology»).

Abbildung F: Entwicklung der Produktion und des Impacts von vier zentralen Forschungsbereichen

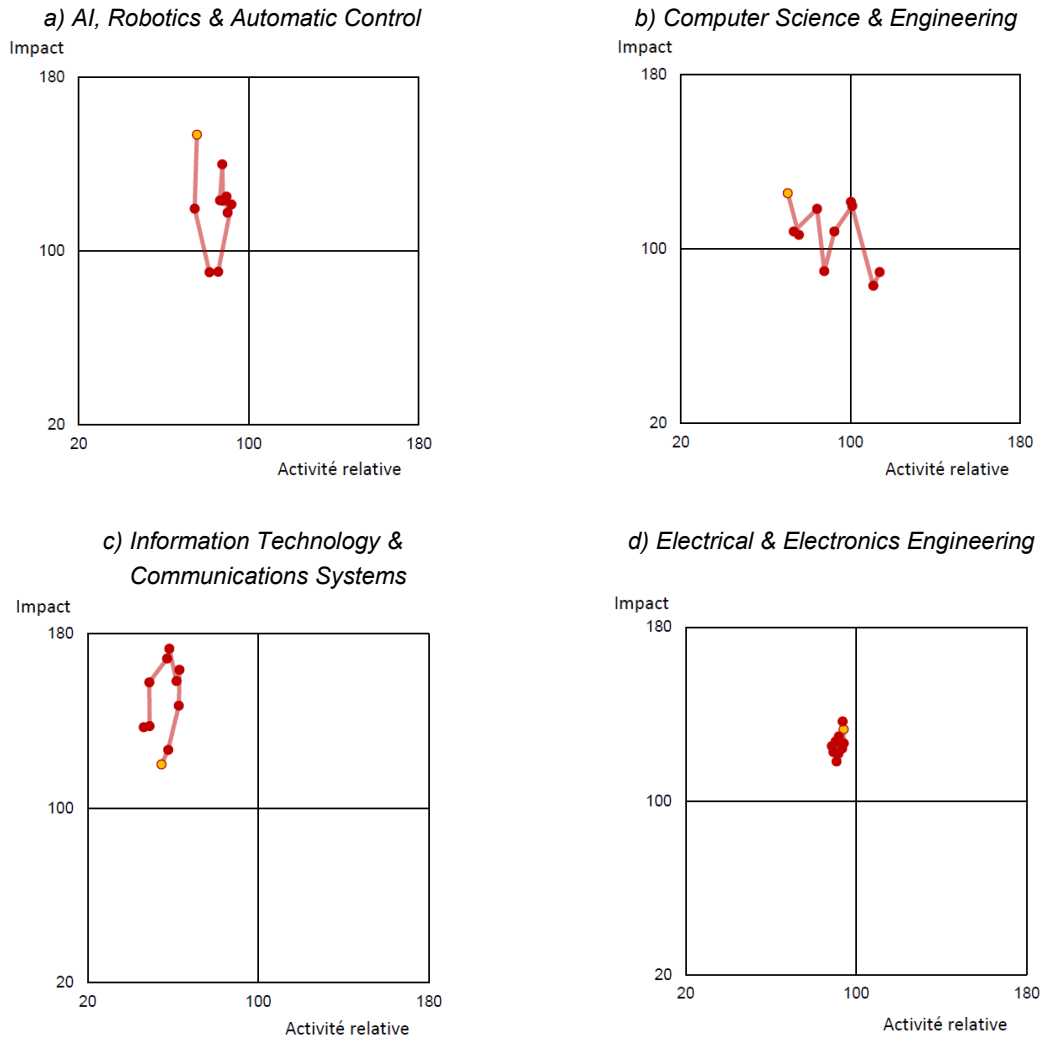


Anmerkung: Impact: relativer Zitationsindex; Relative Aktivität: relativer Publikationsindikator, d. h. Anteil der Schweizer Publikationen im Subbereich im Verhältnis zum weltweiten Anteil im Subbereich; eine Grösse, die anschliessend genormt wird, wobei 100 dem weltweiten Mittelwert für den jeweiligen Subbereich entspricht. Der gelbe Punkt kennzeichnet die erste Periode 2000–2004.

Quelle: Eigene Analyse auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

Auch die Analyse von Subbereichen der IKT-bezogenen Forschung bestätigt in den meisten Forschungsgebieten einen unterdurchschnittlichen Anteil bei teilweise sehr hohem Impact der Forschung (vgl. Abbildung G).

Abbildung G: Entwicklung der Produktion und des Impacts von vier IKT-Forschungsbereichen



Anmerkung : Impact: relativer Zitationsindex; Relative Aktivität: relativer Publikationsindikator, d. h. Anteil der Schweizer Publikationen im Subbereich im Verhältnis zum weltweiten Anteil im Subbereich; eine Grösse, die anschliessend genormt wird, wobei 100 dem weltweiten Mittelwert für den jeweiligen Subbereich entspricht. Der gelbe Punkt kennzeichnet die erste Periode 2000–2004.

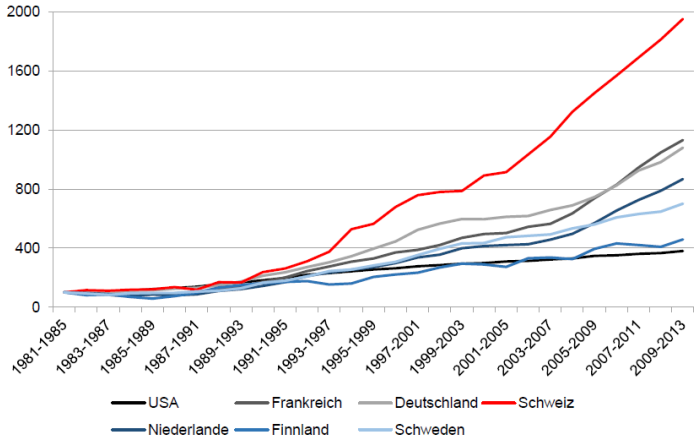
Quelle: Eigene Analyse auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

3.3 Internationale Entwicklung des Forschungsoutputs für weitere Forschungsbereiche

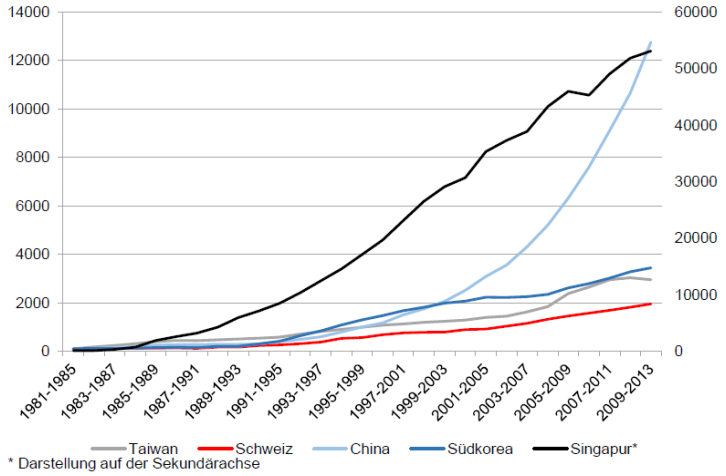
In allen IKT-bezogenen Forschungsfeldern haben in den vergangenen Jahren vor allem Länder in Asien massiv investiert (vgl. Abbildung H).

Abbildung H: Internationale Entwicklung des Forschungsoutputs für weitere Forschungsbereiche (Index: 1981/1985 = 100)

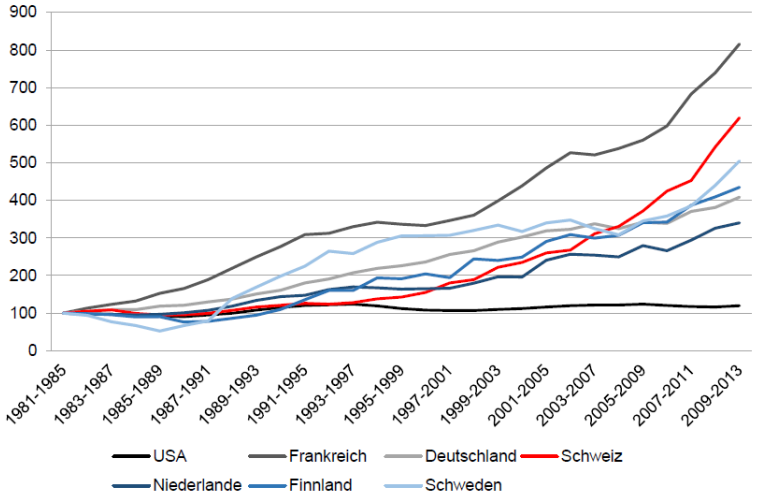
a) Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik: ausgewählte forschungsstarke europäische Staaten & USA



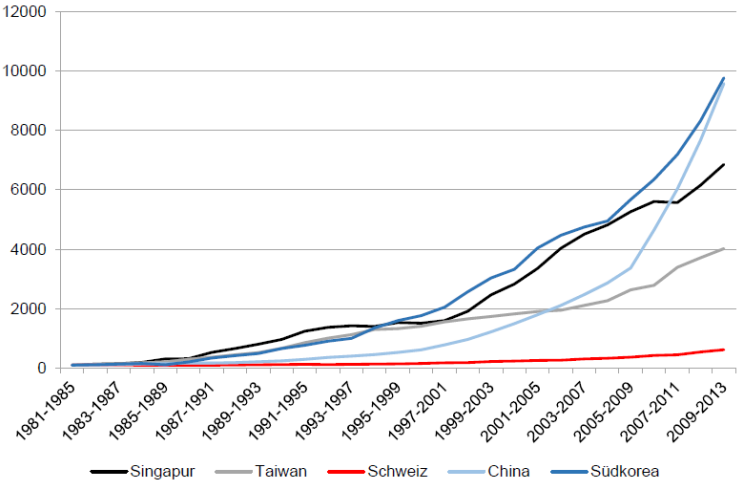
b) Künstliche Intelligenz, Robotik und Automatik: asiatische Staaten



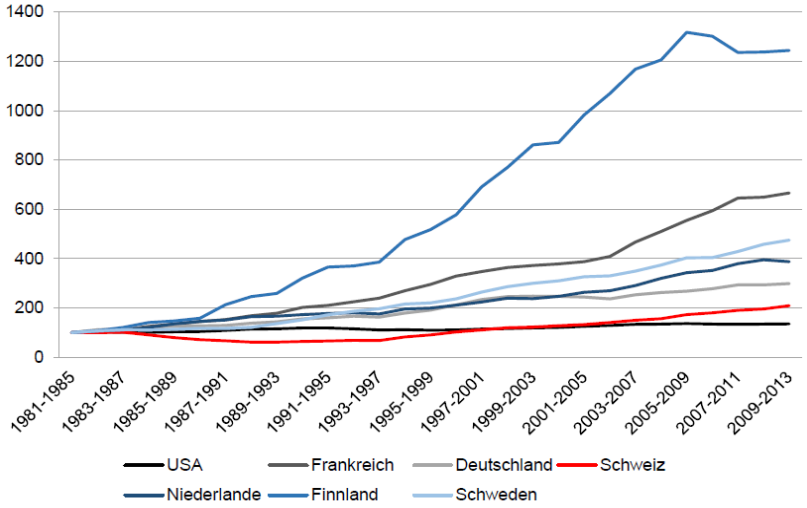
c) Computerwissenschaften und computerbezogenen Ingenieurwissenschaften: ausgewählte forschungsstarke europäische Staaten & USA



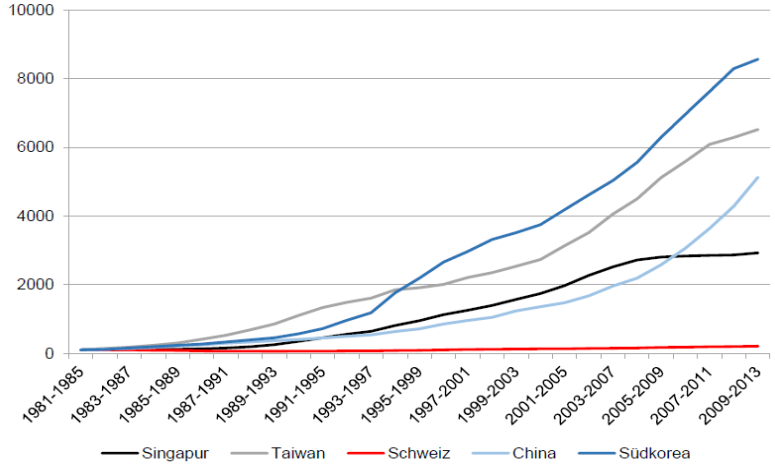
d) Computerwissenschaften und computerbezogenen Ingenieurwissenschaften: asiatische Staaten



e) Elektrische und elektronische Ingenieurwissenschaften: ausgewählte forschungsstarke europäische Staaten & USA



f) Elektrische und elektronische Ingenieurwissenschaften: asiatische Staaten

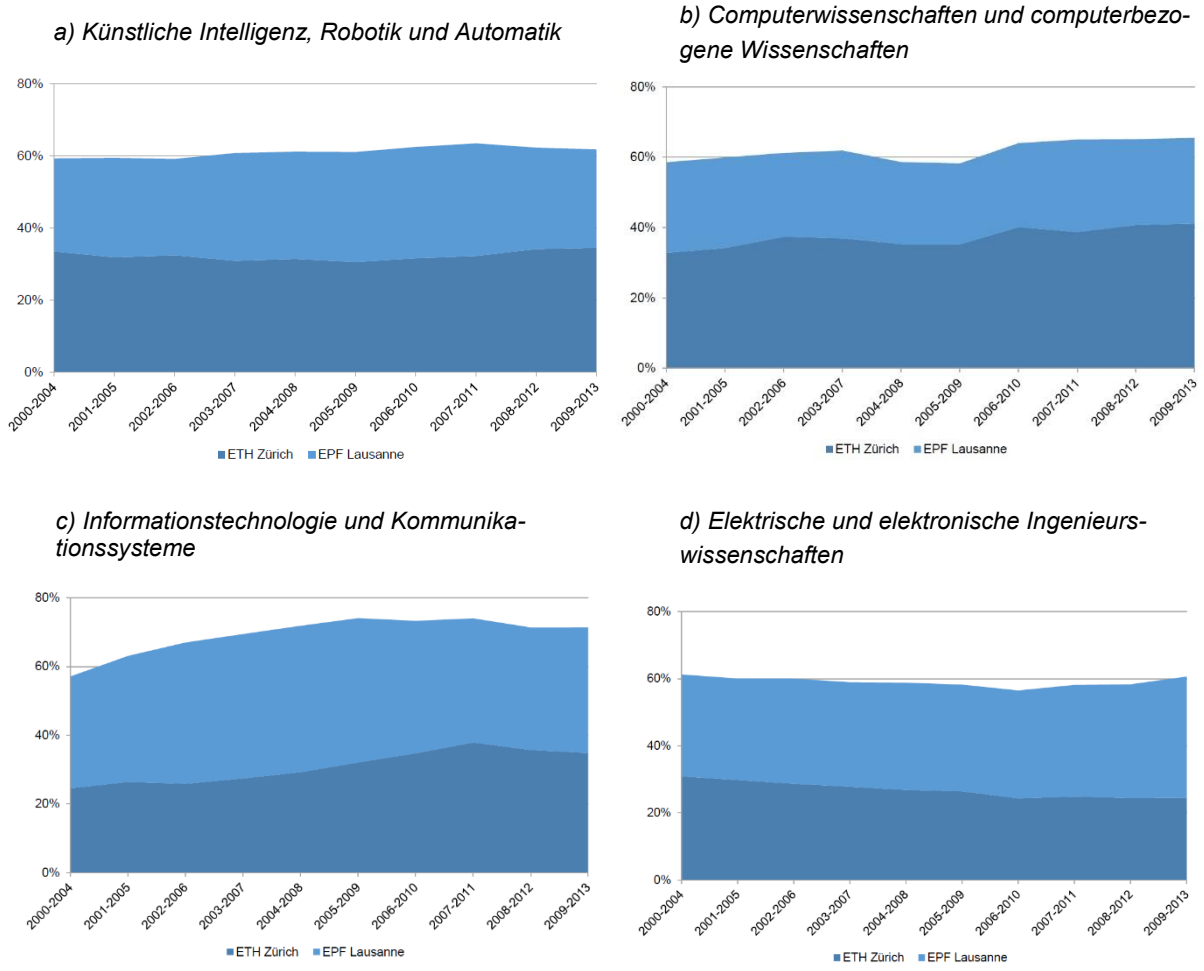


Quelle: Eigene Analyse auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

3.4 Anteil der beiden ETH an der Gesamtzahl aller Publikationen in ausgewählten Forschungsbereichen der IKT

Alle vier hier dargestellten Forschungsbereiche werden massgeblich von den beiden ETH dominiert. So können in den erwähnten Disziplinen fast zwei Drittel aller veröffentlichten Publikationen einer der beiden Institutionen zugeordnet werden. Ihren Anteil steigern konnten diese insbesondere bei den «Computer- und computerbezogenen Wissenschaften» sowie bezüglich des Bereichs der «Informationstechnologie und der Kommunikationssysteme» (vgl. Abbildung I).

Abbildung I: Anteil der beiden ETH an der Gesamtzahl aller Publikationen in ausgewählten Forschungsbereichen der IKT in der Schweiz (Entwicklung 2000-2013)



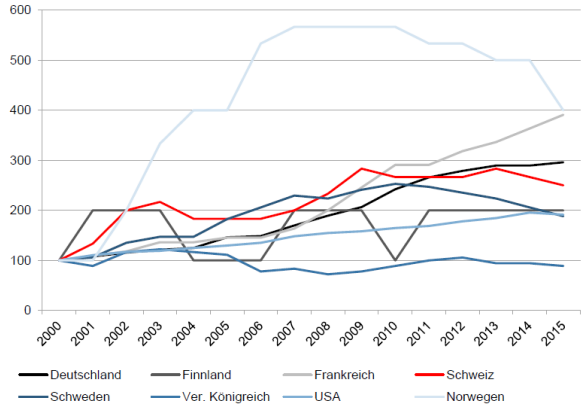
Quelle: Eigene Analyse auf Basis des Science Citation Index (SCI), dem Social Science Citation Index (SSCI) und dem Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) von Thomson Reuters.

3.5 Internationale Entwicklung der Patentaktivitäten in ausgewählten Digitalisierungstechnologien

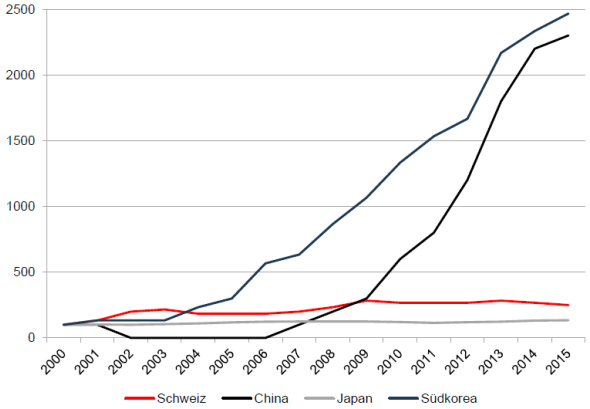
Im Folgenden ist die Entwicklung der Patentaktivitäten in ausgewählten Digitalisierungstechnologien abgebildet. Im Vergleich mit den europäischen Staaten und den USA fällt die Entwicklung der Schweiz insgesamt – jedoch mit Unterschieden je nach untersuchter Technologie – durchschnittlich aus.

Abbildung J: Internationale Entwicklung der Patentaktivitäten in ausgewählten Digitalisierungstechnologien (Index: 2000=100)

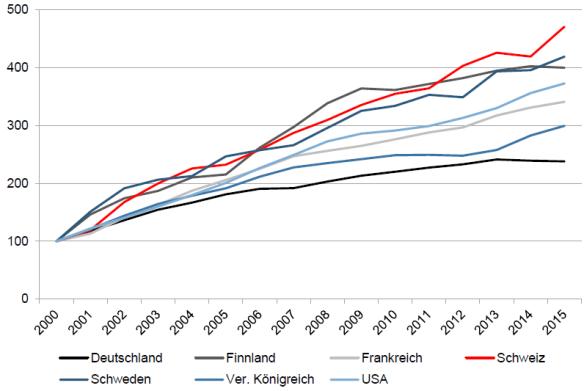
a) Additive Manufacturing: ausgewählte forschungsstarke europäische Staaten & USA



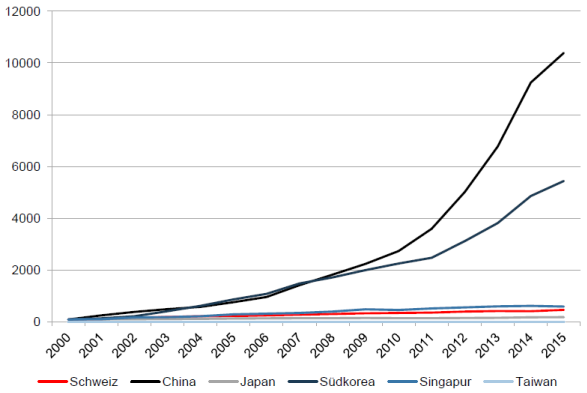
b) Additive Manufacturing: asiatische Staaten



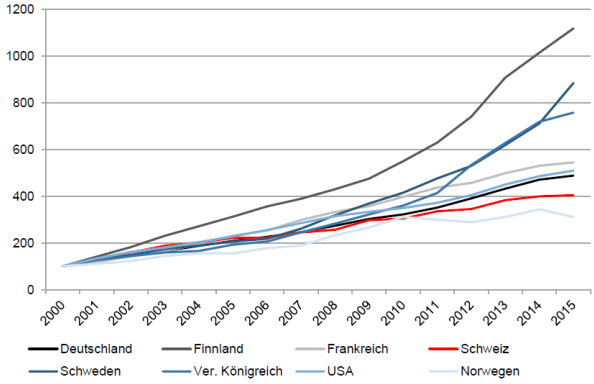
c) Künstliche Intelligenz: ausgewählte forschungsstarke europäische Staaten & USA



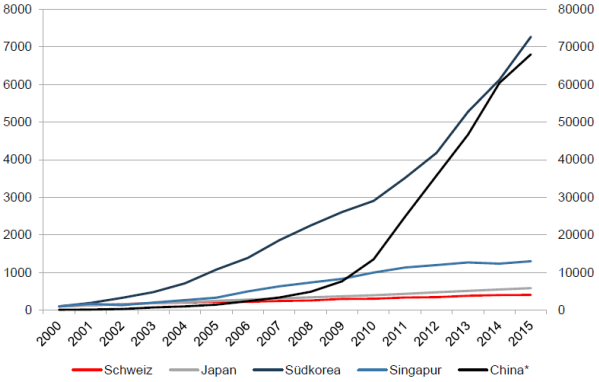
d) Künstliche Intelligenz: asiatische Staaten



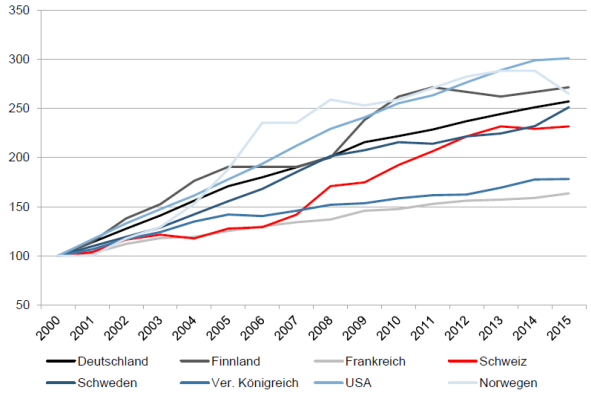
e) Internet of Things: ausgewählte forschungsstarke europäische Staaten & USA



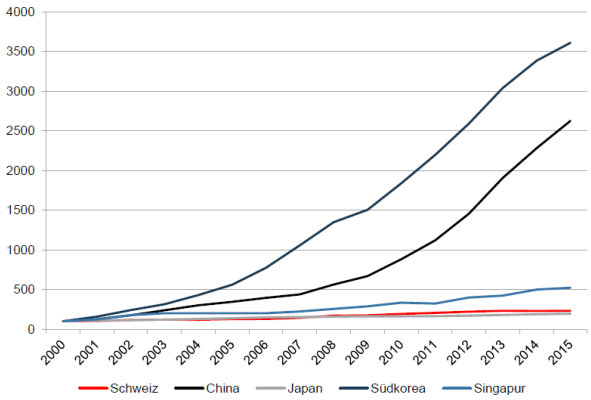
f) Internet of Things: asiatische Staaten



g) Robotik: ausgewählte forschungsstarke europäische Staaten & USA



h) Robotik: asiatische Staaten



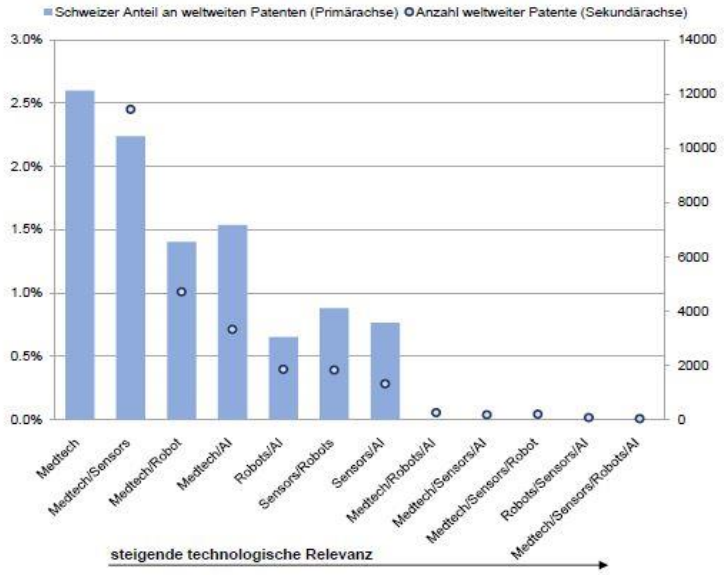
*Anmerkung: * Abbildung auf der Sekundärachse*
Quelle: BAKBASEL (2017), «Digitalisierungstechnologien in Patentaktivitäten», Studie im Auftrag des SBFI.

3.6 Ausgewählte Technologiekombinationen

Technologiekombinationen von Einzeltechnologien mit verschiedenen Digitalisierungstechnologien führen zu besseren Ergebnissen hinsichtlich des Werts der Patente. Die Schweiz fällt in der Verflechtung der Technologien etwas ab. D.h. sie steht in den einzelnen Technologien besser da, während andere vergleichbare Länder die Verflechtung besser realisieren können (vgl. Abbildung K). In der Medizinaltechnik etwa hält die Schweiz 2.6% aller Patente; dieser Anteil nimmt jedoch mit der zunehmenden technologischen Relevanz der Patentkombinationen tendenziell ab. Im Bereich «Industrie 4.0» besteht der Zusammenhang ebenfalls, wenn auch weniger eindeutig.[130]

Abbildung K: Verflechtung von Einzeltechnologien mit verschiedenen Digitalisierungstechnologien (gezählt werden die Anzahl Patente in den aufgeführten Technologiekombinationen)

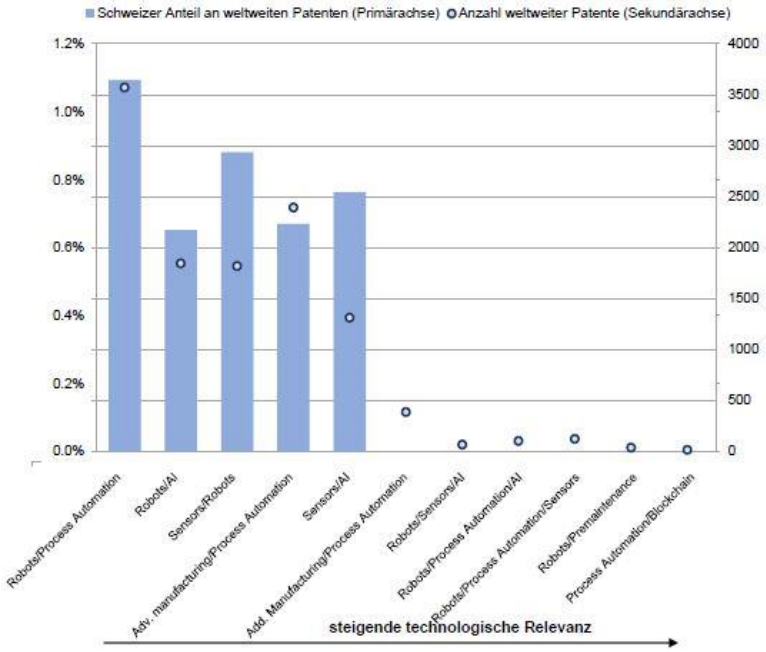
a) Medtech



[130] «Industrie 4.0» stellt dabei keine Einzeltechnologie sondern selbst eine Kombination verschiedener Technologien (Machinery, Process Automation, Robotics, Sensors, additive manufacturing, artificial intelligence, Internet of things) dar.

Anmerkung: Die weltweite Anzahl Patente im Bereich Medtech ist nicht abgebildet (Stand 2015: 198'740).

b) Industrie 4.0



Anmerkung: «Bei «Industrie 4.0» handelt es sich per Definition um eine Kombination verschiedener Technologien und nicht um eine eigenständige Technologie, weswegen die Gesamtzahl weltweiter Patente und deren Schweizer Anteil nicht eigenständig abgebildet sind».
Quelle: BAKBASEL (2017), «Digitalisierungstechnologien in Patentaktivitäten», Studie im Auftrag des SBFI.

Anhang 3: Ausgewählte Initiativen zum Thema Digitalisierung im Bereich Forschung, Innovation und Hochschulen

Sowohl in der Schweiz wie auch in verschiedenen weiteren Ländern sind in den letzten Jahren eine ganze Reihe von Initiativen im Bereich der Digitalisierung lanciert worden. Nachfolgend werden einige ausgewählte Beispiele aufgeführt.

1. Initiativen in der Schweiz

1.1 Forschungs- und Innovationsförderung

Im Rahmen des *NFP 75 «Big Data» (25 Mio. CHF),* werden drei Schwerpunkte verfolgt: technische Fragen, gesellschaftlicher Nutzen und praktische Anwendungen. Das Modul Informationstechnologie befasst sich mit der Datenanalytik (Analyse, Auswertung, maschinelles Lernen), Datenmanagement-Services und auch mit Fragen bezüglich Sicherheit, Zugriffskontrolle und Vertrauen. Das zweite Modul befasst sich mit gesellschaftlichen Herausforderungen und analysiert die gesellschaftliche Akzeptanz von Big Data, regulatorische Herausforderungen sowie den wirtschaftlichen, sozialen und bildungsbezogenen Nutzen. Im dritten Modul geht es um Anwendungen von Big Data in verschiedenen Gesellschaftsbereichen, z. B. Medizin, Verkehr und Bevölkerungsschutz.

Drei laufende Nationale Forschungsschwerpunkte (NFS) beschäftigen sich mit Themen der Digitalisierung.

- Der Schwerpunkt «QSIT – Quantenwissenschaften und -technologie» (Gesamtrahmen 2010-2017: rund 110 Mio. CHF) beinhaltet die Entwicklung von Anwendungen im Bereich der Quanteninformatik, aber auch die Untersuchung neuer Paradigmen in der physikalischen Grundlagenforschung. Anwendungsmöglichkeiten ergeben sich vor allem im Bereich der Informatik und der Sensoren.
- Der Schwerpunkt «Robotik – Intelligente Roboter für eine verbesserte Lebensqualität» (Gesamtrahmen 2010-2017: rund 63 Mio. CHF) nimmt eine vielversprechende Thematik der Ingenieurwissenschaften auf und will neue, auf den Menschen ausgerichtete Robotertechnologien entwickeln.
- Der Schwerpunkt «MARVEL – Materials' Revolution: Computational Design and Discovery of Novel Materials» (Gesamtrahmen 2014-2017: rund 36 Mio. CHF) hat sich eine wissenschaftliche und technologische Revolution zum Ziel gesetzt, die auf Basis der Quantenmechanik und in der Analyse grosser Datenmengen mit Hilfe von IKT eingeläutet werden soll. Dieser informatikbasierte Ansatz zur Materialentdeckung und -entwicklung findet in den Bereichen Energie, IKT und Pharmazie Anwendung.

Im Bereich der Förderinstrumente bearbeitet und unterstützt auch die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) unter anderem Projekte im digitalen Bereich. So gingen bei der KTI im Jahr 2014 16,1 der für «Enabling Sciences» insgesamt verfügbaren Mittel von 26,3 Mio. Franken an Projekte im Bereich der Informations- und Kommunikationstechnologien. Die Projekte umfassten dabei die verschiedensten Themen; das Internet der Dinge, Energienetzwerke oder Visualisierung von Expertensystemen zur Unterstützung von Therapien im Bereich der Medizin.

1.2 Wissenschaftliche Informationsstrukturen und Open-Access-Strategie

Die Entwicklungen in der Informationstechnologie haben den Austausch von Wissen revolutioniert und neue Lösungen für die Verbreitung und die Verarbeitung wissenschaftlicher Daten ermöglicht. Forschende sind heute rund um den Globus miteinander vernetzt, Daten und Forschungsresultate grundsätzlich weltweit verfügbar. Tatsächlich ist die Verfügbarkeit von wissenschaftlichen Publikationen aber durch kostspielige Lizenzen für elektronische Zeitschriften und Lizenzbestimmungen eingeschränkt.

Hochschulen bezahlen dabei sowohl für das Abonnement (Bibliotheken) als auch für die Forschungsleistung (Forschende). Eine massive Zunahme der Kosten für den Zugang zu wissenschaftlichen Publikationen hat die Situation in den letzten Jahren akzentuiert. Wissenschaftliche Informationsinfrastrukturen (z.B. Archive, Bibliotheken, Publikations- und Forschungsdatenbanken) müssen daher gestärkt, ausgebaut und so institutionenübergreifend vernetzt werden, damit die Zugänglichkeit und Nutzung der für Lehre und Forschung notwendigen digitalen Informationen gesichert ist.

Eine besondere Herausforderung stellt sich diesbezüglich im Schweizerischen Hochschulraum beim Aufbau und der nationalen wie internationalen Vernetzung von fachbereichsspezifischen Repositorien und Forschungsdatenbanken zum Zweck der Reproduzierbarkeit von Forschungsresultaten und der forschungsbezogenen Nutzung der mit öffentlichen Mitteln erzeugten Forschungsdaten. Aus Sach- wie namentlich aber auch aus Kostengründen müssen für diese Belange nationale, unter allen Akteuren (Fachbereiche, Hochschulen, Förderorgane) abgestimmte Verbundlösungen erarbeitet werden. Zusammengefasst werden können diese Massnahmen unter dem Begriff Open Science inkl. Open Access und Open Data. Mit dem Anliegen öffentlich finanzierte Forschung für die Öffentlichkeit leicht zugänglich machen zu wollen, sind in den letzten Jahren verschiedene Initiativen lanciert worden:

P-5 «Wissenschaftliche Information: Zugang, Verarbeitung und Speicherung
Finanziert über die Mittel der projektgebundenen Beiträge gemäss HFKG sollen mit dem Projekt «Zugang zu wissenschaftlicher Information» (P-5) die Kräfte der Schweizer Hochschulen gebündelt und über koordiniert entwickelte und zur Verfügung gestellte Dienste ein möglichst einfacher und günstiger Zugang zu Publikationen und Daten ermöglicht werden. Der Aufbau und die Sicherstellung dieser Infrastruktur bildet eine wichtige Grundlage für Forschung und Lehre von hoher Qualität.

Strategieprozess «Open Access» (universitäre Hochschulen und SNF)
Im selben Kontext wie das P-5 und mit dem Ziel, die verschiedenen Aktivitäten in der Schweiz zu koordinieren, hat das SBFI Ende 2015 swissuniversities ein Mandat erteilt, zusammen mit dem SNF und in Koordination mit den Universitätsbibliotheken eine nationale Open Acces-Strategie zu entwickeln. Anfang 2017 hat swissuniversities die nationale Strategie zu Open Access verabschiedet. Die Vision der Nationalen Strategie Open Access lautet, bis 2024 alle mit öffentlichen Geldern finanzierten wissenschaftlichen Publikationen im Internet frei zugänglich zu machen. Die SHK hat die Open Access Strategie zustimmend zur Kenntnis genommen und gleichzeitig swissuniversities aufgefordert, ihr einen konkreten Umsetzungsplan und eine Übersicht über die finanziellen Implikationen vorzulegen. Erst dann werde sie sich abschliessend zur Strategie äussern können. Der Umsetzungsplan ist unter der Federführung von swissuniversities in Erarbeitung und sollte der SHK vor Ende 2017 vorgelegt werden können (vgl. https://www.swissuniversities.ch/de/themen/hochschulpolitik/open-access/).

1.3 Weitere Kooperationsprojekte im Hochschulbereich

Neben dem in Abschnitt «Wissenschaftliche Informationsstrukturen und Open-Access-Strategie» erwähnten P-5 hat die Schweizerische Hochschulkonferenz für die Förderperiode 2017-2020 verschiedene weitere Projekte mit Bezug zur Digitalisierung genehmigt. Mit dem P-10 wird der «Aufbau eines nationalen Netzwerks zur Förderung der MINT-Bildung» bis und mit Sekundarstufe I finanziert und gefördert. Das Ziel ist die generelle Aufwertung der MINT-Bildung in der obligatorischen Schule und die Steigerung des Interesses von Lehrpersonen, Kindern und Jugendlichen an MINT Themen mit besonderem Fokus auf die gendergerechte Vermittlung. Dieses Ziel soll insbesondere durch die Entwicklung neuer Aus- und Weiterbildungsangebote für Lehrpersonen erreicht werden. Es handelt sich beim P- 10 um ein Kooperationsprojekt unter Beteiligung von Fachhochschulen und Pädagogischen Hochschulen.

Ein weiteres Projekt in der Periode 2017-2020 mit engem Bezug zur Digitalisierung ist das Programm P-9 «Aufbau der wissenschaftlichen Kompetenzen in den Fachdidaktiken». Es hat zum Ziel, die wissenschaftlichen Kompetenzen in den Fachdidaktiken weiter zu entwickeln und zu vernetzen und damit den wissenschaftlichen Diskurs in der Schweiz in diesem Bereich zu stärken. Es sollen differenzierte Qualifizierungsmöglichkeiten für Dozierende und wissenschaftliche Mitarbeitende an Pädagogischen

Hochschulen und anderen Institutionen der Lehrerinnen- und Lehrerbildung in Fachdidaktik geschaffen werden. Die zunehmende Digitalisierung der Gesellschaft sowie die Schwerpunktsetzung des Lehrplans 21 im Bereich Medien und Informatik werden im Projekt aufgenommen. Ein Beispiel im Rahmen des Programms ist der geplante Masterstudiengang Fachdidaktik in «Medien und Informatik». Weiter wird die Vermittlung digitaler Kompetenzen im Rahmen der Ausbildung von Lehrpersonen (Primarstufe I, Sekundarstufe I+II) insbesondere durch die Etablierung und Nutzung von Onlineplattformen, die Aufbereitung digitaler Inhalte sowie durch die Bewirtschaftung weiterer E-Learning-Kompetenzen (z. B. Blogs, Blogjournals, Videophonie) gefördert. Schliesslich werden im Rahmen des Programms Aus- und Weiterbildungsinhalte bzw. -angebote für Lehrpersonen mit Bezug zur Digitalisierung in der Lehre/Didaktik entwickelt.

Neben den durch die SHK koordinierten Projekten gibt es zahlreiche weitere Beispiele für interfakultäre und interdisziplinäre Kooperationen an den Hochschulen. An der Universität Zürich etwa befindet sich derzeit die Digital Society Initiative (DSI) im Aufbau. Die DSI versteht sich als interdisziplinäre Plattform von Forschenden, welche sich mit dem durch die Digitalisierung ausgelösten Wandel von Forschung und Gesellschaft beschäftigen. Die DSI soll Forschende über die Disziplinen und Fakultäten hinweg vernetzen, auf Chancen und Risiken der selbigen hinweisen und Entwürfe der digitalisierten Wissenschaft und Gesellschaft der Zukunft diskutieren. Bisherige Projekte der Plattform beschäftigen sich etwa mit der digitalen Transformation von Unternehmen oder den Auswirkungen der Digitalisierung auf demokratische Prozesse. An der Universität Bern wurde im Jahr 2013 das Programm «Digital Humanities» lanciert. Das Ziel ist die Förderung der Anwendung digitaler Methoden in den Geistes- und Sozialwissenschaften – sowohl in der Forschung als auch in der Lehre. Die Koordinationsprojekte zur Förderung der digitalen Kompetenzen an den Hochschulen sind typischerweise interdisziplinär angelegt und nutzen die Ressourcen verschiedener Fakultäten. Ein weiteres Beispiel für eine interdisziplinäre Kooperation ist das EPFL+ECAL Lab unter Beteiligung der EPFL und der Ecole Cantonale d'Art de Lausanne ECAL. Das Ziel ist die Kombination der Kompetenzen aus den Bereichen Design und Informatik bei der Anwendung moderner digitaler (Fertigungs-)Technologien. Am EPFL+ECAL Lab wird unter anderem ein MAS an der Schnittstelle zwischen technischer Forschung und Design für EPFL-Studierende angeboten. Die EPFL hat mit dem Swiss EdTech Collider ausserdem einen Inkubator für Start-up-Unternehmen im Bereich «Educational Technology» geschaffen. Der EdTech Collider soll den Start-up-Unternehmen ermöglichen, verstärkt Synergien zu nutzen und vom Wissen der EPFL-Professoren aus dem Forschungsfeld der «Educational Technology» zu profitieren. Auch die Fachhochschulen und die Pädagogischen Hochschulen befassen sich über diverse Initiativen und Kooperationsprojekte mit dem Thema Digitalisierung. Zum Beispiel hat die Berner Fachhochschule BFH das BFH-Zentrum Digital Society gegründet. Es beschäftigt sich mit Chancen und Risiken im Kontext der Digitalisierung, mit der Erarbeitung nachhaltiger Zukunftsstrategien sowie mit dem Design und der technischen Umsetzung von Vorhaben in diesem Kontext. Schliesslich haben die Hochschule für Technik Rapperswil (HSR) und die Universität St. Gallen mit einem privaten Partner das DigitalLab@HSR gegründet. Das Ziel dieses Projektes ist die Förderung und die Beschleunigung der Umsetzung von digitalen Projekten an der Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis. Industrieunternehmen sollen von den Kompetenzen in den Bereichen Technologie, Strategie, Business Modell und Change Management des DigitalLab@HSR profitieren

1.4 Neue Lehr- und Lernformen

Die Digitalisierung hat auch Eingang in die Entwicklung des Lehrens und des Lernens an Schweizer Hochschulen gefunden und führt hier zu nachhaltigen Veränderungen. Die neuen technologischen Möglichkeiten werden das Lehren und Lernen stark verändern. Beispiele sind Massive Open Online Courses oder MOOCs, big data und die Möglichkeiten der neuen Informationstechnologien («educational technology»). Im Fall der MOOCs erfolgt die Wissensvermittlung komplett online basiert. Sie sind kostenlos und stehen einem breiten Publikum offen. Sie ergänzen traditionelle Formen der Wissensvermittlung mit Videos, Lesematerial und Foren, in denen Lehrende und Lernende miteinander kommunizieren und Gemeinschaften bilden können. Die Bedeutung von MOOCs an den jeweiligen Hochschulen steht in engem Zusammenhang mit deren internationaler Strategie: MOOCs fördern die weltweite Sichtbarkeit

der jeweiligen Hochschule und ihrer Angebote sowie den globalen Austausch zwischen Studierenden und Forschenden und unterstützen den kreativen Umgang mit Lehre an der Hochschule. Die MOOCs werden die Hochschulen nicht abschaffen, sie zeigen aber auf, wie die neuen Möglichkeiten durch verstärkte Orts- und Zeitunabhängigkeit die Wissensvermittlung an Hochschulen fundamental verändern können. Führend im Bereich der MOOCs in der Schweiz ist die EPFL. Sie hat mit der MOOC Factory ein beispielhaftes Angebot kreiert, das Dozierende bei der Erstellung von MOOCs unterstützt.

Ein weiteres und an allen Hochschulen verbreitetes Beispiel ist die Ergänzung der Lehre mit e-Learning-Elementen, d.h. Formen von Lernen, bei denen elektronische oder digitale Medien für die Präsentation und Distribution von Lernmaterialien und/oder zur Unterstützung der Kommunikation zum Einsatz kommen. Dazu gehören z.B. das Streamen von Vorlesungen oder digitale Vorlesungs- und Übungsunterlagen auf Lernplattformen. «Blended Learning» bezeichnet die Anreicherung des klassischen Präsenzunterrichts mit digitalen Lehrformen. Diese Angebote stehen, im Unterschied zu den MOOCs, ausschliesslich immatrikulierten Studierenden zur Verfügung. Die Mehrheit der Hochschulen bietet im Zusammenhang mit e-Learning den Dozierenden auch Dienstleistungen im Bereich der Lehrentwicklung und -innovation an: Die Abteilung für Lehrentwicklung und Technologie LET der ETH Zürich unterstützt und fördert beispielsweise die Einführung neuer Formen im Lehrbetrieb. Die ETH Zürich fördert mit dem Innovedum Fonds ausserdem Initiativen zur Weiterentwicklung der Lehre. Der Fokus wird dabei unter anderem auf die interaktive Gestaltung des Unterrichts gelegt. Beispielsweise durch das Angebot der Vorbereitungsunterlagen in elektronischer Form, mit dem Ziel, die Präsenzzeit vermehrt für persönliche Interaktion, Reflektion und Austausch zu nutzen. Die Philosophische Fakultät der Universität Zürich bietet Dozierenden verschiedene Dienstleistungen an, um ihre Vorlesungen und Veranstaltungen mit digitalen Elementen, wie Evaluation, Prüfungen, mobile Lernangebote oder der Erstellung eines MOOCs zu ergänzen. Ebenso hat die Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW mit der «Fachstelle für Digitales Lehren und Lernen in der Hochschule» ein Angebot für Dozierende zur Förderung digitaler Technologien in der Lehre geschaffen. Auch die HES-SO hat mit dem Centre E-Learning HES-SO bereits im Jahr 2004 ein ähnliches Angebot für Dozierenden eingeführt hat. Ein weiteres Beispiel ist das Education Lab (EdLab) der Pädagogischen Hochschule Zug, in dessen Rahmen zahlreiche Projekte zur Nutzung digitaler Technologien in Lehre und Forschung durchgeführt werden.

1.5 Beispiele neuer Aus- und Weiterbildungslehrgänge an Hochschulen

Im Folgenden wird die Entwicklung von neuen Aus- und Weiterbildungsgängen anhand einiger Beispiele dargelegt.

Die Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Chur bietet einen Bachelorstudiengang in Digital Business Management an. In diesem Studiengang werden betriebswirtschaftliche Inhalte und Projektmanagement mit besonderem Schwerpunkt auf die Anwendung digitaler Technologien kombiniert. Andere Fachhochschulen bieten Studiengänge mit vergleichbarer inhaltlicher Ausrichtung auf Weiterbildungsstufe (MAS) an. Weiter prüft die Universität St. Gallen zurzeit die Machbarkeit eines neuen Studiengangs, der Management und Informatik kombiniert. Geplant ist ein Studiengang in Wirtschaftsinformatik mit technischer Ausrichtung. Im Herbst 2017 werden an der ETH Zürich und der EPFL zudem neue Masterstudiengänge in Data Science starten, anhand derer die von der Schweizer Wirtschaft dringend benötigten Spezialisten in diesem Bereich ausgebildet werden sollen.

Als Beispiel im Bereich der Weiterbildung kann die Extension School der EPFL genannt werden. Das Angebot wurde in Kooperation mit der Privatwirtschaft konzipiert und richtet sich an Personen, die bereits im Berufsleben stehen. Die online-basierten Kurse bieten die Möglichkeit, sich relevante digitale Fähigkeiten (z. B. Programmieren) anzueignen. Ab dem Herbstsemester 2017 bietet die Fernfachhochschule Schweiz FFHS einen MAS-Studiengang in Industrie 4.0 an. Es handelt sich dabei um einen interdisziplinären Weiterbildungsgang an der Schnittstelle von Ingenieurwesen, Informatik und Betriebswirtschaftslehre.

1.6 Centro Svizzero di Calcolo Scientifico (CSCS): High Performance Computing and Networking (HPCN-20)

Im Rahmen der 2009 vom Parlament beschlossenen Initiative «High-performance Computing and Networking» (HPCN) hat die ETH Zürich am CSCS eine leistungsstarke, hocheffiziente und international wettbewerbsfähige Hochleistungsrecheninfrastruktur für die Forschungslandschaft Schweiz aufgebaut. Dadurch können grosse Datenmengen mit Simulationen verarbeitet werden. Aufgrund der fortlaufenden exponentiellen Verbesserung von Rechenleistungen und Energieeffizienz der Supercomputing-Technologie ist eine stetige Erneuerung der HPCN-Rechnerinfrastruktur notwendig. Die ETH Zürich bzw. das CSCS, dessen Dienstleitungen durch das Swiss Data Science Center SDSC (s. unten) ergänzt werden, plant deshalb bereits heute seine Ressourcen im Hinblick auf die Erneuerung der HPCN-Rechnerinfrastruktur zugunsten der Schweizer Forschergemeinschaft im Jahr 2020.

1.7 Nationales Zentrum für Datenwissenschaften

Anfang 2017 haben die beiden ETH ein nationales Zentrum für Datenwissenschaften, das Swiss Science Data Center (SDSC)[131] gegründet, um eine Infrastruktur für die Förderung multidisziplinärer Forschung im Bereich Datenwissenschaften und Informatik zu bieten. Das Zentrum soll dazu beitragen, die Kluft zwischen den Datenanbietern, Informatikern und Wissenschaftlern aus den verschiedenen Disziplinen zu überbrücken. Dazu wollen die Forschenden eine neuartige in der Cloud gehostete Plattform für Analysen unterschiedlichster Art entwickeln. In dieser werden geordnete, kalibrierte und anonymisierte Daten aufbewahrt, erforscht und analysiert. Ein besonderes Augenmerk richten die Forschenden des SDSC mit Standorten in Zürich und Lausanne auf die Gebiete personalisierte Medizin, Umweltwissenschaften und Fertigungstechnologien.

Für das Zentrum sind in den kommenden vier Jahren Investitionen von insgesamt 30 Millionen Franken vorgesehen. In Lausanne und Zürich wird ein multidisziplinäres Team bestehend aus 30 bis 40 Informatikern und Datenwissenschaftlern sowie weiteren Experten aus ausgewählten Wissenschaftsgebieten tätig sein.

2. Initiativen ausserhalb der Schweiz

Wie die folgende Übersicht zeigt, wird der rasante Bedeutungszuwachs der Digitalisierung für die Wirtschaft im Ausland von einer Vielzahl an staatlichen Initiativen zur Verbesserung der Rahmenbedingungen begleitet, welche schwerpunktmässig die Forschung und Lehre an den Hochschulen umfassen.

2.1 Digitale Agenda (EU)

2010 wurde die Digitale Agenda für Europa lanciert; sie legt die EU-Strategie im Bereich der Digitalisierung bis 2020 fest. Die Agenda umfasst vier Teilbereiche: «Wirtschaft», «Gesellschaft», «Zugang und Infrastruktur» sowie «Forschung und Innovation».[132] Da die Schaffung eines digitalen Binnenmarkts zu den zehn Kommissionsprioritäten für die Periode 2015–2019 gehört, wurde im April 2015 die neue Strategie für einen digitalen Binnenmarkt in Europa präsentiert. Die EU möchte bestehende regulierungsbedingte Handelshemmnisse beseitigen und die 28 nationalen Märkte zu einem einzigen Binnenmarkt zusammenführen. Damit sollen sowohl die Einwohner als auch die Unternehmen unabhängig von ihrem Wohnort (beziehungsweise Standort) über einen einheitlichen und fairen Onlinezugang zu Waren und Dienstleistungen verfügen. Die Kernelemente der Strategie umfassen:

- Zugang zu digitalen Diensten erleichtern: Dazu werden bestehende Barrieren für grenzüberschreitende Onlineaktivitäten beseitigt. Um dieses Ziel zu erreichen, hat die EU acht Massnahmen vorgesehen. Sie möchte beispielsweise den grenzüberschreitenden elektronischen Handel insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) erleichtern. [Die EU will auch den

[131] https://datascience.ch/
[132] Europäische Kommission (2014): «Digitale Agenda für Europa», Brüssel.

Onlinezugang zu Inhalten und Diensten erleichtern. Zu diesem Zweck ist vorgesehen, die Unterschiede zwischen den nationalen Urheberrechtssystemen zu verringern.

- Optimale Rahmenbedingungen für digitale Netze und Dienstleistungen: Die Umsetzung dieser Priorität erfordert rasche, sichere und zuverlässige Breitbandnetze. Zu diesem Zweck hat die EU im Jahr 2016 die Telekommunikationsvorschriften revidiert und wird in Bezug auf die Vorschriften zum Schutz personenbezogener Daten sowie zur Netz- und Datensicherheit (Cybersicherheit) einen einheitlicheren Ansatz zwischen den Mitgliedsländern verfolgen. Die EU wird auch die Rolle von Onlineplattformen analysieren.
- Digitale Wirtschaft als Wachstumsmotor: Hier geht es darum, das Wachstumspotenzial der digitalen Wirtschaft bestmöglich auszuschöpfen. Die EU will eine wettbewerbsfähige, innovative und auf Daten beruhende Wirtschaft schaffen. Dazu sollen der freie Datenfluss, die Nutzung von Cloud-Diensten, Big Data und das Internet der Dinge gefördert werden. Zu den Prioritäten gehören auch die Einführung einheitlicher Bestimmungen und die Verbesserung der Zusammenarbeit (sogenannte Interoperabilität) in Bereichen, die für den digitalen Binnenmarkt von zentraler Bedeutung sind (E-Gesundheit, Verkehr und die Energie). Um eine digitale Gesellschaft zu fördern, an der jeder teilhaben kann, wird die EU die digitalen Kompetenzen als wesentliches Element ihrer künftigen Bildungsinitiativen definieren. Ausserdem wurde 2016 einen neuen E-Government-Aktionsplan präsentiert.

Im Bereich Forschung, Entwicklung und Innovation wird die Digitale Agenda in Verbindung mit dem Förderprogramm Horizon 2020 in folgenden Bereichen umgesetzt:

- Innovation: Die Aktivitäten sind entlang der drei Achsen Nachfragesteigerung (öffentliche Nachfrage nach innovativer IKT, Horizon Prize), Risiken im Unternehmertum (Zugang zu Business Angels und Venture Capital, Unterstützung für potentiell disruptive Innovationen) und IKT-Ökosysteme (Vernetzung und Ausbildung von Unternehmern und zukünftigen Unternehmern) organisiert.
- Emerging Technology: Mit der Unterstützung von Forschungsprojekten, die mit einem hohen Risiko, aber auch hohem Nutzen belegt sind, soll die Zukunft des digitalen Binnenmarkts ermöglicht werden. Es handelt sich insbesondere um die Programme Future and Emerging Technologies (FET), Future Networks und Future Internet Research and Experimentation Initiative (FIRE).
- Offene Wissenschaft: Über die «European Open Science Cloud» wird eine Infrastruktur aufgebaut, um den Austausch von Daten und den offenen Zugang zu wissenschaftlicher Forschung zu ermöglichen.
- Digitale Infrastruktur: Die Förderung der digitalen Infrastruktur sorgt für schnelle Netzwerkverbindungen, Datenspeicherung und leistungsfähige Supercomputer.
- Komponenten und Systeme: Es werden unter anderem Forschungsschwerpunkte in folgenden Disziplinen unterstützt: Elektronik, organische und grossflächige Elektronik, Photonik, cyberphysikalische Systeme, Advanced Computing, Smart Manufacturing.
- Robotik: Es werden insgesamt 120 Forschungsprojekte und Koordinationsaktivitäten unterstützt, um eine solide Wissensaustausch- und Kooperationsgrundlage für die Stakeholder im Bereich der Robotik zu schaffen.

2.2 Digitale Agenda (Deutschland)

Im Rahmen der «Digitalen Agenda 2014 – 2017» will die deutsche Bundesregierung die Digitalisierung der Wirtschaft unterstützen und vorantreiben sowie Innovationspotenziale der Digitalisierung nutzen.

Dabei hat sie einen starken Fokus auf die Grundlagenforschung gelegt, jedoch mit Blick auf die durchgängige Wertschöpfungskette von der Grundlagenforschung bis hin zu Transfer und Verwertung von Innovationen.[133]

Im Zentrum stehen dabei Massnahmen mit Bezug zur akademischen Ausbildung und dem Kompetenzaufbau an Hochschulen und Forschungsinstituten:

- Ausbau der Innovationsförderung zu «Big Data», um die darin liegenden grossen Potenziale für Wirtschaft (z. B. Industrie 4.0) und Wissenschaft (z. B. Lebenswissenschaften) zu erschliessen. In Berlin und Dresden werden zwei Big- Data-Kompetenzzentren eingerichtet.
- Stärkung des High Performance Computing als Basis wissenschaftlicher Exzellenz und für Wertschöpfung in der Wirtschaft und dem Anstreben einer Spitzenposition.
- Auf- und Ausbau von Forschungs- und Technologieprogrammen mit hohem Transfer in die Wirtschaft, u. a. bei Autonomik, 3D, Big Data, Cloud Computing und Mikroelektronik.
- Aufbau von Kompetenzzentren zur Information und Demonstration von Best-Practice-Beispielen für Industrie 4.0 und Smart Services für den Mittelstand und das Handwerk sowie die Förderung benutzerfreundlicher Anwendungen und Dienste (Usability).
- Einrichtung von zusätzlichen Lehrstühlen und Stärkung der vorhandenen Spitzeninstitute im MINT und insbesondere im Informatikbereich, etwa im Bereich Big-Data-Analyse, Data Science, industrielle Software und IT-Sicherheit bei gleichzeitig stärkerer Kooperation mit der Wirtschaft.
- Unterstützen der Aufnahme von Informatik und Datenanalyse als interdisziplinäre Elemente in anderen Fachbereichen.
- Intensivieren des Wissenstransfers von der Hochschule in die betriebliche Praxis im Rahmen der Programme zur Förderung von Gründungen aus Hochschulen.
- Beschlossen wurde zudem die Einrichtung eines Instituts für Internetforschung, das «die ethischen, rechtlichen, wirtschaftlichen und partizipativen Aspekte von Internet und Digitalisierung» interdisziplinär erforschen soll (Ausstattung für die kommenden fünf Jahre: 50 Mio. €). Eine wichtige Aufgabe des Instituts besteht in der Erforschung der Digitalisierung in ihrer ganzen Komplexität. Die Erkenntnisse der Forschung sollen rasch ihren Weg in Gesellschaft, Wirtschaft und Politik finden, so dass auch der Wissenstransfer eine zentrale Rolle spielen wird.

2.3 Smart Nation (Singapur)

Singapur hat das Konzept der *Smart Nation* entwickelt, um das Land auf eine digitalisierte Zukunft vorzubereiten. Smart Nation umfasst fünf gesellschaftliche Kernbereiche: Transport, Wohnen und Umwelt, Produktivität, Gesundheit und erleichtertes Altern sowie öffentliche Dienstleistungen.[134] Bürgerinnen und Bürger sollen in Zusammenarbeit mit der Wirtschaft in der Lage sein, in diesen Kernbereichen wirksame Lösungen für Probleme zu finden. Zu diesem Zweck sorgt die Regierung für günstige Rahmenbedingungen und Infrastruktur. Im Bereich der Digitalisierung, Forschung und Innovation sind folgende Aktivitäten geplant:

- Erleichterung von Smart Solutions: In den Kernbereichen werden neue Lösungen ausprobiert (z. B. im öffentlichen Verkehr, in Spitälern, in Wohnquartieren) und die Kernbereiche dann auf dieser Basis weiterentwickelt.
- Open Data und Vernetzung: Eine Open Data-Plattform stellt maschinenlesbare Daten zur Verfügung. Die Smart Nation-Plattform ermöglicht eine bessere Verbindung unterschiedlicher Datensätze.

[133] BMWI (2016): «The Digital Agenda 2014 – 2017».
[134] https://www.smartnation.sg/about-smart-nation

- Forschung und Entwicklung: Im Rahmen des Research, Innovation and Enterprise Plans 2020 (RIE2020) werden folgende Schwerpunkte unterstützt: Advanced Manufacturing and Engineering, Health and Biomedical Sciences, Urban Solutions and Sustainability, Services and Digital Economy.
- Lebendes Labor: Einzelne Bereiche des Stadtgebiets stehen für Entwicklungs- und Testbetriebe zur Verfügung. In one-north befindet sich z.B. eine Teststrecke für selbstfahrende Fahrzeuge und Mobilitätskonzepte.
- Industrie- und Start-Up-Ökosystem: Einzelne Bereiche des Stadtgebiets zeichnen sich durch ihre Verfügbarkeit von Venture Capital oder die räumliche Nähe zu Forschung, Entwicklung und etablierten Unternehmen in bestimmten Branchen aus und bieten einen Nährboden für Innovation und die Gründung von Start-ups.
- Aus- und Weiterbildung: Diverse Programme unterstützen den Auf- und Ausbau von IKT-Wissen.

2.4 Stratégie numérique (Frankreich)

Die digitale Strategie in Frankreich stützt sich auf vier wesentliche Säulen: Freiheit für Innovationen, Gleichheit der Rechte, Brüderlichkeit im Sinne einer für alle zugänglichen Digitaltechnologie und Vorbildlichkeit eines Staates, der sich modernisiert. Die Strategie umfasst die folgenden Massnahmen in den Bereich Bildung, Forschung und Innovation:

- «French Tech»-Initiative: Diese Initiative ist in drei Achsen gegliedert: Aufbau eines nationalen Netzwerks, Beschleunigung der Anschubfinanzierung (Bourse French Tech) und Begleitung für rapide wachsende Unternehmen (Pass French Tech). Dank einem attraktiven Programm zur Unterstützung französischer Start-ups an weltweiten Standorten (French Tech Hubs) und einem Programm, das ausländischen Jungunternehmern die Umsetzung einer Projektidee in Frankreich ermöglicht (French Tech Ticket), soll diese Initiative zudem über die Landesgrenzen hinaus wirksam sein.
- Daten von allgemeinem Interesse: Förderung der datengesteuerten Wirtschaft durch eine gezielte Politik der offenen Daten und die Bezeichnung von Daten, die von allgemeinem Interesse sind.
- Offene Innovationsallianz: Eine Atmosphäre schaffen, die kooperationsorientierte Entwicklungsansätze erleichtert.
- Digitaler Wandel bei Kleinstunternehmen und KMU: Entwicklung, Angebot und Einsatz von digitalen Produkten, die den Bedürfnissen von Kleinstunternehmen und KMU entsprechen.
- Offene Wissenschaft: Spezifische Unterstützung der Entwicklung von offenen Speicher- und Archiv-Plattformen und -Infrastrukturen, von neuen Formen der Evaluierung von Forschenden, unter Einbezug des Kriteriums von Open-Access-Publikationen.
- Bauwerksdatenmodellierung (*Building Information Modeling*, BIM): Erfassung und Förderung von bewährten Praktiken und lokalen Initiativen in einem nationalen BIM-Portal. Verbreitung von pädagogischen Hilfsmitteln und Entwicklung einfacher digitaler Instrumente. Ausgleichsfonds der Bauversicherungen für die digitale Umrüstung von Bauten.
- Schutz der Nutzerinnen und Nutzer: Anpassung der Gesetzgebung im Bereich Verbraucherschutz, Aktionsplan zur Verbesserung der allgemeinen Nutzungsbedingungen von Plattformen, Überlegungen zur Rolle von Algorithmen.
- Digitaler Plan für die Bildung: Verbesserung der Effizienz und Gerechtigkeit des Bildungssystems, indem im Rahmen der Schulreform sichergestellt wird, dass allen Schülerinnen und Schülern die notwendigen Kompetenzen und Kenntnisse vermitteln werden, damit sie ihre Kreativität und ihr staatsbürgerliches Engagement – die *Citoyenneté* – entwickeln können. Anpassung der

pädagogischen Praxis durch einen Sonderbildungsplan für Lehrpersonen, Kader und Bildungspersonal. Aufbau eines grossen nationalen Referenzportals. Projekte zur Ausstattung von Bildungseinrichtungen.

- «Staatliche Start-ups»: Bildung von Start-up-ähnlichen kleinen Strukturen in der öffentlichen Verwaltung, die dem *Secrétariat Général pour la Modernisation de l'Action Publique* angegliedert sind, um in Begleitung von Nutzergruppen digitale Lösungen für spezifische Fragen zu entwickeln.
- Medizin der Zukunft: Drei Pläne zum Thema «Gesundheit» im Rahmen der 24 Pläne der neuen französischen Industriepolitik (*Nouvelle France industrielle*). Einführung der personalisierten Medizin und Entwicklung eines Ökosystems, das die Entwicklung von Unternehmen fördert, indem es die Durchlässigkeit aller betroffenen Industriesektoren sicherstellt.
- Hochschule für Digitalisierung (*Grande École du Numérique*): Ein Rahmen und ein landesweites Netzwerk von Strukturen und Ausbildungsträgern für Akteure und Lernende in digitalen Berufen. Alle mit einem Label versehenen Ausbildungen sollen für eine breite Öffentlichkeit, ohne akademische, wirtschaftliche oder soziale Unterscheidung zugänglich sein.

2.5 Digital Roadmap (Österreich)

Die Digitale Roadmap Austria[135] präsentiert in 12 Handlungsfeldern (Bildung, Infrastruktur, Forschung und Innovation, Wirtschaft, Arbeit und Arbeitsplätze, Gesundheit, Pflege und Soziales, Umwelt, Energie sowie Landwirtschaft und Klimaschutz, Mobilität und Verkehr, Medien, Zivilcourage und Kultur, Integration und Inklusion, Sicherheit sowie Schutz und Vertrauen und schliesslich Politik und Verwaltung) rund 150 konkrete Massnahmen, um die Digitalisierung in Österreich zu einem Gewinn zu machen. Folgende Aktivitäten sind in den Bereichen Bildung, Forschung und Innovation geplant:

- Gesamtstrategie «digitale Bildung»: Massnahmen zur Vermittlung digitaler Kompetenzen und informatischem Basiswissen, Verstärkung der fach- und berufsbezogenen Qualifikation in den wesentlichen IT-Entwicklungsbereichen, besondere Massnahmen zur Förderung von Frauen im MINT-Bereich, Aus- und Weiterbildungen zum Einsatz von E-Learning im Unterricht, Verbesserung der Infrastruktur und neue Lehrmittel.
- Forschung und Innovation: Weiterführung der thematischen FTI-Initiativen «Produktion der Zukunft», «Mobilität der Zukunft» und «IKT der Zukunft» sowie der Plattform «Industrie 4.0». Forschungsschwerpunkte liegen in der Quantenphysik und Quantentechnologie sowie in der Entwicklung eines Quantencomputerdemonstrators, Förderinitiative «Silicon Austria». Weiterführung der bestehenden Förderung von Sicherheitsforschung, Einrichtung sicherer digitaler Wissensplattformen, Open Innovation mit Einbezug der Zivilbevölkerung, Open-Access-Veröffentlichungen wissenschaftlicher Publikationen, Open Data Strategie, E-Infrastrukturen und Datenmanagement im Bereich der Life Sciences.
- Wirtschaft: Verbesserung der Rahmenbedingungen für Start-up-Gründer, Ausbau von Netzwerken für österreichische Unternehmen (OPEN AUSTRIA), Ausbau des Global Incubator-Netzwerkes, elektronische One-Stop-Shops für Unternehmensgründungen, Stärkung der Kreativwirtschaft, Vernetzung (Digital Innovation Hubs), Unterstützung der digitalen Transformation für KMU, erleichterte Arbeitsgenehmigungen für Programmierer aus Drittstaaten (Aufnahme auf die Mängelberufsliste), Rechtsrahmen für wettbewerbsfähige Online-Geschäftsmodelle, Sicherstellung von Transparenz und Datenschutz. Als strategische Zukunftssektoren gelten: Big Data, Data Science, Cloud-Computing, Quantentechnologie und Cybersecurity.
- BFI-relevante Aktivitäten in anderen Handlungsfeldern: Aktionsplan «Autonomes Fahren», Umsetzung und Weiterentwicklung der Österreichischen Strategie für Cybersicherheit.

[135] Bundeskanzleramt, Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft (2016): «Digital Roadmap Austria», Wien.

2.6 ICT Strategy (Japan)

Das White Paper 2016[136] des Ministeriums des Innern und für Kommunikation gibt in Kapitel 6 detaillierte Auskunft über die Ausrichtung der japanischen IKT-Politik. Im Bereich Forschung und Entwicklung setzt die Strategie folgende Schwerpunkte:

- Internet der Dinge: Aufbau und Demonstration allgemeiner Plattformtechnologien für das Internet der Dinge, unter anderem Mithilfe von Pilotprojekten und verstärkten internationalen Bemühungen um Standardisierung dieser Technologien.
- Autonome Mobilität: Unterstützung von Forschung, Entwicklung und Pilotprogrammen für autonome Mobilitätssysteme.
- Entwicklung der nächsten Generation von optischen Netzwerktechnologien.
- Mehrsprachige, sprachbasierte Übersetzungstechnologien: Unterstützung von Forschung, Entwicklung und Pilotprogrammen, die automatisierte mehrsprachige Übersetzungen des gesprochenen Wortes ermöglichen. Dazu gehört auch die Entwicklung von Technologien, die solche Geräte ermöglichen – z. B. Entwicklungen im Bereich der künstlichen Intelligenz oder bei Lärmfilter-Technologien.
- Künstliche Intelligenz: Die Erforschung und Entwicklung von künstlicher Intelligenz ist mit verschiedenen Anwendungsbereichen verknüpft – z. B. mit der sprachbasierten Übersetzung, der Analyse von Big Data oder der Hirnforschung.
- Japan Gigabit Network (JGN): Das JGN bietet seit 1999 eine Testumgebung, welche die Anwendung von Forschungsergebnissen im IKT-Bereich beschleunigt.
- Kompetitive IKT-Innovationsförderung: Japan unterhält diverse Programme, die der kompetitiven Innovationsförderung im IKT-Bereich dienen. Diese umfassen sowohl Forschung und Entwicklung (SCOPE Programm und ICT Creation Challenge Programm) als auch die Unterstützung von Geschäftsmodellen mit Disruptionspotenzial (Innovation Programm)
- Unterstützung internationaler Zusammenarbeit im IKT-Bereich; so z.B. die Forschungs-zusammenarbeit mit der EU in den Bereichen 5G und IKT Robotik.
- Beitrag zu resilienter IKT-Infrastruktur: Erforschung, Entwicklung und internationale Standardisierung von zuverlässiger, energieeffizienter Sensoren zur Früherkennung von Erdbeben und zur effizienten Erhaltung und Sicherung der öffentlichen Infrastruktur im Katastrophenfall.
- Weitere Programme: Kommunikationstechnologien im Weltraum (Satellitenkommunikation), Quantencomputer und Quantenkommunikation

Weitere Schwerpunkte der japanischen IKT-Politik umfassen die Anwendungen von IKT-Technologien in der Medizin, zur Unterstützung der alternden Bevölkerung sowie im Katastrophenschutz. Sie setzt ausserdem auf IKT zur Regionalentwicklung.

2.7 Technologie-Schwerpunkt 2012-2016 (USA)

Die mit der Digitalisierungsstrategie vergleichbaren strategischen Themenschwerpunkte wurden in USA im unter dem Schwerpunkt «Technologie»[137] zusammengefasst. Sie setzte folgende für Forschung und Innovation relevanten Prioritäten[138]:

[136] MIC (2016): «White Paper 2016, Information and Communications in Japan».
[137] https://obamawhitehouse.archives.gov/issues/technology
[138] Die neue Regierung der USA hat bisher noch keinen vergleichbaren Themenschwerpunkt gesetzt und bisher auch keine Digitalisierungsstrategie veröffentlicht. Es ist nicht abzusehen, ob sie die Strategie der Vorgängerregierung weiterverfolgen wird.

- Cybersicherheit und Internetpolitik: Unterstützung von internationalen Standards für ein offenes Internet sowie Strategien zur Verbesserung der Sicherheit im Cyberspace.
- Modernisierung des Patentrechts: insbesondere die Beschleunigung des Vergabeprozesses und weitere Möglichkeiten, um lange Gerichtsverfahren zur Klärung von Patentstreitigkeiten zu vermeiden.
- Startup America: Unterstützung der Kommerzialisierung neuer Technologien, Harmonisierung von WTT-Aktivitäten und verstärkte PPP-Zusammenarbeit.
- Digitales Lernen: Verbreitung von neuen Lehr- und Lernmethoden.
- Advanced Manufacturing Partnership (AMP): gemeinsame Investitionsinitiative von Industrie, Universitäten und Bundesbehörden, um die Entwicklung und Verbreitung neuer Produktionstechnologien zu fördern.
- National Robotics Initiative: Im Rahmen des AMP werden spezifisch Entwicklungen in der Robotik gefördert, die das Neben- und Miteinander von menschlichen Arbeitern mit Robotern verbessern.
- Open Data Initiative: Regierungsdaten und freiwillig geteilte Daten von Unternehmen werden als Ressource für Forschung und Innovation zur Verfügung gestellt.
- Presidential Innovation Fellows: 18 ausgewählte Innovatoren bearbeiten während sechs Monaten Projekte in ausgewählten, gesellschaftlich und wirtschaftlich bedeutenden Bereichen: Open Data Initiative, Online-Marktplatz für die erleichterte Zusammenarbeit von schnellwachsenden KMU und politischen Behörden, eGovernment-Zugang für Bürgerinnen und Bürger, «Last Mile Programm», elektronischer Zahlungsverkehr in der Entwicklungshilfe, Elektronisches Patientendossier.
- Chief Technology Officer: Zuständige Person für die Verbreitung und Nutzung neuer Technologien in wichtigen Gesellschaftsbereichen, u.a. im Gesundheitswesen und im Bereich erneuerbarer Energien.
- TechHire Initiative: Unterstützung der Aus- und Weiterbildung zur Verbesserung der technischen Fertigkeiten.

2.8 Digital Strategy (Vereinigtes Königreich)

Die neue digitale Strategie Grossbritanniens[139] setzt sieben Schwerpunkte: digitale Infrastruktur, digitale Fertigkeiten und Inklusion, digitaler Wirtschaftssektor, Cybersicherheit, eGovernment und Datennutzung. Für Bildung, Forschung und Innovation sind folgende Punkte relevant:

- Computing at School Network of Teaching Excellence in Computer Science: Programm zur Verbesserung der Informatikausbildung an Schulen (Primar- und Sekundarschule).
- Lebenslanges Lernen: kostenlose Erwachsenenbildung zum Erlernen grundlegender digitaler Fertigkeiten.
- Digitale Fertigkeiten für digitale Jobs: Gründung eines Instituts, das die Qualität der digitalen Ausbildung verbessern soll.
- Fertigkeiten in der Cybersicherheit: Aus- und Weiterbildung im Bereich der Cybersicherheit auf allen Bildungsstufen, inkl. der Erwachsenenbildung.
- Innovationsförderung: überprüfen der Unternehmensbesteuerung, Tech Nation Visa, Regulierung, die mit der technologischen Entwicklung mithalten kann (u.a. im Bereich der Patentvergabe), Unterstützung der FinTech-Branche.

[139] https://www.gov.uk/government/publications/uk-digital-strategy

- Digital Catapult Centre: das Digital Catapult Centre stellt Technologen und Kreativen aus Wirtschaft und der akademischen Welt Räume zur Verfügung, um neue Ideen zu entwickeln und Produkte vorzustellen. In der ersten Phase sind die Schwerpunkte die digitale Produktion, die digitale Gesundheit und Pflege sowie die Kreativindustrien.
- Industrial Strategy Challenge Fund: Unterstützung von Technologien in allen Entwicklungsstufen. Als Schwerpunktbereiche gelten: Clean Energy, Robotik und künstliche Intelligenz, Satelliten und Weltraumtechnologie, Medizin und Gesundheitswesen, Produktionsprozesse und -materialien der Zukunft, Biowissenschaften und Biotechnologie, Quantentechnologie sowie transformative digitale Technologien (Supercomputer, fortgeschrittene Modellierung und 5G Mobilnetzwerktechnologien)
- Unterstützung von digitalen Start-Ups im Frühstadium: Ausbildungsprogramme und Freiraum für unternehmerische Tätigkeit an Universitäten.
- Unterstützung aufkommender Technologien: verbundene und autonome Fahrzeuge, Internet der Dinge und intelligente Infrastruktur.
- Öffentliches Beschaffungswesen: Beschaffung von Dienstleistungen über einen digitalen Marktplatz, der die Vergabe von Aufträgen an KMU erleichtert.
- Tech Nation UK: Unterstützung von bestehenden und neuen digitalen Clustern in allen Regionen Grossbritanniens.
- Unterstützung für digitale soziale Innovationen und HealthTech (inkl. Technologien für eine alternde Bevölkerung)
- Dateninfrastruktur: Infrastruktur aus Gütern, Technologien, Prozessen und Organisationen, die Daten erheben und zum Austausch und zur weiteren Nutzung freigeben.
- Datenschutz und öffentliches Vertrauen in Datennutzung
- Open Government Data