

# Kurzfassung

---

## Forschungslandschaft Schweiz

Ein technologisches Panorama

Christian Holzner, Claudia Schärer, Stefan Scheidegger, Daniel Schmuki

Quelle Titelbild: Michael Dzedzic auf Unsplash

# Einleitung

Veränderungen im Umfeld frühzeitig zu erkennen und sich vorausschauend darauf einzustellen, ist in einem zunehmend dynamischen und komplexen Umfeld ein zentraler Wettbewerbsfaktor. Daher bedürfen Entscheidungen über die künftige Ausrichtung der Forschung und die Verwendung der verfügbaren Mittel einer sorgfältigen Abklärung. Zukunftsanalysen auf technischer Ebene spielen dabei eine wichtige Rolle.

Für diese sogenannten Früherkennungsberichte werden verschiedene Ansätze verwendet, die mehrheitlich auf dem Prinzip des Horizon Scanning aufbauen. Ziel ist, die zukünftige Entwicklung von Wissenschaft und Wirtschaft zu erkennen, die Stärken und Schwächen der nationalen Forschung und Innovation zu bewerten und gegebenenfalls auf dieser Grundlage ein nationales Forschungs- und Innovationssystem zu definieren.

Der vorliegende Früherkennungsbericht versucht, diesem Informationsbedarf gerecht zu werden. In einem ersten Kapitel wird die allgemeine Methodik des SBFI für die Früherkennung und die Methodik der SATW für die Informationsgewinnung zu den einzelnen Technologiegruppen und Technologien beschrieben. Ein kurzes Zwischenkapitel assoziiert die neun beschriebenen Technologiegruppen mit 20 gängigen Schlagwörtern wie Datenmanagement, Ethik, personalisierter Medizin, Treibhausgasemissionen und Energieeffizienz oder Umweltschutz. Die folgenden Kapitel sind identisch aufgebaut und beschreiben die neun Gruppen und die darin aufgeführten Technologien jeweils in alphabetischer Reihenfolge. Sie zeichnen ein Bild der Chancen und Risiken, aber auch der Forschungs- und Förderlandschaft sowie der Vernetzung in der Schweiz und assoziieren die einzelnen Technologien mit den bereits erwähnten Schlagwörtern. Ein Schlusskapitel fasst allgemeingültige Beobachtungen und Erkenntnisse zusammen, die im Laufe der Informationsbeschaffung gewonnen wurden.

Unser Dank geht an die rund 60 Expert:innen, ohne deren Fachwissen, Geduld und Engagement dieser Früherkennungsbericht nicht entstanden wäre.

## Labels



Automatisierung

AUTOMATISIERUNG umfasst die Themengebiete Robotik und autonome Systeme, die mittels künstlicher Intelligenz gesteuert werden. Solche Technologien werden vornehmlich, aber nicht ausschliesslich, zur Optimierung von Prozessen eingesetzt.



Datenmanagement

DATENMANAGEMENT umfasst die Erhebung, Verwaltung und Speicherung von Daten sowie die Verarbeitung dieser Daten zur Gewinnung von handlungsleitenden Informationen.



Internet of Things

Technologien mit Schlagwort INTERNET OF THINGS ermöglichen neue Dienstleistungen und Produkte dank der Vernetzung von (meist vormals nichtdigitalen) Geräten. Solcherart vernetzte Geräte erheben Daten und tauschen diese untereinander aus.



Mikro- und Nanotechnologie

MIKRO- UND NANOTECHNOLOGIE bezeichnet Technologien zur Herstellung oder zum Einsatz von kleinstskaligen Materialien. Dazu gehören sowohl die Mikroelektronik als auch Materialien, die im Nanometerbereich angesiedelt sind (2D-Materialien).



Sensortechnik

Das Label zeichnet Technologien aus, die SENSORTECHNIK als integralen Bestandteil nutzen oder zur Entwicklung neuartiger Sensoren beitragen.



Energieerzeugung

Das Feld der ENERGIEERZEUGUNG umfasst Technologien zur Gewinnung von Energie, um sie in eine für die Anwendung nutzbare Form zu bringen (elektrischer Strom, Wärme, Bewegungsenergie, Brenn- oder Treibstoffe).



Energiespeicherung und -übertragung

ENERGIESPEICHERUNG UND -ÜBERTRAGUNG beinhaltet Technologien, um Energie (insbesondere Strom und Wärme) für eine spätere Nutzung zu speichern und zu transportieren.



Erneuerbare Energien

ERNEUERBARE ENERGIEN sind ein Teilbereich der Energieerzeugung. Sie umfassen die Nutzung von Energie aus der Umwelt (Wasserkraft, Wind, Solar und Geothermie) sowie aus nachwachsenden Rohstoffen im Gegensatz zu den nichterneuerbaren Energien (fossile Brennstoffe, Uran).



Katastropheneinsatz

Technologien, die bei einem allfälligen Einsatz zur Bewältigung der Folgen von (Natur-)Katastrophen verwendet werden.



Ressourcen- und Kreislaufwirtschaft

RESSOURCENSCHONENDE Technologien sind bei der Etablierung einer KREISLAUFWIRTSCHAFT von zentraler Bedeutung. Dazu darf es entsprechender Prinzipien im Produktdesign, Recycling auf Ebene der Bauelemente oder Rohstoffe sowie im Vermeiden von Abfällen.



Treibhausgasemissionen und Energieeffizienz

TREIBHAUSGASEMISSIONEN UND ENERGIEEFFIZIENZ umfassen Technologien, die zur Senkung von Treibhausgasemissionen oder zur Verbesserung der Energieeffizienz beitragen.



Umweltschutz

UMWELTSCHUTZ beinhaltet Technologien mit positiven oder verminderten negativen Auswirkungen auf Umwelt (insbes. Naturschutz und Biodiversität). Entwicklungen, die eine ressourcenschonendere Kreislaufwirtschaft sowie die Reduktion von Treibhausgasen begünstigen, sind zentral für nachhaltiges Wirtschaften und werden mit separaten Labels versehen.



Neue Fertigungsverfahren

Additive und biotechnologische Fertigungsverfahren werden als NEUE FERTIGUNGSVERFAHREN bezeichnet.



### Gesundheitsversorgung

Diese Technologien haben einen positiven Einfluss auf die GESUNDHEITSVERSORGUNG. Dazu zählt die Gesundheitsprävention, Konzepte wie mHealth oder die Nutzbarmachung des Mikrobioms für personalisierte Nahrungsmittel. Die enger gefasste Medizintechnik wird mit einem eigenen Label versehen.



### Medizintechnik

MEDIZINTECHNIK meint Technologien oder künstlich erzeugtes biologisches Material zur Diagnose oder zur Behandlung von Krankheiten.



### Personalisierte Medizin

Das Paradigma der PERSONALISIERTEN MEDIZIN umfasst diagnostische, präventive und therapeutische Massnahmen, die auf ein Individuum zugeschnitten sind.



### Digitale Integrität

DIGITALE INTEGRITÄT betrifft den Schutz persönlicher Integrität unter der Prämisse einer digitalen Welt. Dazu zählen technologische Entwicklungen mit dem Ziel, die Sicherheit von Informationen und Daten herzustellen (Cybersecurity und Verschlüsselungsverfahren) sowie rechtliche, gesellschaftliche und wissenschaftsethische Fragen zum Persönlichkeits- und Datenschutz.



### Ethik

Im Zusammenhang mit der Erforschung, Entwicklung und Anwendung der jeweiligen Technologie ergeben sich relevante Fragen zur ETHIK, die der Klärung bedürfen. Etwa dadurch, dass die Forschung Tierversuche involviert, neuartige Eingriffe in den Körper oder die persönliche Unversehrtheit erfordert oder dadurch, dass durch den Einsatz von Bioinformatik Erkenntnisse über genetisch verwandte Personen anfallen.



### Innovation

Die INNOVATIONSKRAFT der Schweiz wird gestärkt durch das Ermöglichen neuer Geschäftsmodelle oder dadurch, dass sich durch die Entwicklung oder den Einsatz der Technologie Chancen auch für kleine Unternehmen und/oder Start-ups ergeben könnten.



### Wirtschaftsstandort Schweiz

Der WIRTSCHAFTSSTANDORT SCHWEIZ profitiert von Technologien, bei denen ein Grossteil der Wertschöpfungskette und damit auch die Arbeitsplätze in der Schweiz sind oder bei denen die Schweiz weltweit führend ist. Ebenfalls haben Technologien das Label Wirtschaftsstandort Schweiz, die gut zur DNA der Schweizer Industrie passen. Meist handelt es sich um interdisziplinäre High-tech-Anwendungen.

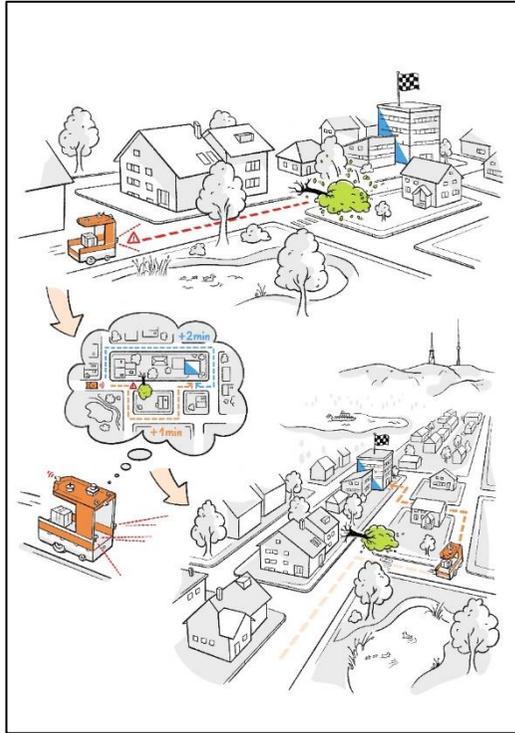
## Technologiegruppen und Forschungsgebiete

Um aufzuzeigen, auf welche Art und Weise eine Technologiegruppe schwerpunktmässig die Zukunft zu gestalten vermag, wird eine Verbindung mit 20 Schlagwörtern (sog. Labels) hergestellt. Diese decken die Forschungsbereiche Digitale Welt, Energie und Umwelt, Fertigungsverfahren und Materialien, Life Sciences sowie Technik und Gesellschaft ab.

Fast alle Technologiegruppen haben einen Bezug zur digitalen Welt. Auch fördern sie neuartige Anwendungen in den Life Sciences und haben Auswirkungen auf die Gesellschaft und den Wirtschaftsstandort Schweiz. Der Forschungsbereich Energie und Umwelt profitiert stark von Entwicklungen in der Technologiegruppe Energie sowie von Fertigungsverfahren und Materialien.

	Digitale Welt					Energie und Umwelt						Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft					
Autonome Systeme	●	●	●		●					●		●		●						●	●
Bioinformatik und Biotechnologie		●		●	●						●		●	●	●	●	●	●	●		
Biomedizin													●	●	●	●	●	●	●	●	
Datenverarbeitung und Datenübertragung	●	●	●	●	●						●	●					●	●			●
Energie	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●				●					●	●
Fertigungsverfahren und Materialien	●		●	●	●			●	●	●	●	●	●		●	●				●	●
Human Enhancement und Mensch-Maschine-Schnittstellen	●	●	●		●								●	●	●	●	●	●	●	●	
Photonik		●		●	●			●			●				●			●		●	
Soziale Innovationen	●	●	●								●	●	●					●		●	●

**Tabelle 1** zeigt den Zusammenhang zwischen den neun Technologiegruppen und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung; ist kein Punkt vorhanden, besteht kein Bezug. Die drei Grössen der Punkte sind ein Mass dafür, wie viele der Technologien aus der entsprechenden Technologiegruppe in Zusammenhang mit einem Label stehen. Für einen kleinen Punkt sind es 1–33% der Technologien aus einer Gruppe, für einen Punkt mittlerer Grösse 34–66% und für einen grossen Punkt 67–100%.



Quelle: SATW

## Autonome Systeme

Autonome Systeme können ohne menschliche Steuerung ein vorgegebenes Ziel erreichen. Sie müssen in der Lage sein, in Echtzeit die Umgebung wahrzunehmen, Entscheidungen selbständig zu treffen und diese in Bewegung umzusetzen. Der Begriff umfasst autonome Fahrzeuge, autonome mobile Roboter und Drohnen: Sie alle sind auf Sensoren zur Wahrnehmung der Umwelt und auf leistungsfähige Prozessoren zur KI-gestützten Informationsverarbeitung angewiesen.

Nomen est omen: Im Gegensatz zu herkömmlichen Robotern können sich mobile Roboter (autonom) im Raum fortbewegen. Sie versprechen vielfältige Anwendungen im Gesundheitswesen, in der Logistik und bei Katastropheneinsätzen. Dank Mobilisierung und Automatisierung können Industrieroboter in der Produktion von kleinen Losgrößen eingesetzt werden.

Softroboter sind im Grunde stationäre oder mobile Roboter mit Weichteilen. Dank dieser Eigenschaft haben sie die Fähigkeit, empfindliche Objekte zu greifen und gefahrlos mit Menschen zu interagieren. Das prädestiniert sie für medizinische Anwendungen, für alle Arten der Mensch-Maschine-Interaktion und für Aufgaben, die mit herkömmlichen starren Robotern schwierig auszuführen sind. Das Gebiet wird kaum von Grossfirmen bearbeitet und bietet für Start-ups interessante Chancen.

Drohnen sind de facto fliegende Roboter. Sie finden Anwendung in der Inspektion von kritischen Infrastrukturen, in der Logistik, bei Katastropheneinsätzen und in der nachhaltigen Bewirtschaftung von Ackerland. Ein Grossteil der für Drohnen relevanten Technologien kann auch in der Entwicklung von anderen autonomen Systemen eingesetzt werden. Die Schweiz ist in der Entwicklung und Herstellung von professionellen Drohnen führend.

Werden autonome Fahrzeuge in der Schweiz kontrolliert ausgerollt und mit dem öffentlichen Verkehr verknüpft, bieten sie Chancen für eine bessere Nutzung der Verkehrsinfrastruktur, für neue Geschäftsmodelle und für die Inklusion von Personen ohne Führerausweis. Zugleich bleiben aber die Auswirkungen auf die Gesamtmobilität und Umwelt ungeklärt.

Autonome Systeme versprechen einiges an Chancen, offenbaren aber auch Probleme:

- Autonome Systeme können in Zukunft für Katastropheneinsätze und zur Inspektion von kritischen Infrastrukturen wie Brücken und Energieanlagen verwendet werden. Dies erhöht die Sicherheit der involvierten Personen und verhindert Unfälle.
- Die Bevölkerung steht Katastropheneinsätzen und Anwendungen in der Inspektion aufgeschlossen gegenüber, die Bedenken der Bürger:innen bei der Nutzung des Luftraums sollten aber unbedingt berücksichtigt werden. Auch beim Einsatz im Gesundheitswesen ist es sinnvoll, dass die Bevölkerung vom Nutzen der Technologie

überzeugt wird. Zudem sind zielführende Normen notwendig, um die Sicherheit der Systeme zu garantieren.

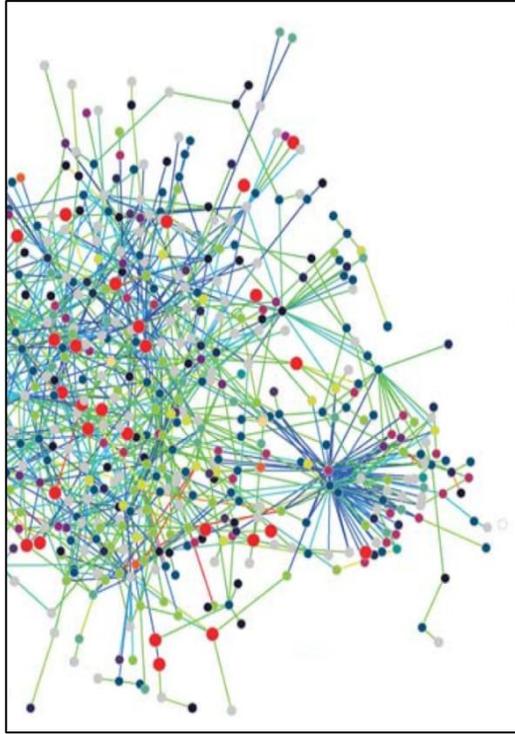
- Autonome Roboter sind komplex und setzen eine stark interdisziplinäre Denkweise voraus. Sie passen somit gut zur DNA der Schweiz, welche die Notwendigkeit der interdisziplinären Ausbildung

früh erkannt hat und entsprechende Studiengänge anbietet.

- Autonome Systeme bergen viele Chancen für Start-ups und KMU. Sie sind ein aufstrebendes Forschungsfeld mit attraktiven Fragestellungen und einem erfolgreichen Umfeld an Schweizer Hochschulen. Sie schaffen spannende Arbeitsplätze und haben eine hohe Wertschöpfung.

	Digitale Welt				Energie und Umwelt							Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft							
Autonome Fahrzeuge	●	●	●		●							●										●	
Drohnen	●				●					●			●										●
Mobile Roboter	●				●					●					●								
Softrobotik	●				●										●								●

**Tabelle 2** zeigt den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe autonome Systeme und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung.



Quelle: Wikipedia

## Bioinformatik und Biotechnologie

Der Forschungsbereich umfasst mit **Bioelektronik, Bioinformatik und molekularer Erkennung Technologien, die sowohl Werkzeug als auch Werkbank sind. Dank dieser doppelten Eigenschaften schaffen sie nicht nur für den Forschungsplatz Schweiz weitreichende Möglichkeiten, sondern ermöglichen zahlreiche Anwendungen mit hohem Potenzial.**

Wie auch der Forschungsbereich Biomedizin sind diese Technologien starke Treiberinnen der personalisierten Medizin. Der Datengewinn aus bioelektronischen Anwendungen wie Sensoren und aus der Bioinformatik auf der Ebene der einzelnen Patient:innen, aber auch die analytischen und diagnostischen Möglichkeiten der molekularen Erkennung tragen massgeblich zu einer auf das Individuum zugeschnittenen Behandlung bei. In der Kombination beschleunigen diese Technologien zudem die Wirkstoffentwicklung und -personalisierung und erhöhen die Spezifität der Behandlungen. Vielversprechende Chancen für Nachhaltigkeit und «grüne» Chemie bietet die molekulare Erkennung, wenn sie als Vorbild für eine bioinspirierte Kreislaufwirtschaft dient.

Die Technologien generieren grosse Mengen an Daten und die Gesellschaft profitiert von deren Nutzung. Ist dies in ökologischen Fragen unproblematisch, stellt sich bei personenbezogenen,

sensiblen Daten die Frage, wer über sie verfügen darf und wozu sie über ihre ursprüngliche Bestimmung hinaus noch verwendet werden dürfen. Die Thematik des Datenschutzes gewinnt an Bedeutung, was auch die Haltung in der Bevölkerung beeinflusst. Erkenntnisse über die genetische Prädisposition einer Einzelperson können zudem Auswirkungen auf genetisch verwandte Personen haben und zu ethischen Konflikten führen. Damit die Daten in der Forschung optimal genutzt werden können, sollten sie die FAIR-Kriterien (FAIR für «Findable, Accessible, Interoperable und Reusable») erfüllen. Daraus leitet sich auch eine grosse Chance ab, da alle Forschenden von frei verfügbaren Daten hoher Qualität profitieren.

Die Schweiz ist in den Bereichen der Life Sciences, Medizintechnik, pharmazeutischen Industrie und Sensorik traditionell stark – sowohl in der Forschung als auch in der Anwendung. Die Entwicklungen und Produkte passen dank interdisziplinären Fragestellungen, der komplexen Fertigung und den hohen Qualitätsansprüchen gut zur DNA der Schweizer Industrie. Dazu kommt, dass die Schweiz früh die Notwendigkeit der interdisziplinären Ausbildung erkannt hat und sowohl auf der Ebene der technischen Hochschulen als auch der Fachhochschulen entsprechende Studiengänge anbietet. Mit Firmen wie Novartis und Roche, aber auch mit dem Swiss Institute of Bioinformatics ist die Schweiz an vorderster Front dabei.

Die neuen europäischen Regulatorien zu Medizinprodukten («Medical Device Regulation») und die politische Diskussion, einige der Anwendungen aus der molekularen Erkennung dem Gentechnikmoratorium zu unterstellen, sind ernstzunehmende Hindernisse. Die Regulatorien verlängern die europaweiten Zulassungsprozesse und das Gentechnikmoratorium birgt die Gefahr, dass das betroffene Teilgebiet der molekularen Erkennung an Attraktivität verliert und der Forschungsstandort Schweiz sowohl im privaten als auch öffentlichen Bereich geschwächt wird.

Der Forschungsbereich lebt von der Interdisziplinarität. Um diese zu fördern, wäre eine themenübergreifende Flagship Initiative der Innosuisse sinnvoll. Auch könnte der Bund die Schaffung von offenen Lern- und Umgebungsbedingungen prüfen, die – basierend auf dem bereits vorhandenen theoretischen und praktischen Wissen – iterativ neue Prozesse und Produkte entwickelt.

	Digitale Welt					Energie und Umwelt						Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft					
Bioelektronik		●		●	●											●	●	●			
Bioinformatik		●															●	●	●		
Molekulare Erkennung und Lab-on-a-Chip											●		●		●		●				

**Tabelle 3** zeigt den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe Bioinformatik und Biotechnologie und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung.



Quelle: Wyss Zurich

## Biomedizin

Die Biomedizin ist ein junges Forschungsgebiet, das im Grenzbereich von Humanmedizin und Biologie fungiert. Es handelt sich dabei, wie der Name vermuten lässt, um ein interdisziplinäres Fachgebiet, das ein Wegbereiter für die personalisierte Medizin ist. Werden die ethischen und juristischen Fragen im Sinne der Patient:innen geklärt und wird das Unternehmertum gestärkt, bietet die Biomedizin für die Schweizer Gesellschaft und Wirtschaft grosse Chancen.

Die biomedizinische Forschung ist eine starke Treiberin der personalisierten Medizin. Darunter versteht man eine auf das Individuum zugeschnittene Behandlung, welche auch Erkenntnisse aus den individuellen Charakteristika des Erbguts einbezieht. Sie beschränkt sich nicht nur auf den angepassten Einsatz von klassischen Therapeutika, sondern setzt auch auf Therapien mit patienteneigenen, modifizierten Zellen, mit ganzen Geweben oder im Fall der Mikrobiom-therapie auf die Darmflora. Technologien wie die regenerative Medizin versprechen nicht nur eine Behandlung der typischen Volkskrankheiten wie Alzheimer, Diabetes und Krebs, sondern auch deren Heilung. Die Schweiz ist in den pharmazeutischen Wissenschaften und in der Biotechnologie, aber auch in den relevanten Ingenieurwissenschaften traditionell stark und international kompetitiv. Zudem ist, im Gegensatz zu zahlreichen anderen Ländern, das Ökosystem vorhanden, um

Forschungsergebnisse zu kommerzialisieren und die Arbeitsplätze im Land zu halten. Personalisierte Medizin lebt von patientenspezifischen Daten und generiert eine grosse Menge an persönlichen Gesundheitsdaten. Das wirft Fragen zum Schutz der Privatsphäre und zur Kontrolle über diese sensiblen Daten auf.

Der breite Einsatz der Technologien steht erst am Anfang. Somit bietet sich die Chance, sich frühzeitig proaktiv mit den ethischen und juristischen Fragen rund um Datenschutz und Dateneigentum zu befassen, anstatt auf Streitfragen zu warten und dann zu reagieren.

Anwendungen in der Biomedizin leben vom Einsatz und der Veränderung von menschlichen Zellen, um Krankheiten besser zu verstehen und zu behandeln. Aus ethischer Perspektive sind daher Chancen und Risiken zu thematisieren. Dank Technologien wie 3D-Biodruck und Genom-Editierung können kleine Modelle von menschlichen Geweben und Organen im Labor gezüchtet und für die pharmakologische und toxikologische Forschung verwendet werden. Dadurch kann die Anzahl Tierversuche deutlich reduziert werden, sofern solche Modelle auf regulatorischer Ebene als vollwertiger Ersatz für Tiere eingestuft werden. Es stellt sich einerseits die Frage nach der Akzeptanz in der Gesellschaft, wobei sich die Schweizer Bevölkerung in biomedizinischen Fragen tendenziell innovationsfreundlich zeigt und diese Haltung durch verbesserte Kommunikation von Seiten der Wissenschaft noch verstärkt werden

könnte. Andererseits stellt sich auch die Frage nach der ethischen Grenze, die in der Schweiz und in der EU durch die Gesetzgebung klar geregelt ist mit dem Ziel, die Würde des Menschen zu wahren. Ein nicht zu unterschätzendes Risiko stellt allerdings die Forschung in China dar: Sollte diese gewisse ethische Grenzen sprengen, kann dies global negative Auswirkungen auf die biomedizinische Forschung haben.

Momentan werden Fortschritte in der Umsetzung von biomedizinischen Erkenntnissen in Anwendungen in der Schweiz, aber auch in der ganzen EU, von den hohen regulatorischen Anforderungen und der neuen «Medical Device Regulation» (MDR) gebremst. Die Regulatorien belasten Gesuchsteller:innen und Behörden gleichermaßen und stellen ein ernstzunehmendes Risiko dar,

dass die EU im Vergleich zu den USA, wo die verantwortliche Behörde Food and Drug Administration FDA erstaunlich agil auf neue Entwicklungen reagiert, einen Standortnachteil hat.

In der Schweiz widerspricht die Kommerzialisierung von Forschungsergebnissen der Auffassung vor allem von älteren Forschenden. Erschwerend kommt hinzu, dass eine gescheiterte Firmengründung im Gegensatz zu den USA eine Karriere negativ beeinflusst und deshalb eine ausgeprägte Risikoaversion vorhanden ist, nicht nur bei den Forschenden, sondern auch bei den Risikokapitalgebern. Es braucht einen Mentalitätswandel in der Forschung und bei den Geldgebern, aber auch vermehrt ergänzende Studiengänge in Entrepreneurship auf Masterstufe in den Life Sciences. Da könnte der Bund unterstützend wirken

und entsprechende Angebote entwickeln. Initiativen wie das Wyss Zurich bieten in der kritischen Phase der Umwandlung von Forschungsergebnissen in Produkte Ruhe und Sicherheit, um die Innovation unter dem akademischen Hut fertig zu entwickeln, ohne dem finanziellen Druck der Kommerzialisierung ausgesetzt zu sein. Diese Art der Förderung ist weltweit einmalig und zieht Top-Wissenschaftler:innen aus der ganzen Welt an. Momentan beschränken sich die Aktivitäten des Wyss Zurich auf die regenerative Medizin, die Robotik und die Kombination der beiden Forschungsgebiete in der Bionik. Es dürfte sich lohnen, die Aktivitäten thematisch auszubauen und zu intensivieren, um die zahlreichen und grossen Chancen, welche die Biomedizin für die Gesellschaft und die Schweiz bietet, optimal zu nutzen.

	Digitale Welt				Energie und Umwelt							Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft				
3D-Biodruck													●		●	●		●		
Genom-Editierung													●			●		●		
Mikrobiom														●		●	●		●	
Regenerative Medizin															●	●			●	

**Tabelle 4** zeigt den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe Biomedizin und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung.



Quelle: Agroscope

## Datenverarbeitung und -übertragung

Die weltweit gespeicherte Datenmenge wächst rasant und soll sich alle zwei Jahre verdoppeln. Entsprechend zentral für die weitere Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft sind die Fragen, wie grosse Datenmengen verarbeitet und übertragen werden können.

Für die weitere Digitalisierung ist der Ausbau und weitere Aufbau neuer Mobilfunknetzinfrastruktur von zentraler Bedeutung. Die Europäische Union fördert mit rund 400 Milliarden Euro den Aufbau eines europäischen 5G-Netzes. Dies entspricht dem gegenwärtigen BIP von Österreich.

Im Zusammenhang mit der Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft wird immer wieder von künstlicher Intelligenz gesprochen. Künstliche Intelligenz bezeichnet Algorithmen zur Datenverarbeitung. Solche Systeme können Muster erkennen und basierend auf diesen Mustern Zusammenhänge feststellen oder Entscheidungen treffen. Meist nutzen solche Systeme die Analyse von grossen Datenmengen. Im Gegensatz zu klassischen Algorithmen können künstlich intelligente Systeme so auch mit für sie neuartigen Daten oder Situationen umgehen. Dadurch wird es diesen Systemen möglich, Tätigkeiten auszuführen, die bislang als dem Menschen vorbehalten galten: etwa Zusammenhänge erschliessen, komplexe Brettspiele spielen, Texte übersetzen,

Objekte auf Bildern erkennen oder Bilder generieren, die die typischen Merkmale eines Gemäldes von Rembrandt aufweisen. Heute sind viele ausgereifte Anwendungen verfügbar, die von Gesichtserkennung bis hin zu Spracherkennung reichen. Die meisten dieser Durchbrüche basieren auf den Prinzipien des Deep Learnings. Solche Softwaresysteme imitieren Nervenzellen des menschlichen Gehirns. Auch biologisch inspirierte Hardware zu bauen, ist Gegenstand des Forschungsfeldes der neuromorphen Elektronik. Solche Hardware soll leistungsfähiger und zugleich energiesparender sein.

Klassische Transistoren werden aus Silizium gebaut. Die Erfolge in der Materialforschung haben Graphen als möglichen Nachfolger von Silizium ins Gespräch gebracht. Allerdings wird die Nutzung von Graphen im Bau von Transistoren skeptisch beurteilt. Langfristig vielversprechender ist etwa das Feld der Quantencomputer, auch wenn es beim Bau solcher Rechner noch viele offene Fragen und ungelöste Probleme gibt. Die Möglichkeiten des Quantencomputers sind eine Herausforderung für heutige Verschlüsselungsverfahren bei der Datenübertragung, sodass schon heute an Verfahren geforscht wird, die auch von einem leistungsfähigeren Quantencomputer nur schwer geknackt werden können.

Wie auch viele andere Branchen und Sektoren profitiert auch die Landwirtschaft von Entwicklungen im Feld der Datenverarbeitung und

-übertragung. Dort gibt es viel Potenzial für Optimierungen. So könnten Dünge- und Pflanzenschutzmittel einzelpflanzenspezifisch eingesetzt werden. Damit wird nicht nur die Effizienz gesteigert, sondern auch die Ökobilanz der Landwirtschaft verbessert.

Die Technologien aus dem Themenfeld Datenverarbeitung und -übertragung bieten grosse Chancen, auch wenn die Schweiz im internationalen Vergleich ein kleiner Player ist und bleibt. Um international wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es

für die Schweiz von eminenter Bedeutung, dass die Gesetzeslage wissenschaftsfreundlicher wird, administrative Hürden zum Einsatz von Technologie abgebaut werden und die hiesige Forschungslandschaft trotz des Ausschlusses vom Rahmenprogramm «Horizon Europe» an internationalen Projekten mitwirken kann.

	Digitale Welt				Energie und Umwelt						Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft					
5G		●	●																●	●
Big Data und maschinelles Lernen	●	●																		●
Digitale Landwirtschaft	●	●	●		●						●									
Graphentransistoren																				
Neuromorphe Elektronik	●	●	●	●															●	
Quantencomputer	●	●	●	●																
Quanten- und Postquantenkryptographie		●																	●	

**Tabelle 5** zeigt den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe Datenverarbeitung und -übertragung und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung. Die grauen Balken weisen darauf hin, dass die entsprechend markierte Technologie ein sogenannter Enabler ist und auf fast alle Industrieklassen eine Auswirkung haben wird.



Quelle: Robert Linder auf Unsplash

## Energie

**Eine ausreichende, sichere, wirtschaftliche und nicht zuletzt umweltverträgliche Versorgung mit Energie ist für die moderne Gesellschaft und Wirtschaft unabdingbar. Die Zielsetzungen des Klimaschutzes erfordern eine rasche und umfassende Transformation des Energiesystems, wobei technologische Innovationen eine wichtige Rolle spielen. Die zukünftige Energieversorgung wird von Digitalisierung, dezentralen Systemen sowie einem grossen Anteil klimaneutraler und erneuerbarer Stromproduktion geprägt sein.**

Die Energiestrategie 2050 sieht einen starken Ausbau der Erzeugung erneuerbarer Energien vor, welcher insbesondere im Bereich Windenergie stockt. Fliegende Windenergieanlagen sind eine interessante Alternative zu klassischen Windturbinen, für welche es in der Schweiz schwierig ist, geeignete und akzeptierte Standorte zu finden. Die fliegenden Anlagen sind aber noch nicht marktreif und eignen sich aufgrund der Konkurrenz zum Flugverkehr im Luftraum nur für sehr abgelegene Gebiete. Weiter wird die künstliche Photosynthese vorgestellt, mit welcher der Energieträger Wasserstoff klimaneutral und effizienter produziert werden kann als im zweistufigen Verfahren via Photovoltaik und Elektrolyse. Die künstliche Photosynthese kann auch weitere Wertstoffe für die Produktion von anderen synthetischen Brenn- oder Treibstoffen sowie für die chemische Industrie liefern.

Wasserstoff wird als zukunftsfähiger Energieträger angesehen, sofern er klimaneutral erzeugt wird. Er dürfte vor allem als Treibstoff im Schwer- und Langstreckenverkehr oder als Brennstoff sowie zur längerfristigen Energiespeicherung zum Einsatz kommen. Die Langzeitspeicherung von Energie – in chemischen Verbindungen oder auch in Wärmespeichern – gewinnt grundsätzlich an Bedeutung, wenn der Anteil erneuerbarer Energien im System zunimmt. Dies weil die Produktion von erneuerbaren Energien saisonal variiert sowie im Tagesverlauf aufgrund der Witterung schwankt und deshalb oft nicht mit der aktuellen Energienachfrage synchronisiert ist. Neue Batterietechnologien sind bedeutend für den kurz- bis mittelfristigen Ausgleich von Stromproduktion und -nachfrage und den erfolgreichen Ausbau der Elektromobilität. Wichtig im Batteriebereich sind neue Systeme, welche weniger seltene und problematische Elemente enthalten, und eine Kreislaufwirtschaft zur Wiederverwendung der Ressourcen.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Speicher schafft auch neue Herausforderungen für die Systeme zur Stromübertragung, welche mit einer stärkeren Automatisierung der Stromnetze bewältigt werden können. Die Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung in Supergrids könnte den internationalen Handel mit und den Ausgleich von elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen zwischen weit entfernten Weltregionen ermöglichen. Supergrid-Technologien

machen aber nur Sinn, wenn sie koordiniert über einen grösseren geografischen Raum wie den gesamten europäischen Kontinenten aufgebaut werden.

Zukünftig spielt auch die Reduktion des Energieverbrauchs durch effiziente Technologien eine wichtige Rolle. Energy Harvesting macht es möglich, geringe Energiemengen aus der Umgebung nutzbar zu machen, beispielsweise für die Stromversorgung kleiner, mobiler Geräte des Internet of Things. Im Gebäudebereich können mikrostrukturierte Fenster die Tageslichtnutzung verbessern und die Innenraumerwärmung reduzieren, was zu Energieeinsparungen führt. Thermo-

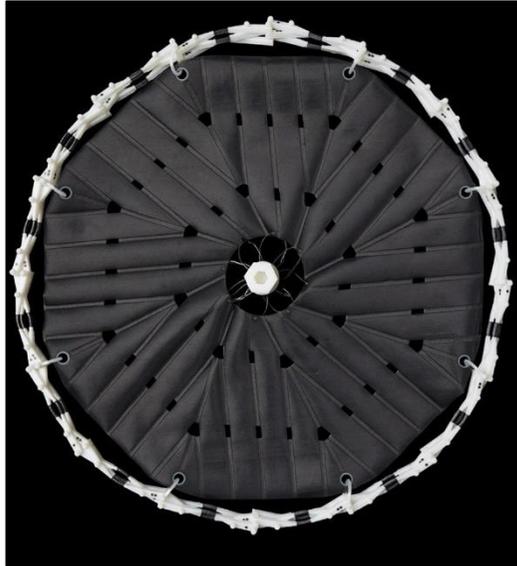
elektrische Farben stellen eine Energiewandlungstechnologie dar, die (Ab-)Wärme in Elektrizität umwandeln kann und so eine effizientere Energienutzung ermöglicht. Diese Technologie scheint aber nur für sehr spezifische Anwendungen geeignet zu sein und eine zeitnahe Umsetzung in marktfähige Produkte ist nicht absehbar.

Die politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen haben einen bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung der Energietechnologien. Hier ist insbesondere die Einbindung der Schweiz in das europäische Energiesystem zu erwähnen, d.h. ob energiepolitisch eine enge Kooperation oder Selbstversorgung an-

gestrebt wird. In letzterem Fall wäre beispielsweise der Anschluss der Schweiz an ein europäisches Supergrid unwahrscheinlich und Langzeitspeicher in der Schweiz müssten anders konzipiert werden. Auch die Möglichkeiten der Schweizer Energieforschung zur Zusammenarbeit mit europäischen Partnern wären im zweiten Fall eingeschränkt. Der Wirtschaftsstandort Schweiz verfügt über bedeutende Hersteller für etablierte Energietechnologien, welche stark exportorientiert sind, sowie über innovative Startups. Diese würden davon profitieren, wenn im Rahmen einer entschiedenen Umsetzung der Energiestrategie und des Klimaschutzes vermehrt Projekte zu neuen Energietechnologien in der Schweiz realisiert würden.

	Digitale Welt				Energie und Umwelt							Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft						
Automatisierung der Stromnetze	●	●			●		●	●														●
Energy Harvesting			●	●	●	●				●	●			●								
Fliegende Windenergieanlagen	●					●		●	●													●
Künstliche Photosynthese						●		●														●
Langzeitspeicherung von Energie						●	●	●														●
Mikrostrukturierte Fenster				●																		●
Neue Batterietechnologien			●				●	●		●												●
Supergrids						●	●	●														●
Thermoelektrische Farben					●	●																●
Wasserstoff							●	●														●

**Tabelle 6** zeigt den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe Energie und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung.



Quelle: ETH Zürich

## Fertigungsverfahren und Materialien

Das Kapitel umfasst einerseits die beiden Fertigungsverfahren 3D-Druck von grossen Gebäudeteilen und 4D-Druck sowie andererseits die Materialthemen 2D-Materialien, abbaubare Sensoren, Bioplastik, Metamaterialien und selbstheilende Materialien. Die Technologien bergen mit Hightech- und Nischenanwendungen grosses Potenzial für die Schweiz und könnten zu einem Game Changer werden. Für die meisten Materialthemen ist die Zeit für die industrielle Umsetzung allerdings noch nicht reif und das Marktpotenzial noch nicht klar absehbar.

Beide Fertigungsverfahren sind spezifische Anwendungen des 3D-Drucks, also der schichtweisen – additiven – Fertigung. Sie ermöglichen die Herstellung von Strukturen mit komplexer Geometrie in Leichtbauweise. Dies können grosse Gebäudeteile, ganze Brücken oder Schalungsformen (z. B. für Betonbarrieren) sein. Werden aktive Materialien additiv verarbeitet, entstehen Teile, die erst nach der Fertigung unter dem Einfluss externer Faktoren ihre endgültige Form annehmen – deshalb die Bezeichnung 4D-Druck. 3D-Biodruck ist eine weitere Ausprägung der additiven Fertigung, die mit lebendem Biomaterial wie Zellen arbeitet und deshalb im Kapitel Biomedizin bearbeitet wird.

Der Druck ganzer Gebäudeteile bietet zahlreiche Chancen, die von reduziertem Materialverbrauch über die On-site-Fertigung bis zur dezentralen Anwendung in Katastrophengebieten und in Schwellenländern reichen. 4D-Druck kann in zahlreichen Industriebereichen wie dem Bauwesen, dem Energiesektor sowie der Luft- und Raumfahrt zur Anwendung kommen, steht aber erst bei den biomedizinischen Anwendungen vor der Produktreife. Beide Technologien bergen grosses Potenzial für die Schweiz und könnten zu einem Game Changer werden, zumal die heimische Industrie gut aufgestellt ist und im Fall des 3D-Drucks von Bauteilen im internationalen Wettbewerb dominiert. Um das Potenzial voll auszuschöpfen, wäre für den 3D-Druck von grossen Bauteilen die Bildung eines Konsortiums und für den 4D-Druck spezifische Förderung ausserhalb derjenigen für additive Fertigung hilfreich. Fehlende Langzeitstudien und die Unsicherheit in Bezug auf Wartung und Unterhalt von 3D-gedruckten Strukturen könnten allenfalls hemmend wirken.

Bioabbaubar, elektrisch oder optisch leitend oder halbleitend, isolierend, magnetisch und selbstheilend sind nur einige der zahlreichen Attribute der vorgestellten Materialien. Die Eigenschaften sind entweder intrinsisch oder menschengemacht, die Materialien teilweise das Resultat eines wissenschaftlichen Baukastens. So vielfältig die Eigenschaften der verschiedenen Materialklassen sind, so zahlreich sind die möglichen

Anwendungen, die sich in fast alle Industrieklassen erstrecken. Die im Kapitel beschriebenen Materialien werden im Körper gut vertragen und bieten grosse Chancen für die Medizintechnik und die personalisierte Medizin. Dank 2D-Materialien könnte Silizium in Transistoren ersetzt und damit das Reshoring in der Elektronikindustrie initiiert werden. Im Körper und in der Umwelt abbaubare Sensoren und Bioplastik können einen wichtigen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten, da die unzähligen Sensoren in IoT-Systemen unschädlich abbaubar sein werden und der Food Waste dank smarten Lebensmittelverpackungen reduziert wird.

2D-Materialien und Metamaterialien könnten die Photovoltaik revolutionieren, da sie effiziente Absorption und Energieumwandlung mit einer minimalen Materialmenge ermöglichen. Selbstheilende Materialien hingegen versprechen eine verlängerte Lebensdauer der Infrastruktur, geringere Unterhaltskosten und eine Reduktion des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks im Bauwesen.

Die Materialien befinden sich noch in einem frühen Entwicklungsstadium und profitieren von Fortschritten in anderen Gebieten wie der additiven Fertigung oder dem 4D-Druck. Die Möglichkeiten sind gross und zahlreich, auch wenn die

Zeit für die industrielle Umsetzung in den meisten Fällen noch nicht reif und das Marktpotenzial noch nicht klar absehbar ist. Für die Schweiz werden sich vor allem in Hightech- und Nischenanwendungen Chancen bieten, da die Komplexität gross und die Qualitätsansprüche hoch sind. Den Chancen steht in der Schweiz die fehlende Vernetzung der Akteur:innen gegenüber und wie in anderen Ländern fehlende Langzeitstudien und hohe Zulassungshürden für neuartige Materialien – nicht nur für Anwendungen in der Medizin. Die Förderung der interdisziplinären Vernetzung mit grossen Programmen könnte sich auszahlen und dafür sorgen, dass aus den Möglichkeiten echte Chancen für die Schweiz werden.

	Digitale Welt				Energie und Umwelt							Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft				
2D-Materialien	●				●							●			●					
3D-Druck von grossen Gebäudeteilen												●							●	
4D-Druck							●					●		●	●				●	
Abbaubare Sensoren		●			●									●	●					
Bioplastik														●	●				●	
Metamaterialien	●	●		●	●							●	●	●						
Selbstheilende Materialien																			●	

**Tabelle 7** zeigt den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe Fertigungsverfahren und Materialien und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung. Die grauen Balken weisen darauf hin, dass die entsprechend markierte Technologie ein sogenannter Enabler ist und auf fast alle Industrieklassen eine Auswirkung haben wird.



Quelle: CSEM

## Human Enhancement und neue Mensch-Maschinen-Schnittstellen

**Human Enhancement und neue Mensch-Maschinen-Schnittstellen schaffen neue Interaktionen zwischen Mensch und Technologie. So umfasst das Kapitel eine Reihe von sehr verschiedenen Technologien, denen aber allen gemein ist, dass sie auf neuartige Weise mit dem Menschen interagieren oder am Körper getragen werden.**

Das Unterkapitel Chatbots – Konversationsagenten umfasst technologisch simple Chatbots, aber auch auf künstlicher Intelligenz basierende Assistenten, die es ermöglichen, Geräte mit mündlicher, natürlicher Sprache zu bedienen. Damit lassen sich Geräte auch ohne Bildschirm im Sichtfeld bedienen. Prominenteste Beispiele sind Alexa, Google Assistant und Siri.

Auch Mixed-Reality-Anwendungen schaffen neue Schnittstellen zwischen Menschen und Maschinen. Auf der einen Seite des Mixed-Reality-Kontinuums finden sich Geräte, welche die reale Welt mittels digitaler Informationen ergänzen (Augmented Reality). Auf der anderen Seite sind Geräte angesiedelt, die die Nutzer:innen in eine virtuelle Welt eintauchen lassen (Virtual Reality) oder gar ihre Bewegungen über Sensoren erfassen und diese wiederum in die virtuelle Welt übertragen.

Tragbare medizinische Geräte sind am Körper getragene und mit unterschiedlichen Sensoren ausgestattete Geräte, die Vitaldaten ihrer Träger:innen aufzeichnen. Diese Daten können am Computer ausgewertet oder an einen Gesundheitsdienstleister zur Verarbeitung weitergeleitet werden.

Brain-Machine-Interfaces sind Geräte, die Hirnströme invasiv oder nichtinvasiv messen. Diese so ermittelten Daten werden genutzt, um das Gehirn zu erforschen, die Informationen zur Steuerung von Geräten zu nutzen oder über Impulse andere Nerven zu stimulieren. Brain-Machine-Interfaces sind noch am Anfang der Entwicklung, allerdings zeichnen sich erste medizinischen Anwendungen ab.

Das damit verwandte Forschungsfeld Bionics versucht, mittels technologischer und elektronischer Bauteile bestimmte Körperfunktionen oder ganze Körperteile wieder herzustellen oder zu ersetzen. Bereits etablierte Beispiele sind Cochlea-Implantate und Herzschrittmacher.

Eine Gesamtschau über die Chancen und Risiken der in diesem Kapitel beschriebenen Technologien macht deutlich:

- Das Feld der Mixed-Reality-Anwendungen und das Feld der Konversationsagenten wird von grossen IT-Unternehmen dominiert, von denen zwar einige Niederlassungen in der Schweiz haben (Apple, Google, Meta, Microsoft), bei denen aber unklar ist, wie viele der dafür benötigten

Technologien sie tatsächlich auch hier entwickeln. Gleichzeitig zeigt sich, dass die Grundlagen-technologie für Mixed-Reality-Anwendungen und Konversationsagenten im Consumer-Bereich nicht zu den Stärken der Schweiz gehören. Allerdings werden für Konversationsagenten als auch für Mixed-Reality-Umgebungen hier Anwendungen und Inhalte entwickelt.

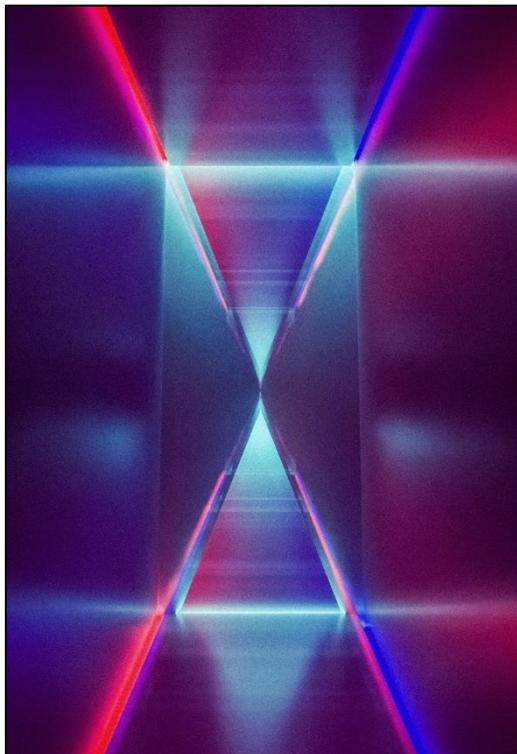
- Die Bedingungen für technologisch anspruchsvolle Forschungsfelder wie Brain-Machine-Interfaces und Bionics sind in der Schweiz gut. In den

sehr komplexen Feldern der Life Sciences, der Medizinaltechnik und der Mikrotechnologie ist die Schweiz ebenfalls gut aufgestellt. Die zügige Entwicklung des Gebietes wird allerdings gebremst durch den Ausschluss der Schweiz vom Rahmenprogramm «Horizon Europe» und der damit verbundenen Schwierigkeit, sich an internationalen Forschungsprojekten zu beteiligen.

- Auch im Bereich der tragbaren medizinischen Geräte ist die Schweiz gut aufgestellt und es gibt eine vitale Start-up-Szene.

	Digitale Welt				Energie und Umwelt							Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft				
Bionics					●										●	●		●		
Brain-Machine-Interfaces					●										●	●		●		
Konversationsagenten	●	●																		
Mixed Reality		●			●								●							
Tragbare medizinische Geräte			●		●									●	●	●	●			●

**Tabelle 8** den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe Human Enhancement und neue Mensch-Maschinen-Schnittstellen und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung.



Quelle: Rahul Pugazhendi auf Unsplash

## Photonik

**Photonik ist die Lehre der Lichtteilchen, den Photonen. Diese gelten als Elektronen des 21. Jahrhunderts. Photonik und Elektronik spielen zusammen, ergänzen sich und bilden ein Zwillingpaar, wobei die Elektronik in der Datenspeicherung und die Photonik in der Datenübertragung ihre Stärken ausspielen. Photonische Technologien sind Schlüsseltechnologien für die kommenden Jahrzehnte und finden Anwendung in zahlreichen industriellen Produkten und Prozessen.**

Besonders zukunftssträftig für Wissenschaft und Gesellschaft sind die photonisch integrierten Schaltkreise («photonic integrated circuits» oder PICs). Diese Technologie birgt ein grosses Potenzial und findet Anwendung in einer Vielzahl an Branchen und Gesellschaftsbereichen. Gegenüber herkömmlich integrierten Schaltkreisen weist sie etliche Vorteile wie eine höhere Übertragungsgeschwindigkeit, mehr Bandbreite und eine bessere Energieeffizienz auf. PICs gilt – auch mit Blick auf den Klimawandel – als «Key Game Changer» für die kommenden Jahre und als Hoffnungsträger für massive Energieeinsparungen im IT-Bereich, der bis 2030 voraussichtlich 20 Prozent der globalen Energie konsumieren wird.

Für die Schweiz bieten sich Chancen: Als hochentwickelte und hochpreisige Volkswirtschaft kann sie die zunehmende Komplexität der photonischen Systeme und die daraus resultierenden

hohen Anforderungen an die Interdisziplinarität zu ihren eigenen Gunsten nutzen. Dabei sollte nicht nur der F&E-Platz, sondern gleichzeitig auch der Werkplatz Schweiz durch vermehrten Informationsaustausch zwischen Industrie und Grundlagenforschung, aber auch innerhalb der Industrie gestärkt werden. Mit Blick auf den Industriepartner sind sowohl bereits etablierte Unternehmen als auch Start-ups angesprochen. Die Kleinheit des heimischen Absatzmarktes erfordert eine Ergänzung mit ausländischen Verkaufskanälen. Dadurch lassen sich Skalenerträge durch höhere Losgrößen erzielen, womit die Produktionskosten in der Schweiz gesenkt und die Verkaufspreise reduziert werden können. Alternativ ist ebenfalls die Verlagerung der Produktion in das günstigere (europäische) Ausland denkbar, auch wenn dies mit einem Verlust an nationaler Wertschöpfung einhergeht. Eine preislich attraktive Herstellung kann auch durch Public-private-Partnerships gefördert werden. Eine entscheidende Rolle nehmen Investor:innen wahr, wobei es wichtig ist, dass bei Projekten angewandte Forschungsthemen nicht vergessen werden. Lokale Produktion mindert die Abhängigkeit von internationalen Lieferketten, die sich gerade in Krisenzeiten immer wieder als fragil erweisen. Als Wertschöpfer («enabler») dient besonders die Mikromontage, also die Integration von Teilen unterschiedlicher photonischer Herkunft zu einem einzigen System. Auch wenn die Produktion der Einzelteile nicht in der Schweiz erfolgt, baut deren Integration auf die typischen Fähigkeiten der

Schweiz – Präzision und Qualität. Sie setzt entsprechend ausgebildete Mitarbeitende voraus, welche die Technologie verstehen und auch weitere, innovative Anwendungen identifizieren können.

Eine erfolgreiche photonische Industrie setzt entsprechendes Humankapital am Standort Schweiz voraus. Obwohl eine Ausbildung im Fachgebiet der Photonik bereits möglich ist, ist die Anzahl der Photonik-Studierenden vergleichsweise tief. Wichtig ist, dass für die Technologie Begeisterung geweckt wird: Photonik sollte in spielerischer Form Teil der Lehrpläne sein und gegen aussen

als attraktiv sichtbar gemacht werden. Mit der ETH Zürich und der EPFL verfügt die Schweiz über zwei führende Forschungsanstalten auf akademischem Niveau. Damit besteht eine hervorragende Ausgangsbasis für den Technologietransfer in die Wirtschaft. Die OST ergänzt dieses Angebot im anwendungsorientierten Bereich, der besonders für die Industrie attraktiv ist. Diese sollte Praktikumsstellen anbieten und/oder Lehr- und Studienabgänger:innen übernehmen. Damit wird eine hohe Konzentration an Know-how am Standort Schweiz sichergestellt.

Im Folgenden werden nebst der Technologie der integrierten Schaltkreise ebenfalls der Einsatz der Einzelphotonen-Technologie dargestellt. Diese findet z. B. bei 3D-Kameras Verwendung, die mittels hochsensibler Sensoren teiltransparente oder reflektierende Oberflächen erfassen können. Auch wird mit der Biophotonik ein zentrales Anwendungsgebiet der Photonik mit Potenzial im Bereich der (Bio-)Medizin und in den Energiewissenschaften (z. B. Biophotovoltaik) dargestellt.

	Digitale Welt				Energie und Umwelt						Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft				
Biophotonik								●			●			●					
Einzelphotonen-Technologien	●				●													●	
Photonisch integrierte Schaltungen	●																		

**Tabelle 9** zeigt den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe Photonik und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung. Die grauen Balken weisen darauf hin, dass die entsprechend markierte Technologie ein sogenannter Enabler ist und auf fast alle Industrieklassen eine Auswirkung haben wird.



Quelle: Ryoji Iwata auf Unsplash

## Soziale Innovationen

Soziale Innovationen versuchen, einen Wandel individueller Verhaltensmuster und somit gesellschaftlicher Praktiken herbeizuführen. Dadurch erweitern sie das vorherrschende, technologiebasierte Innovationsverständnis, indem sie neue gesellschaftliche Ziele verfolgen. Soziale Innovationen erfordern gesellschaftliche Akzeptanz und können durch neuartige Lösungen Gesellschaftssysteme verändern, wobei unter Umständen auch ein ökonomischer Mehrwert generiert wird. Der Begriff bleibt schwer greifbar, wird sehr unterschiedlich verwendet und verbindet aber zugleich, indem er als Sammelbegriff für Aktivitäten zahlreicher Organisationen und wissenschaftlicher Initiativen herhält.

Soziale Innovationen können in sehr unterschiedlichen Bereichen der Gesellschaft entstehen und ihren Lauf nehmen. Einen gemeinsamen Bogen spannt dabei die Digitalisierung der Lebenswelt, der mit sozialen Innovationen begegnet wird. Sie wirft vorab die Frage nach dem Besitz von und der Kontrolle über Daten auf.

Die Schweizer Volkswirtschaft zählt zu den weltweit führenden Anbieterinnen von Finanz- und Versicherungsdienstleistungen. Zugleich ist sie aufgrund ihrer Kleinräumigkeit stark mit dem Ausland verflochten, was sich im Ausmass ihrer international gehandelten Güterströme manifestiert. Digitale Währungen versprechen

schnelleres, sichereres und kostengünstigeres Bezahlen der gehandelten Ware. Sie bieten also vielfältige Möglichkeiten und einen grossen wirtschaftlichen Nutzen, wie z. B. die Programmierbarkeit von Geldflüssen durch Smart Contracts, Zahlungsabwicklungen zwischen Maschinen ohne menschliches Zutun sowie die Vereinfachung grenz- und währungsüberschreitender Zahlungen. Offensichtlich kann diese soziale Innovation transformative Auswirkungen auf das heutige Finanzsystem, Geschäftsmodelle von Finanzintermediären, aber zugleich auch auf das Verhalten realwirtschaftlicher Akteur:innen haben. Der Schweiz bieten sich einige bedeutsame Anknüpfungspunkte an das Thema, woraus auch Chancen erwachsen.

Die Versorgung mit Lebensmitteln ist stark durch grosse Verteiler geprägt, die eine Strategie der Zentralisierung und Skalierung verfolgen. Daneben entwickeln sich aber vermehrt lokale Lebensmittelkreise, welche als innovative Form der Versorgung die Produzent:innen und Kund:innen näher zusammenbringen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern. Neue digitale Lösungen und Plattformen sind ein wichtiges Element für diese Geschäftsmodelle. Die Kunden erhalten mehr Transparenz über die Herkunft und Produktion der konsumierten Lebensmittel und «Food-Waste» kann reduziert werden. Die Schweiz ist gut dafür positioniert: Als reiche Volkswirtschaft vermag sie es, sich den Themen der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes gebührend

anzunehmen. Zugleich besteht ein hohes ökologisches Bewusstsein in der Bevölkerung, wobei die Zahlungsbereitschaft für regional hergestellte Produkte, die entsprechend auch teurer sind, nur teilweise gegeben ist.

Die Vernetzung von Akteur:innen findet ebenfalls im Verkehrsbereich statt. Mobilitätskonzepte verbinden verschiedene Verkehrsmittel und bieten den Kund:innen bessere und nachhaltigere Angebote. Dem Einsatz von automatisierten und gemeinsam genutzten Fahrzeugen («Carsharing») kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu. Auch eine umfassende Digitalisierung mit einem offenen Datenaustausch, geeigneten digitalen Plattformen und fortschrittlicher Datenverarbeitung (allenfalls mit künstlicher Intelligenz) sind von Bedeutung.

Mobilitätskonzepte erfordern somit das Zusammenspiel von technologischen Innovationen,

wirtschaftlichen Lösungen und der Akzeptanz durch die Gesellschaft. Eine in der Schweiz gute Voraussetzung, aber zugleich auch ein Hindernis zur Etablierung von Mobilitätskonzepten ist der auf hohem Niveau ausgebaute öffentliche Verkehr und damit das bereits bestehende breite Angebot an Mobilitätsdienstleistungen.

Voraussetzung für eine gute Umsetzung einer sozialen Innovation ist letztlich auch der Bildungsstand und die Lernfähigkeit der Bevölkerung. Damit kommen mitunter auch das Hochschulwesen und die Hochschullehre ins Spiel, die den Lernenden Wissen, Kompetenzen, Werte und – im Idealfall – auch die Fähigkeit zur kritischen Distanzierung vermitteln sollen. Damit das Bildungswesen in der Lage ist, dies zu tun, bedarf es eines steten Abgleichs mit aktuellen wissenschaftlichen, gesellschaftlichen, technologischen und wirtschaftlichen Entwicklungen, womit selbstsprechend

auch die fortschreitende Digitalisierung angesprochen ist.

Soziale Innovationen sind mitunter Ergebnis und Ausprägung einer Pfadabhängigkeit. Diese wirkt auf Entwicklungen, denn erst durch Kenntnisse der Vergangenheit lässt sich Zukünftiges realistisch gestalten. Dabei gilt es, aufmerksam zu sein, dass (vermeintliche) Innovationen nicht nur Bestehendes oder gar Altes aufnehmen und leicht variieren, sondern dass effektiv in neuen Dimensionen gedacht (disruptive Innovationen) sowie Potenzial erkannt und genutzt wird. Soziale Innovationen können nicht auf morgen bestellt und hergestellt werden, ihre lang andauernden Wirkungen für zukünftige Generationen sind daher klar zu thematisieren. Dabei soll auch stets und wiederkehrend über die Frage reflektiert werden: Welche besseren gesellschaftlichen Alternativen gibt es im Vergleich zu den bestehenden sozialen Gegebenheiten.

	Digitale Welt				Energie und Umwelt						Fertigung	Life Sciences			Technik und Gesellschaft							
Digitale Währungen		●																●		●	●	
Hochschullehre																						●
Lokale Lebensmittelkreise		●								●											●	
Mobilitätskonzepte	●	●	●																	●		
Owning and Sharing Data		●	●															●				

**Tabelle 10** zeigt den Zusammenhang zwischen den Technologien aus der Technologiegruppe Soziale Innovationen und den 20 Labels. Jeder Punkt markiert einen unmittelbaren Bezug, eine konkrete Anwendung oder eine zu erwartende Auswirkung.



## Schlusswort

Technik bewegt. Sie gestaltet unsere Gesellschaft und leistet einen wichtigen Beitrag an eine dynamische und kräftige Wirtschaft. Umso wichtiger ist es zu wissen, in welche Richtung und wie schnell sich die technische Forschung und ihre Anwendungen entwickeln. Dadurch lassen sich Wege zur zukünftigen DNA der Schweiz finden. Wir bieten der Geschäftsleitung des SBFJ eine Karte, um sich in der Techniklandschaft am Standort Schweiz zu orientieren und sich zugleich ein lebendiges Bild der Zukunft zu machen. Dabei haben wir auf einzelne Themenbereiche fokussiert und ihre jeweils wichtigsten Einzeltechnologien genauer beleuchtet: Woran wird geforscht, und welche zukünftigen Chancen und Risiken ergeben sich daraus? Welche nutzbaren Produkte kommen auf den Markt? Und wer spielt mit?

Neue Technologien verdienen einen besonderen Zuspruch, wenn sie eine bessere Alternative zu Bestehendem bieten. So werden auch der Mensch und seine Bedürfnisse in den Mittelpunkt gerückt: mehr Sicherheit, höhere Effizienz, wirksamerer Umweltschutz oder ein zusätzlicher Beitrag an die Gesundheit. Damit zeigt sich ein Muster in den untersuchten Technologien und ihrem Verständnis: Sie setzen ein interdisziplinäres Denken voraus, weil sie in der Regel mehrere Lebensbereiche betreffen, woraus sich ebenfalls die Notwendigkeit der Interdisziplinarität

zwischen und innerhalb von Forschungsorganisationen ableitet. Gleiches gilt für die Bildungsinstitutionen, deren Lehrpläne idealerweise einem «wissenschaftlichen Baukasten» entsprechen, der einen spielerischen Umgang mit unterschiedlichen Disziplinen zulässt.

In der industriellen Anwendung kommt den Schlüssel- respektive Querschnittstechnologien – den Enablern – ein besonderes Augenmerk zu. Sie werden sich über die kommenden Jahre und Jahrzehnte in ihrer Anwendung in zahlreichen industriellen Produkten und Prozessen bemerkbar machen. Diese Verbindung zwischen Forschung und Industrie gelingt besonders dann, wenn der Austausch zwischen dem Denk- und dem Werkplatz Schweiz regelmässig praktiziert wird. Entsprechend haben angewandte Forschungsthemen einen wichtigen Stellenwert für den Erfolg neuer Technologien.

Auch der Staat mit seinen politischen Behörden kann über eine wissenschaftsfreundliche Gesetzeslage Einfluss nehmen auf den Durchbruch neuer Technologien. Er kann unnötige regulatorische Hemmnisse präventiv vermeiden, kurativ senken oder gar abbauen (z. B. administrative Zulassungshürden). Dies ist zumeist zielführender als die zusätzliche Alimentierung der Forschung mit finanziellen Mitteln. Eine weitere Herausforderung liegt in der ausreichenden

(internationalen) Vernetzung der Forschenden und Wirtschaftsvertretern, sei es untereinander oder sei es miteinander. Entwicklungen auf der politischen Ebene können diesbezüglich förderlich, aber auch hemmend wirken.

Grosses Potenzial für den Wirtschaftsstandort Schweiz bieten Hightech- und Nischenanwendungen. Diese können durch etablierte Firmen, aber auch durch Start-ups entwickelt werden, um aufstrebende und technologisch anspruchsvolle Forschungsfelder zu bestellen. Dadurch werden Arbeitsplätze und Wertschöpfung generiert und ein volkswirtschaftlich reichhaltiger Beitrag an die Gesellschaft geleistet.

Technik ist daher weder Perpetuum mobile, noch Selbstzweck. Technik gestaltet die Zukunft. Technik bewegt. Uns alle.



## Impressum

### Projektleitung

Claudia Schärer

### Autor:innen

Christian Holzner, Claudia Schärer, Stefan Scheidegger, Daniel Schmuki

### Expert:innen

Karl Aberer, Thomas Anken, Sarah Barber, Corsin Battaglia, Dominik Bisang, Philippe Block, Ardemis Boghossian, Tamara Brunner, Franceso Corman, Max Erick Busse-Grawitz, Tobi Delbruck, Benjamin Dillenburger, Jürg Eberhard, Gerd Folkers, Christian Franck, Andreas Fuhrer, Ursula Graf-Hausner, Robert Grass, Christian Grasser, Daniel Gygax, Manfred Heuberger, Simon Hoerstrup, Sebastian Höhn, Carolin Holland, Gabriela Hug, Robert Ivanek, Martin Jinek, Robert Katzschmann, Tobias J. Kippenberg, Tom Kober, Dennis Kochmann, Agathe Koller, André Kostro, Jens Krauss, Thomas Küchler, Andreas Kunz, Christian Laux, Christian Leinenbach, Jürg Leuthold, Roger Marti, Benjamin Müller, Martin Neubauer, Greta R. Patzke, Demetri Psaltis, Stanisa Raspopovic, Jörg Roth, Giovanni Salvatore, Benjamin Sawicki, Christian Schönenberger, Bruno Schuler, Simone Schürle-Fink, Kristina Shea, Roland Siegwart, Alexandre de Spindler, Bernhard Tellenbach, Lothar Thiele, Marius Wagner, Tomas de Wouters, Mehmet Fatih Yanik, Manfred Zinn

### Lektorat

Esther Lombardini

### Auftraggeber

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF, Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBF, Forschung und Innovation

April 2022



Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW  
St. Annagasse 18 | 8001 Zürich | 044 226 50 11 | [info@satw.ch](mailto:info@satw.ch) | [www.satw.ch](http://www.satw.ch)