
Technology Outlook 2021

Deutsche Version

Impressum

Autorinnen und Autoren

Thomas Anken, Christian Bach, Christophe Ballif, Fritz Bircher, Bernhard Braunecker, Rebecca Buller, Urs Burckhardt, Max Erick Busse-Grawitz, Vicente Carabias, Andreas Conzelmann, Alessandro Curioni, Reinhard Czichy, Patricia Deflorin, Gregor Dürrenberger, Xaver Edelmann, Regine Eibl, Andreas Fuhrer, René Gälli, Bernhard Gerster, André Golliez, Christian Grasser, Pierangelo Gröning, Daniel Gygax, Manfred Heuberger, Alessandra Hool, Hans-Peter Käser, Walter Karlen, Steffen Kelch, Christoph Kolano, Agathe Koller, Jens Krauss, Wolfgang Kröger, Thomas KÜchler, Roland KÜpfer, Andreas Kunz, Christian Laux, Daniel Liebhart, Katharina Link, Urs Mäder, Roger Marti, Hans-Peter Meyer, Bradley Nelson, Kristina Orehounig, Andrew Paice, Sven Panke, Greta Patzke, Adrian Perrig, Guido Piai, Thomas Puschmann, Michael Raghunath, Jörg Roth, Mark Rubin, Patrick Ruch, Christian Schaffner, Stefan Scheidegger, Daniel Schmid, Philipp Schmid, Thomas Justus Schmidt, Roland Siegwart, Lars Sommerhäuser, Adriaan Spierings, Thilo Stöferle, Bernhard Tellenbach, Anna Valente, Ilona Wettstein, Nicole Wettstein, Erich Windhab, Felix Wortmann, Tomas de Wouters, Shancong Yu, Manfred Zinn

Steering (Wissenschaftlicher Beirat der SATW)

Hans Altherr, Walter J. Ammann, Bernhard Braunecker, Ulrich Claessen, Djordje Filipovic, Robert Frigg, Rolf Hügli, René Hüsler, Agathe Koller, Urs Mäder, Hans-Peter Meyer, Peter Seitz, Ulrich W. Suter, Alessandro Tschabold

Projektleitung

Claudia Schärer

Redaktion

Beatrice Huber, Esther Lombardini

Review

Tony Kaiser

Übersetzung

Maud Capelle (französisch) und Tanya Loringett (englisch)

Gestaltung

Andy Braun

Bilder

Adobe Stock

April 2021

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Vorwort | 4 |
| Einleitung | 5 |
| Europäische Trends und Vergleich mit der Schweiz | 6 |
| Im Wandel der Zeit | 7 |
| Vergleich der Schweiz mit Europa | 10 |
| Ländervergleich | 11 |
| Bedeutung der Technologien für die Schweiz | 14 |
| Vier Forschungsfelder | 17 |
| Neue Technologien in dieser Ausgabe | 18 |
| Wie haben sich die Technologien seit der letzten Ausgabe entwickelt? | 19 |
| Zusammenfassung | 21 |
| Methodik | 22 |
| Auswahl der Technologien | 23 |
| Social-Media-Analyse | 24 |
| Bedeutung der Technologien für die Schweiz | 25 |
| Überführung der Werte in die Quadrantendarstellung | 27 |
| Technologien und Anwendungsgebiete | 28 |
| Digitale Welt | 30 |
| Energie und Umwelt | 48 |
| Fertigungsprozesse und Materialien | 60 |
| Life Sciences | 68 |
| Technik und Gesellschaft | 80 |
| Technologietrends | 84 |
| Einführung | 86 |
| Digitale Welt | 87 |
| Energie und Umwelt | 94 |
| Fertigungsprozesse und Materialien | 98 |
| Life Sciences | 100 |

Vorwort

Die Welt ist in den letzten Dekaden reicher und – verwöhnt durch die immer grösseren Leistungen der Industrie – anspruchsvoller geworden. Es ist schon völlig normal geworden, von den produzierenden Firmen Jahr für Jahr bessere Resultate zu erhalten (und zu fordern). Alle Marktteilnehmenden sehen zwar ein, dass es exponentielles Wachstum auf Dauer nicht geben kann, aber man ist überzeugt, dass es möglich sein muss, durch die geschickte Mischung von erfolgreichen Produkten, starker Marktpräsenz und schlaunen Neuigkeiten ein über alles exponentiell wirkendes Wachstum zu erzielen. Es fragt sich aber, wie diese Neuheiten erkannt, verstanden und genutzt werden können. Weltweit sind zu diesen Fragen «Technology Outlooks» als Orientierungshilfen entwickelt worden und haben sich zu international beliebten Standardwerken gewandelt.

Die SATW hat vor sechs Jahren ihren ersten *Technology Outlook* herausgegeben. Das damalige Produkt war noch recht einfach gehalten, es erhielt aber in der Schweiz von Ingenieurinnen und Ingenieuren sowie von Forschenden ermutigende Signale und Hinweise. Die weiteren Ausgaben wurden immer gehaltvoller. Mit der vierten Ausgabe halten Sie nun das «ausgereifte» Produkt in Händen. Es lehnt sich an die Vorgänger an und setzt auch neue Akzente.

Schon in der Ausgabe 2019 war die Dominanz der digitalen Welt auffallend. Diese Einsicht ist nun noch verstärkt.

Die Beiträge zu Technologien und Anwendungsgebieten halten – wie der Titel vorgibt – den Blick auf praktische, industrielle und kommerzielle Anwendungen: Sie reichen von 5G-Anwendungen, Analyse von Big Data und kollaborativer Robotik bis zu Quantencomputing. Die Beiträge zu Technologietrends bereiten dagegen die Leserinnen und Leser auf breitere Diskussionen vor und beschäftigen sich mit weitläufigen Themen wie autonome Systeme, Cybersecurity, digitale Landwirtschaft und natürlich auch die omnipräsente künstliche Intelligenz und die Quantentechnologien.

Gestartet wird diesmal mit internationalen Vergleichen (Europäische Trends und Vergleich mit der Schweiz). Die sehr sorgfältig erhobenen Daten von verschiedenen Jahren ermöglichen die Offenlegung der Stärken und Schwächen verschiedener Länder über die Zeit.

Ich wünsche Ihnen namens des Wissenschaftlichen Beirats eine stimulierende Lektüre und hoffe, der *Technology Outlook 2021* könne Ihnen behilflich sein.



Ulrich W. Suter | Präsident Wissenschaftlicher Beirat SATW

Einleitung

Identifizierung, Beschreibung und Bewertung von Technologien, die für die Schweizer Wirtschaft und Gesellschaft in den kommenden Jahren¹ von Bedeutung sein werden, gehören für die SATW zu ihrem Grundauftrag in der Früherkennung. Als Resultat dieser Aktivitäten entsteht als zweijährliche Publikation der *Technology Outlook*, welcher 2021 bereits zum vierten Mal erscheint.

Der *Technology Outlook 2021* knüpft an die 2019-Ausgabe an. Die dort beschriebenen Technologien wurden in Bezug auf ihre technische Reife neu bewertet. Solche mit einem Zeithorizont von weniger als drei Jahren bis zur Produktreife wie die kontinuierlichen Fertigungsverfahren wurden ausgeschlossen. In Zusammenarbeit mit den beiden Früherkennungsgremien der SATW wurden zwölf neue, relevante Technologien identifiziert, die für die Schweiz von Bedeutung sein werden und dem anvisierten Zeithorizont von mindestens drei Jahren bis zur Produktreife entsprechen. Dazu gehören zum Beispiel die künstliche Photosynthese, Mikrobiota und Mikrobiome sowie mobile Roboter. Zusätzlich thematisieren zwei Beiträge allgemeine Aspekte der Digitalisierung: die selbstbestimmte Nutzung persönlicher Daten und das Vertrauen in digitale Produkte und Dienstleistungen. Der *Technology Outlook 2021* stellt insgesamt 45 Technologien und Anwendungsgebiete vor.

In der Publikation wird jeder Technologie ein Icon zugeordnet. Die Sammlung aller Icons befindet sich im Klappentext hinten.

Für die aktuelle Ausgabe hat die SATW erneut quantitative Angaben zu den einzelnen Technologien erhoben und die Quadrantendarstellung weitergeführt. Somit können erstmals Trends für die Technologien aufgezeigt werden. Haben einzelne Technologien an volkswirtschaftlicher Bedeutung gewonnen? Hat sich für gewisse Anwendungen die Forschungskompetenz in der Schweiz erhöht? Oder gibt es gar «Absteiger»? Dank kontinuierlicher Datenerhebung im Bereich der Social Media ist auch erstmals eine Trendanalyse auf internationaler Ebene möglich.

Die im *Technology Outlook* präsentierten Technologien wirken zusammen und ermöglichen so die Umsetzung umfassender Technologietrends. Deshalb präsentiert der aktuelle *Technology Outlook* neu 13 Technologietrends, die in der Öffentlichkeit stark beachtet werden. Darunter sind umfassende Themen wie Kreislaufwirtschaft, künstliche Intelligenz oder Smart Cities. Der *Technology Outlook* erklärt die Begriffe, lotet das Potenzial für die Schweizer Wirtschaft und Gesellschaft aus und stellt eine direkte Verbindung zu den einzelnen Technologien her. Es wird sichtbar, welche Technologien als Treiber für die Entwicklung eines Trends wirken oder, umgekehrt, welche Technologien von der fortschreitenden Entwicklung eines Trends profitieren.

Die Publikation startet breit mit dem internationalen Technologievergleich und fokussiert dann auf die Bedeutung der einzelnen Technologien für die Schweiz. Im abschliessenden Kapitel «Technologietrends» gibt der Bericht nochmals einen breiteren Überblick.

Dr. Claudia Schärer, die Projektleiterin des *Technology Outlooks*, bedankt sich bei den zahlreichen Autorinnen und Autoren, ohne deren Einsatz, Geduld und Fachwissen eine Publikation dieser Ausführlichkeit und Tiefe nicht möglich wäre. Ihnen, liebe Leserinnen und Leser, wünschen wir eine spannende Lektüre mit einem hoffentlich hohen Erkenntnisgewinn. Über Rückmeldungen freuen wir uns jederzeit!

¹ Technology Readiness Level 4–7, Produktreife in 3–5 Jahren. Details dazu finden sich im Kapitel Methodik ab Seite 22.

Europäische Trends und Vergleich mit der Schweiz

Im Wandel der Zeit

Technologien im internationalen Vergleich: Was im *Technology Outlook 2019* nur als Momentaufnahme für das Jahr 2018 möglich war, kann in der aktuellen Ausgabe als Trendanalyse präsentiert werden. Welches sind die Top-Technologien in Europa? Welches sind die «Aufsteiger» seit 2018? Welches die «Absteiger»?

Seit drei Jahren verfolgt die SATW die Diskussionen auf den offiziellen Social-Media-Kanälen von 1'300 europäischen Hochschulen. Twitter ist dabei der am häufigsten genutzte Kanal. Mit der Suchmaschine LinkAlong (<https://linkalong.com>) werden die offiziellen Twitter-Kanäle der europäischen Hochschulen nach spezifischen Begriffen durchsucht und ausgewertet. Bewusst wird auf die offiziellen Kommunikationskanäle der Hochschulen fokussiert, sodass der Datensatz vornehmlich aus Quellen mit hoher Relevanz und Glaubwürdigkeit stammt.

Für die Analyse der europäischen Trends wurden die Daten von sieben Ländern berücksichtigt. Dies sind die Nachbarländer der Schweiz – Deutschland, Frankreich, Italien und Österreich – sowie drei für die Schweiz relevante Vergleichsländer – Grossbritannien, Niederlande und Schweden. Die Daten für die Schweiz werden separat präsentiert und sind dementsprechend im Datensatz der europäischen Länder nicht enthalten. Die Suchbegriffe zu den Technologien wurden im Vergleich zum *Technology Outlook 2019* überarbeitet und alle Daten für die Jahre 2018, 2019 und 2020 neu erhoben und analysiert. Aus diesem Grund lassen sich die Ergebnisse aus der aktuellen Publikation nicht direkt mit denjenigen aus der 2019-Ausgabe vergleichen, sind aber in sich konsistent. Aufgrund der Corona-Krise sind die Daten aus dem Jahr 2020 mit einem gewissen Vorbehalt zu interpretieren, da die Anzahl Posts zu den im *Technology Outlook* beschriebenen Technologien 2020 rückläufig war.

Abbildung 1 (auf Seite 8) zeigt, wie sich die Diskussion zu den europäischen Top-Ten-Technologien zwischen 2018 und 2020 entwickelt hat. Zusätzlich zeigt die Abbildung auch die Entwicklung von Bioplastik und damit jener Technologie, die die stärkste Zunahme an Posts zwischen 2018 und 2020 ausserhalb der Top Ten zeigt.

Unter den Top Ten sind auffallend viele Technologien aus dem Forschungsfeld Digitale Welt. Nur zwei Technologien, additive Fertigung und Photovoltaik, entstammen anderen Forschungsfeldern. Einerseits zeigt dies, dass gerade digitale Technologien öffentlichkeitswirksame Themen sind. Andererseits sind die aufgeführten digitalen Technologien sogenannte Enabling-Technologien, von deren Weiterentwicklung zahlreiche Anwendungsfelder profitieren.

Dominierten 2018 Analyse von Big Data, Augmented Reality und Blockchain die akademische Diskussion, hat die Intensität dieser Diskussion auf den Social-Media-Kanälen der europäischen Hochschulen etwas abgenommen. Die höchste Aufmerksamkeit erreichte 2020 die additive Fertigung. Der Prozentsatz der Posts mit Bezug auf die additive Fertigung hat sich in den letzten drei Jahren fast verdoppelt. Die Beiträge im Jahr 2020 drehten sich mehrheitlich um Face Shields, Schutzwände aus Plexiglas und Beatmungsgeräte, die allesamt mit dem 3D-Drucker gefertigt werden können. Ganz offensichtlich nutzen auch Hochschulen die Gelegenheit, sich der Öffentlichkeit aktualitätsnah zu präsentieren. →

Über den QR-Code gelangen Sie auf unsere Website, wo Sie weitere Informationen zu den europäischen Trends finden.



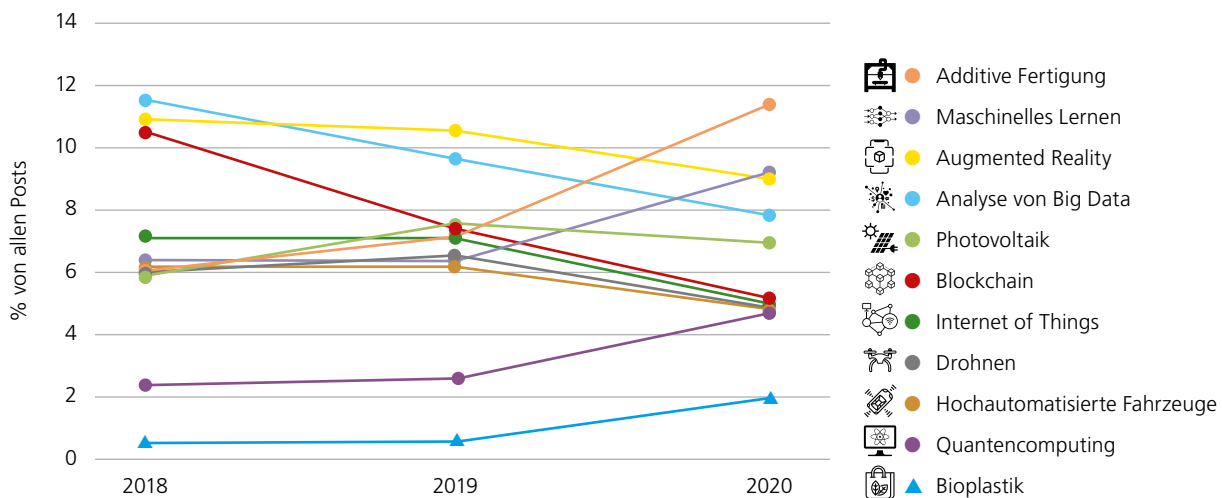


Abbildung 1: Trendanalyse 2018–2020 für die europäischen Top-Ten-Technologien

Die Abbildung zeigt, wie sich die Erwähnungen der Top-Ten-Technologien auf Social Media der Hochschulen in sieben europäischen Vergleichsländern entwickelt haben. Die Werte sind in Prozent angegeben und beziehen sich auf die Gesamtanzahl an Posts über die 43 besprochenen Technologien. Zusätzlich ist auch Bioplastik (als Dreieck) abgebildet, weil dieser in den letzten drei Jahren die stärkste Zunahme an Posts aufweist.

Die Themen Blockchain und hochautomatisierte Fahrzeuge haben im europäischen akademischen Diskurs an Aufmerksamkeit eingebüsst. Stark zugenommen haben hingegen die Tweets zu Bioplastik. Dies könnte die verstärkten Bemühungen der EU widerspiegeln, den Einsatz von Einwegplastik zu reduzieren und die Verwendung von natürlichen Biopolymeren zu fördern.²

An dieser Stelle bietet sich ein Vergleich mit der Schweiz an. Abbildung 2 zeigt die Trends für die Jahre 2018 bis 2020 für die Schweizer Top-Ten-Technologien. Wie schon in Abbildung 1 sind auch hier zusätzlich Technologien ausserhalb der Top Ten mit starken Trends abgebildet: synthetische Biologie mit der stärksten Zunahme, respektive Mobilitätskonzepte mit der stärksten Abnahme an Posts.

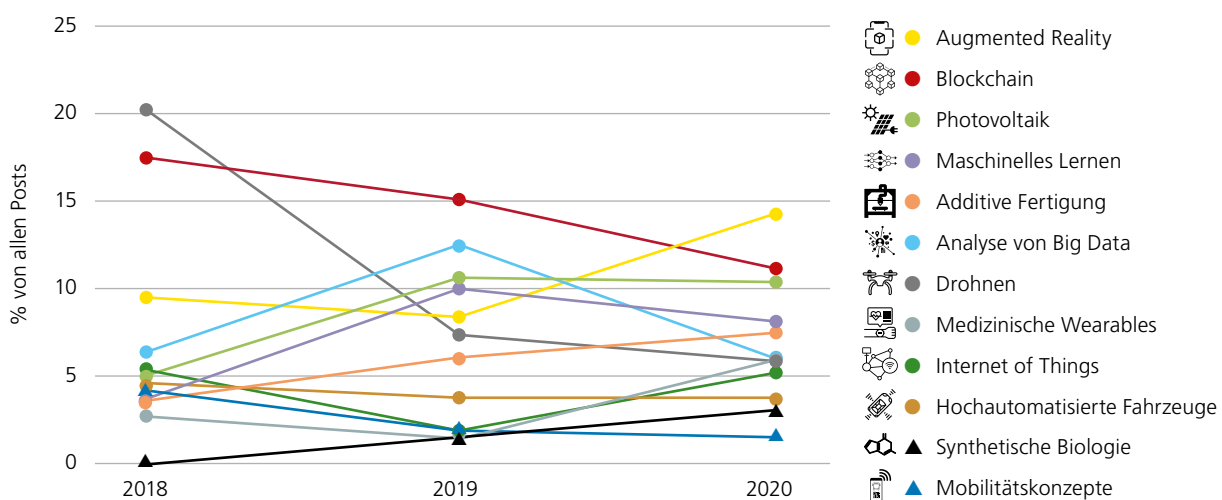


Abbildung 2: Trendanalyse 2018–2020 für die Schweizer Top-Ten-Technologien

Die Abbildung zeigt, wie sich die Erwähnungen der Top-Ten-Technologien auf Social Media der Schweizer Hochschulen entwickelt haben. Die Werte sind in Prozent angegeben und beziehen sich auf die Gesamtanzahl an Posts über die 43 besprochenen Technologien. Zusätzlich ist auch die synthetische Biologie mit der stärksten Zunahme und die Mobilitätskonzepte mit der stärksten Abnahme an Posts (jeweils als Dreiecke) abgebildet.

Im Vergleich zu 2018 zeichnet sich eine Verschiebung ab. Mobilitätskonzepte haben in der Schweiz an Aufmerksamkeit verloren und sind aus den Top Ten verschwunden. Dass dieser Abstieg nicht nur die akademische Diskussion betrifft, sondern auch die Bedeutung der Technologie für die Schweiz, zeigt der von Expertinnen und Experten konstatierte Umsatzrückgang, welcher sich in Abbildung 5 (auf den Seiten 14 und 15) im nachfolgenden Kapitel zeigt. Grund dafür ist das Scheitern nationaler Initiativen. Neu in den Top Ten sind die medizinischen Wearables. Fast die Hälfte der Posts im Jahr 2020 zu medizinischen Wearables ist auf Beiträge rund um Gesundheitsapps zurückzuführen. Eine deutliche, stetige Zunahme an Posts zeigt zudem die synthetische Biologie. Dies korreliert mit der Einschätzung der Expertinnen und Experten zum gesteigerten Marktpotenzial.

In der Schweiz dominieren 2020 Augmented Reality, Blockchain und Photovoltaik die akademische Social-Media-Diskussion. Verliep der Aufstieg von Photovoltaik in den vergangenen Jahren kontinuierlich, erstarkte Augmented Reality nach einer Konsolidierung im Jahr 2019 wieder. Anwendungen vor allem in Medizin, Bildung und Kunst werden thematisiert; industrielle Anwendungen fehlen in den Posts fast vollständig. Die Beiträge zu Photovoltaik sind thematisch breit und sprechen unter anderem Neuentwicklungen bei den Materialien, zusätzliche Einsatzgebiete und ökologische Aspekte an. Die Schweiz scheint, auch dank der zahlreichen akademischen und industriellen Forschungsgruppen, gut gerüstet zu sein, sich eine bedeutende Position in Nischenmärkten zu erarbeiten.

Auch in der Schweiz hat die Diskussionsintensität zu additiver Fertigung zugelegt. Die prozentuale Zunahme der Anzahl Posts im Bereich der additiven Fertigung ist in der Schweiz allerdings nicht ganz so ausgeprägt wie in den europäischen Vergleichsländern. Die Posts von Schweizer Hochschulen haben im europäischen Vergleich eine stärker industrielle Ausrichtung und diskutieren seltener Anwendungen im Zug der Corona-Krise.

Auch wenn Blockchain in der Schweiz noch immer deutlich intensiver diskutiert wird als im Mittel der europäischen Vergleichsländer, war der prozentuale Rückgang der Anzahl Posts seit 2018 stark. Es scheint sich eine gewisse Desillusionierung breit zu machen. Es ist auffallend, dass die Posts zu Blockchain vermehrt von Ökonominen und Ökonomen wie auch Juristinnen und Juristen verfasst werden. Drohnen haben in der Schweiz im akademischen Diskurs stark an Bedeutung verloren und sind in diesem Jahr auf Rang 7 abgerutscht. Gründe dafür sind die zunehmende Auslagerung der technologischen Entwicklungen an die von Hochschulabsolventinnen und -absolventen gegründeten Spin-offs und Start-ups,³ ein Generationenwechsel an den führenden Schweizer Hochschulen und deren verstärkte Ausrichtung auf Laufroboter.

² *Welcome to European Bioplastics*. Abgerufen 26. Februar 2021 von <https://www.european-bioplastics.org/>

³ Die Posts der Spin-offs und Start-ups werden in der Analyse nicht erfasst.

Vergleich der Schweiz mit Europa

Die Unterschiede zwischen der Schweiz und Europa lassen sich grafisch zeigen. Abbildung 3 vergleicht die relativen Häufigkeiten der Posts von Schweizer Hochschulen (horizontale Achse) mit den relativen Häufigkeiten der Posts von Hochschulen der sieben europäischen Vergleichsländer (vertikale Achse).

Die Darstellung lässt sich in vier Quadranten unterteilen. Im Quadranten oben rechts befinden sich jene Technologien, die sowohl in der Schweiz als auch in Europa intensiv auf den Social-Media-Kanälen der Hochschulen diskutiert werden. In diese Kategorie gehören nur Augmented Reality und maschinelles Lernen. Photovoltaik und insbesondere Blockchain im unteren rechten Quadranten werden in

Schweizer akademischen Kreisen deutlich intensiver diskutiert als in Europa, was sich gut mit der Klassierung der beiden Technologien in den Schweizer, aber nicht den europäischen Top Three deckt. Die additive Fertigung als einzige Technologie im oberen linken Quadranten hingegen wird in Europa häufiger diskutiert als in der Schweiz. Im linken unteren Quadranten befinden sich diejenigen Top-Ten-Technologien mit der geringsten Diskussionsintensität sowohl in der Schweiz als auch in Europa. Trotzdem lassen sich spezifische Unterschiede aufzeigen: So finden beispielsweise die in der Schweiz an Aufmerksamkeit gewinnenden medizinischen Wearables auf den Social-Media-Kanälen der europäischen Hochschulen deutlich weniger Beachtung. Eine Chance für die Schweiz?

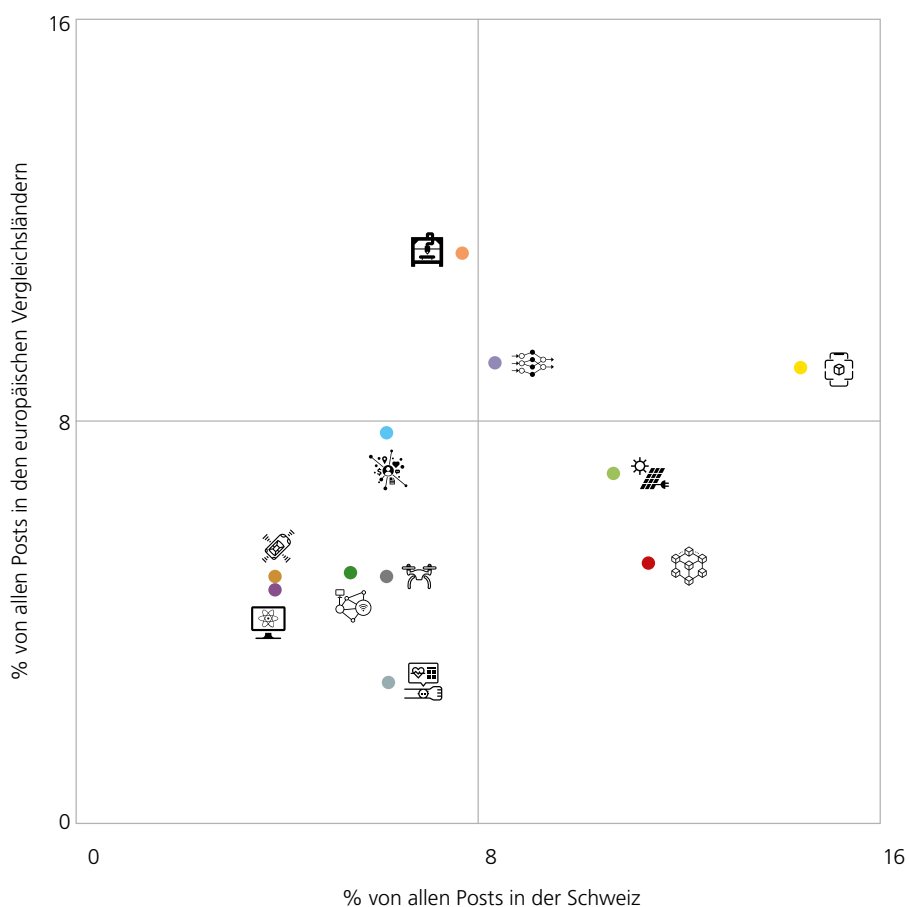


Abbildung 3: Vergleich der Schweiz mit sieben europäischen Ländern im Jahr 2020

Die Abbildung zeigt auf der horizontalen Achse die Erwähnungen der Top-Ten-Technologien auf Social Media der Schweizer Hochschulen; auf der vertikalen Achse gelten die Angaben für die sieben europäischen Vergleichsländer. Die Werte sind in Prozent angegeben und beziehen sich auf die Gesamtanzahl an Posts über die 43 besprochenen Technologien. Die Legende zu den Icons befindet sich im Klappentext hinten.

Ländervergleich

Es lohnt sich, die Daten für die europäischen Vergleichsländer aufzuschlüsseln und auf Länderebene zu vergleichen. Abbildung 4 (auf den Seiten 12 und 13) zeigt die Erwähnungen der Top-Five-Technologien und die Summe der restlichen Technologien in den Social-Media-Kanälen für die Schweiz und sechs der sieben ausgesuchten Vergleichsländer für das Jahr 2020. Für Schweden werden die detaillierten Daten nicht gezeigt, da die Anzahl Posts im Jahr 2020 im Vergleich zu den Vorjahren deutlich tiefer war und deshalb kaum fundierte Aussagen möglich sind.

Insgesamt kommen in den Top-Five-Technologien der sieben betrachteten Länder 13 verschiedene Technologien vor. Die Posts zu den Top-Five-Technologien machen jeweils rund 50 Prozent aller Posts aus. In Grossbritannien ist die additive Fertigung dominant und für 23 Prozent aller Posts verantwortlich; die Technologien auf dem zweiten Platz, Augmented Reality und Drohnen, erreichen je noch knapp 8 Prozent. In den anderen Ländern ist die Abnahme der relativen Häufigkeit eher graduell. Aus den Kreisdiagrammen wird die Bedeutung von Augmented Reality und des maschinellen Lernens offensichtlich. Beide Technologien sind in allen Ländern ausser in den Niederlanden (Augmented Reality fehlt) und Grossbritannien (maschinelles Lernen fehlt) in der Gruppe der Top-Five-Technologien. Auch die additive Fertigung ist in allen Ländern ausser in Italien und den Niederlanden unter den Top Five anzutreffen.

Es lohnt sich, einige länderspezifische Besonderheiten genauer anzuschauen. Photovoltaik belegt in den Niederlanden den ersten Rang und wird auch in der Schweiz auffallend häufig erwähnt. Überdurchschnittlich viele Posts stammen in der Schweiz von der EPFL, welche Photovoltaik-Forschung auf Weltklasseniveau betreibt. Posts von Forschenden in den Niederlanden beziehen sich unter anderem auf die Installation schwimmender Solaranlagen, da die verfügbare Fläche für Sonnenkollektoren in den Niederlanden sehr begrenzt ist.

Hochautomatisierte Fahrzeuge schaffen es nur in Deutschland und den Niederlanden in die Top Five. Das Ergebnis überrascht für Deutschland nicht; die Automobilindustrie ist ein bedeutender Wirtschaftszweig⁴. Die Bedeutung der Technologie in den sozialen Medien der niederländischen Hochschulen ist nur auf den ersten Blick überraschend. Im *KPMG Autonomous Vehicles Readiness Index* von 2019 belegten die Niederlande den ersten Platz – weit vor Deutschland⁵. Die Studie konstatiert, dass die Niederlande zusammen mit Singapur unter anderem in den Bereichen Infrastruktur und Bevölkerungszugang weltweit die besten Voraussetzungen für autonomes Fahren bieten. So thematisieren die Posts der niederländischen Hochschulen dann auch mehrheitlich die Interaktion von autonomen Fahrzeugen mit Menschen und anderen Verkehrsteilnehmern.

Auffallend ist die verhältnismässig hohe Anzahl Posts zu Quantencomputing in den Niederlanden und Österreich. Die niederländischen Hochschulen, allen voran die TU Eindhoven, thematisieren Materialentwicklungen genauso wie die mögliche Bedrohung der Datensicherheit durch Quantencomputer. In Österreich äussern sich hauptsächlich die Universitäten in Innsbruck, Linz und Wien zu Quantencomputern und decken vielfältige Aspekte von technischen Entwicklungen bis hin zu Erklärungen für die breite Öffentlichkeit ab.

In Österreich dominieren die Posts zu Blockchain die akademische Diskussion. Diese wird von mehreren Universitäten geführt und ist inhaltlich breit: Sie umfasst Entwicklungen in der Forschung und Fortschritte bei industriellen sowie wirtschaftlichen Anwendungen, aber auch Beispiele aus der Kultur.

Eine Beobachtung soll noch weiter ausgeführt werden: die hohe Diskussionsintensität zu Drohnen auf den Social-Media-Kanälen der Hochschulen Grossbritanniens. Eine in-

⁴ Bundesministerium für Wirtschaft und Energie – Automobilindustrie. Abgerufen 26. Februar 2021 von <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Textsammlungen/Branchenfokus/Industrie/branchenfokus-automobilindustrie.html>

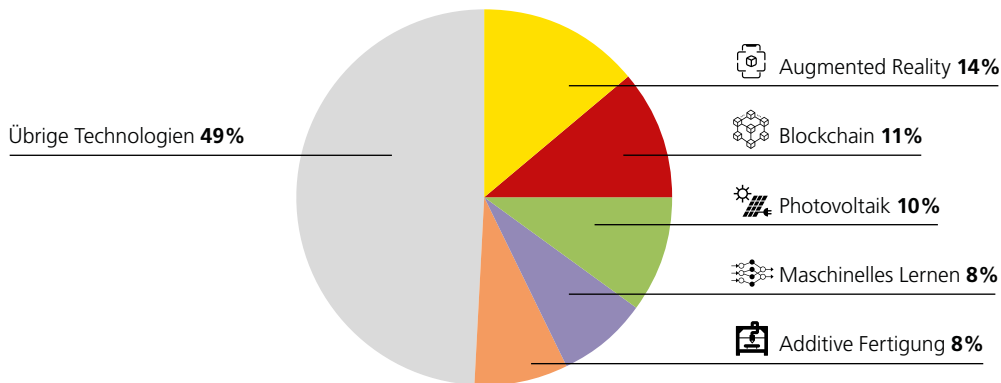
⁵ KPMG International (2019). *2019 Autonomous Vehicles Readiness Index*. Abgerufen 26. Februar 2021 von <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/xx/pdf/2019/02/2019-autonomous-vehicles-readiness-index.pdf>

haltliche Auswertung der Posts offenbart eine interessante Verbindung. Die Forschenden Grossbritanniens besprechen darin mögliche Einsätze von Drohnen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie, beispielsweise die Überwachung des Lockdowns oder die Desinfektion von grossen, öffentlichen Flächen aus der Luft.

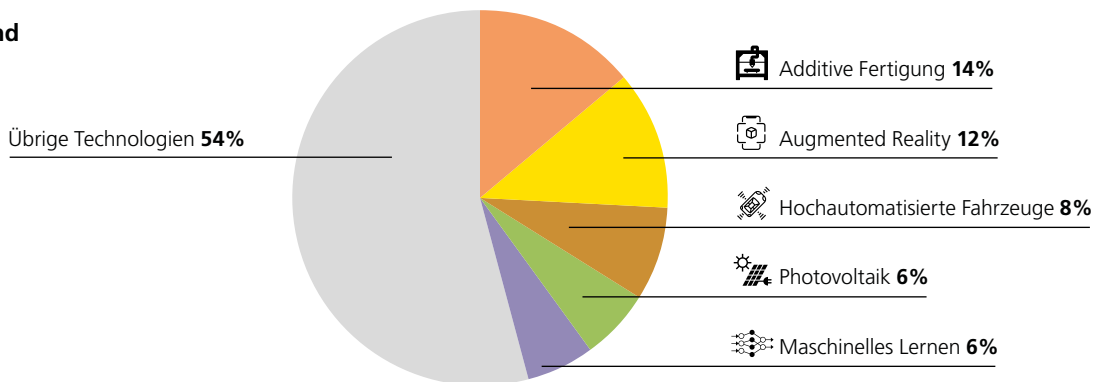
Die Daten vermitteln zeitnah einen Eindruck davon, in welchen Ländern wie intensiv über welche Technologien

diskutiert wird. Auch wenn die Daten keine direkte Aussage über die volkswirtschaftliche Bedeutung einer Technologie erlauben, zeigen sie doch die Forschungsaktivitäten der einzelnen Hochschulen und erlauben Rückschlüsse auf deren thematische Schwerpunkte. Eine solide Basis in der akademischen Forschung ist das Fundament für erfolgreiche industrielle Entwicklungen und entsprechend auch für die volkswirtschaftliche Bedeutung einer Technologie.

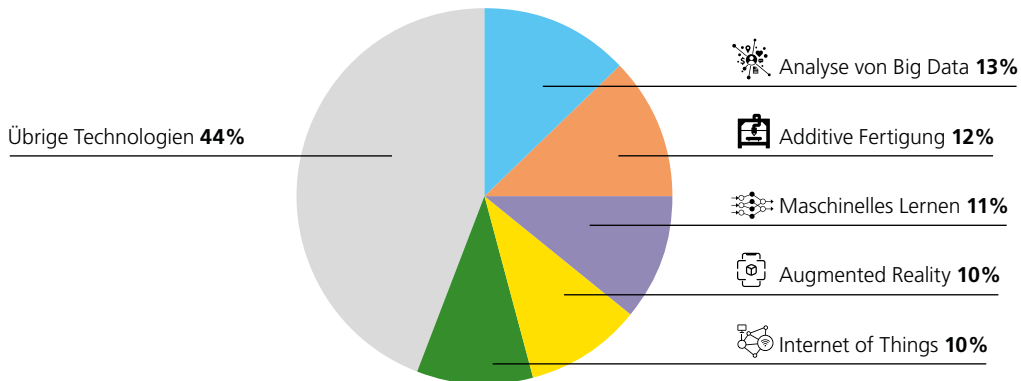
Schweiz



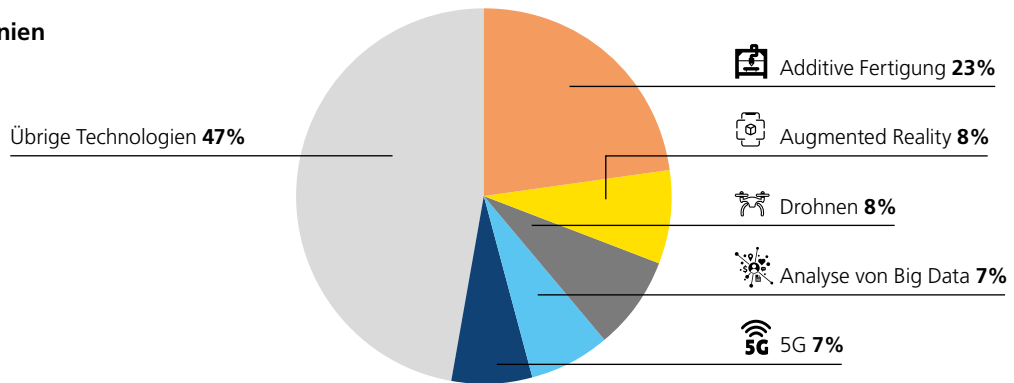
Deutschland



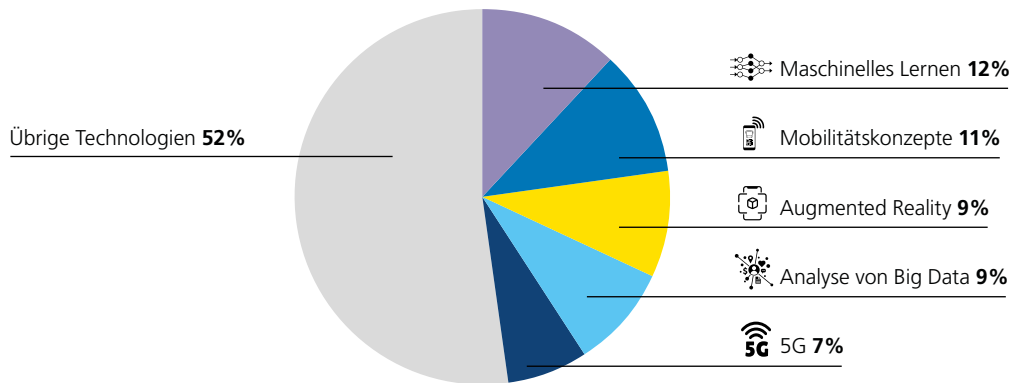
Frankreich



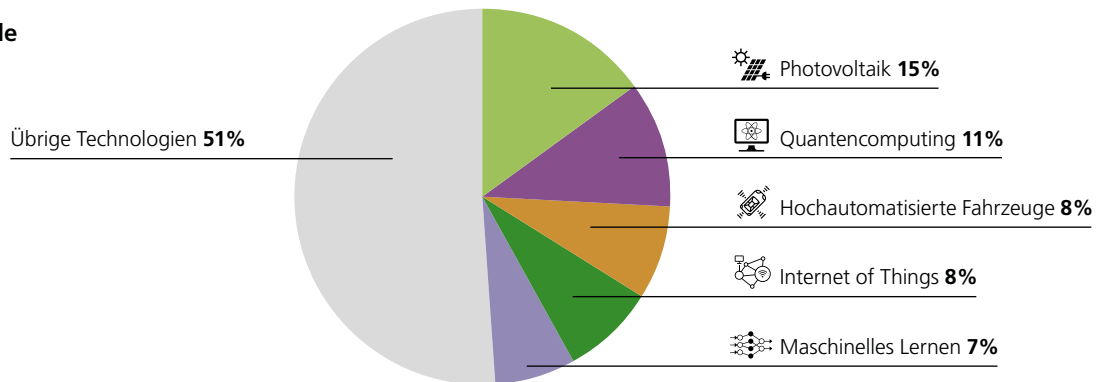
Grossbritannien



Italien



Niederlande



Österreich

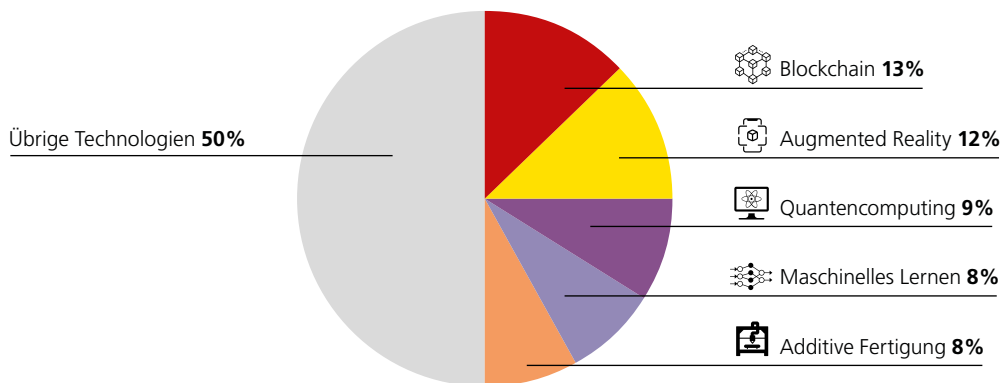
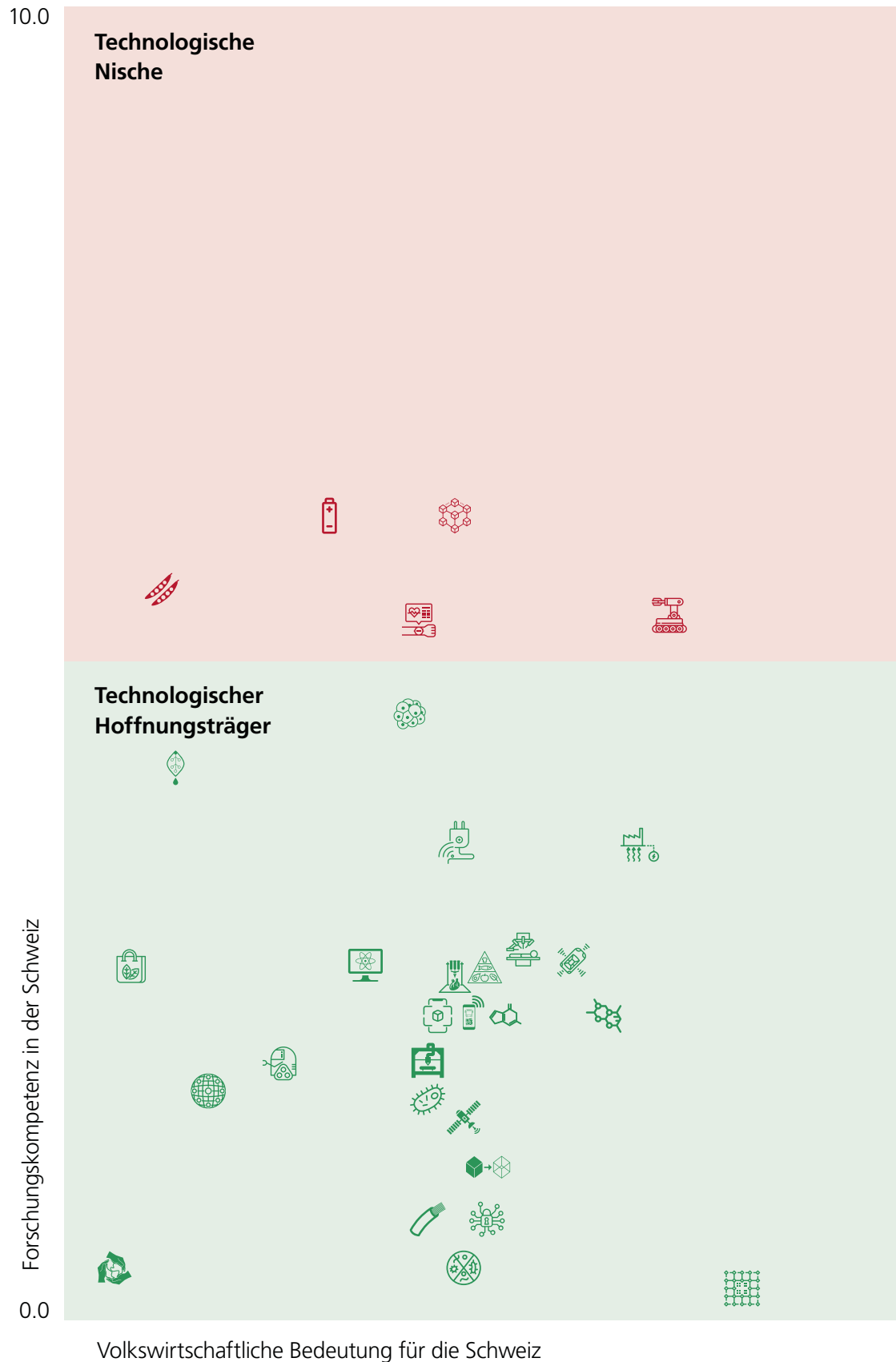


Abbildung 4 zeigt die relative Häufigkeit an Erwähnungen der Top-Five-Technologien auf den Social-Media-Kanälen für die Schweiz und sechs der sieben relevanten europäischen Vergleichsländer für das Jahr 2020. Gleiche Farbe bedeutet gleiche Technologie. Der schwach grau gefärbte Sektor erfasst alle anderen Technologien ausserhalb der Top Five. Die Sektorengrosse widerspiegelt die relative Häufigkeit der Posts zu den einzelnen Technologien im Verhältnis zur Gesamtanzahl an Posts pro Land mit Bezug zu den im *Technology Outlook 2021* thematisierten Technologien.

Bedeutung der Technologien für die Schweiz

**Abbildung 5:
Relative Bedeutung der
Technologien für die
Schweiz**

Die horizontale Achse zeigt die volkswirtschaftliche Bedeutung der Technologien für die Schweiz, die vertikale Achse die Forschungskompetenz in der Schweiz.⁶ Nicht in der Quadrantendarstellung abgebildet sind Digital Trust und Datensouveränität. Beide Themen behandeln eher den Einsatz digitaler Technologien in der Gesellschaft als spezifische Technologien. Die Legende zu den Icons befindet sich im Klappentext hinten.



⁶ Details zur Darstellung finden sich im Kapitel Methodik ab Seite 22.

Technologischer Star



Technologischer Selbstläufer



10.0

Über den QR-Code gelangen Sie auf unsere Website, wo Sie weitere Informationen zur Bedeutung der Technologien für die Schweiz finden. Vor allem können Sie dort auch mit Filtern Ihre eigene Auswahl treffen.



Die Abbildung 5 (auf den Seiten 14 und 15) im Stil einer Quadrantendarstellung kartiert die Bedeutung der Technologien für die Schweiz basierend auf der Schätzung von Expertinnen und Experten, Branchen- und Geschäftsberichten sowie eigenen Recherchen. Die horizontale Achse stellt die volkswirtschaftliche Bedeutung dar. Diese wird mit den vier Indikatoren Umsatz 2019, Marktpotenzial in den nächsten fünf Jahren, rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen und Akzeptanz in der Schweizer Gesellschaft gemessen. Die vertikale Achse zeigt die akademische und industrielle Forschungskompetenz in der Schweiz, ebenfalls basierend auf vier Indikatoren: Anzahl akademischer Forschungsgruppen und deren Kompetenz wie auch Anzahl industrieller Forschungsgruppen und deren Kompetenz. Die volkswirtschaftliche Bedeutung ist eine Momentaufnahme mit Blick in die nahe Zukunft. Sie basiert auf Zahlen, die sich auf das Jahr 2019 beziehen. Da eine Schätzung zur Entwicklung des Marktpotenzials in die Berechnung einfließt, macht sie auch eine Aussage über die kommenden drei bis fünf Jahre.

Die Abbildung ist in vier Quadranten mit unterschiedlicher Bedeutung der Technologien für die Schweizer Wirtschaft unterteilt: «Stars» oben rechts, «Selbstläufer» unten rechts, «Nischen» oben links und «Hoffnungsträger» unten links.

Im blauen Quadranten oben rechts sind acht Technologien zu finden, die als «Stars» gelten. Forschungskompetenz und volkswirtschaftliche Bedeutung sind hoch: Sie sorgen für hohe Umsätze bei heimischen Unternehmen und sind Grundlage von zahlreichen Arbeitsplätzen; auch die Forschung beschäftigt sich intensiv mit diesen Technologien.

Jene vier Technologien, die im gelb hinterlegten Quadranten unten rechts zu finden sind, können als «Selbstläufer» bezeichnet werden. Obwohl diese Technologien nur wenig beforscht werden, sind sie Grundlage von Produkten, die hohe Umsätze erwirtschaften. Die «Selbstläufer» sind reife und breit etablierte Technologien, deren Entwicklung derzeit eher langsam vorangeht. Womöglich wird es sich auszahlen, wenn in den Auf- und Ausbau von relevanten Kompetenzen investiert wird.

Im rot hinterlegten Quadranten oben links finden sich «Nischen». Diese fünf Technologien werden zwar intensiv beforscht, Industrie und Hochschulen verfügen über hohe Kompetenzen, dennoch kommt ihnen nur eine geringe volkswirtschaftliche Bedeutung zu. Erwartet wird, dass ein Teil der Nischen-Technologien zu «Stars» werden, sofern gute Rahmenbedingungen bestehen und Anwendungen basierend auf diesen Technologien den Markt durchdringen. Eine zentrale Voraussetzung dafür ist, dass Unternehmen innovative und nachhaltige Geschäftsmodelle entwickeln, die ein breites Anwendungsspektrum ermöglichen.

Im grün hinterlegten Quadranten unten links finden sich die «Hoffnungsträger». Die 26 Technologien in diesem Quadranten machen mehr als die Hälfte aller im *Technology Outlook* beschriebenen Technologien aus, was angesichts des im *Technology Outlook* betrachteten Technology Readiness Levels⁷ auch zu erwarten ist. Hoffnungsträger sind Technologien, bei denen sowohl die akademische und industrielle Forschungskompetenz als auch die volkswirtschaftliche Bedeutung noch als gering eingeschätzt werden. Diese Technologien bedürfen einer stetigen und genauen Beobachtung, da noch unklar ist, wie sie sich entwickeln.

⁷ Details zu den Technology Readiness Levels finden sich im Kapitel Methodik ab Seite 22.

Vier Forschungsfelder

Die im *Technology Outlook* aufgeführten Einzeltechnologien können den vier Forschungsfeldern Digitale Welt, Energie und Umwelt, Fertigungsprozesse und Materialien sowie Life Sciences zugeordnet werden. Tabelle 1 macht deutlich, dass ein gutes Drittel der in dieser Publikation

beschriebenen Technologien digitale Technologien sind. Dies unterstreicht erstens, dass auch die nächsten Jahre von der Digitalisierung geprägt bleiben werden, und zweitens, dass eine umsichtige Digitalpolitik notwendig bleibt.

| | «Stars» | «Selbstläufer» | «Nische» | «Hoffnungsträger» | Summe |
|---|---------|----------------|----------|-------------------|-------|
| Digitale Welt | 5 | 1 | 2 | 8 | 16 |
| Energie und Umwelt | 2 | 1 | 1 | 6 | 10 |
| Fertigungsprozesse und Materialien | 0 | 2 | 0 | 5 | 7 |
| Life Sciences | 1 | 0 | 2 | 7 | 10 |
| Summe | 8 | 4 | 5 | 26 | 43 |

Tabelle 1: Anzahl Technologien nach Forschungsfeld und Quadrant

Werden die Werte zur Bestimmung der Bedeutung der Einzeltechnologien gemittelt, zeigt sich, dass die durchschnittliche Forschungskompetenz der beschriebenen Technologien in den drei Forschungsfeldern Digitale Welt, Energie und Umwelt und Life Sciences deutlich höher ist als diejenige der Technologien aus dem Forschungsfeld Fertigungsprozesse und Materialien. Die Technologien aus dem Forschungsfeld Digitale Welt haben zudem im Mittel die höchste volkswirtschaftliche Bedeutung. Dies dürfte mitunter daran liegen, dass diesem Forschungsfeld zahlreiche Enabling-Technologien wie Analyse von Big Data und maschinelles Lernen entstammen, die im Quadranten der «Stars» verortet sind. Solche Enabling-Technologien sind Basis für zahlreiche Produkte und Dienstleistungen in unterschiedlichen Anwendungsfeldern.

Ein Drittel der in diesem *Technology Outlook* beschriebenen Technologien entstammen dem Forschungsfeld Digitale Welt. Diesen Technologien kommt im öffentlichen Diskurs viel Aufmerksamkeit zu. Der *Technology Outlook* macht aber deutlich, dass auch die weniger diskutierten Technologien aus den Forschungsfeldern Energie und Umwelt, Fertigungsprozesse und Materialien sowie Life Sciences von zentraler Bedeutung für eine nachhaltige und erfolgreiche Entwicklung der Industrie sind.

Neue Technologien in dieser Ausgabe

Zu den 31 bereits im *Technology Outlook 2019* thematisierten Technologien kommen zwölf neue hinzu. Diese insgesamt 43 Technologien sind in der Abbildung 5 (auf den Seiten 14 und 15) kartiert. Zusätzlich werden auch Digital Trust und Datensouveränität beschrieben. Auf eine Erhebung der Parameter wurde verzichtet, weil beide Themen eher Anwendungsmodalitäten als eine spezifische Technologie beschreiben. Die erstmalig im *Technology Outlook* beschriebenen Technologien sind im Klappentext hinten grau hinterlegt. Es sind dies: 5G-Anwendungen, alternative Antriebssysteme für Fahrzeuge, antimikrobielle Materialien, Internet of Things, künstliche Photosynthese, medizinische Wearables, Mikrobiota und Mikrobiome, mobile Roboter, Quantencomputer, die neuartige Internetarchitektur SCION, Recycling von seltenen Erden und wärmeleitende elektrische Isolatoren.

Der Grossteil der neu hinzugekommenen Technologien ist im Quadranten der «Hoffnungsträger» oder knapp im Quadranten der «Nischen» positioniert. Ausnahmen sind die alternativen Antriebssysteme für Fahrzeuge, die als «Selbstläufer» eingestuft sind, aber bei genauer Betrachtung eine etwas breiter gefasste Aktualisierung des Beitrags E-Mobilität des *Technology Outlooks 2019* darstellen⁸, wie auch der «Star» Internet of Things, der den Beitrag «Smart Home»⁹ der letzten Ausgabe ersetzt. Im Gegensatz zu Smart Home sind Internet-of-Things-Anwendungen auch für die Industrie von Bedeutung, was die hohe volkswirtschaftliche Bedeutung erklärt. Der breite Aufbau einer 5G-Infrastruktur macht 5G zu einer Enabling-Technologie mit potenziell sehr breitem Anwendungsspektrum. Deshalb und aufgrund der breiten, öffentlich geführten Debatte zu 5G wurden 5G-Anwendungen in diese Ausgabe des *Technology Outlooks* aufgenommen, auch wenn die Grundtechnologie dem Reifegrad des *Technology Outlooks* bereits entwachsen ist.

⁸ Vgl. *Technology Outlook 2019*, Seite 40

⁹ Vgl. *Technology Outlook 2019*, Seite 45

Wie haben sich die Technologien seit der letzten Ausgabe entwickelt?

Für die 31 Technologien, die sowohl in der letzten als auch in dieser Ausgabe beschrieben sind, bietet sich an, die Positionen der 2019-Ausgabe mit der Position in der gegenwärtigen Ausgabe zu vergleichen. Ein besonderes

Augenmerk verdienen jene Veränderungen, die durch die Einschätzung von Expertinnen und Experten gestützt werden. Die nachfolgende Grafik zeigt eine Auswahl davon auf.

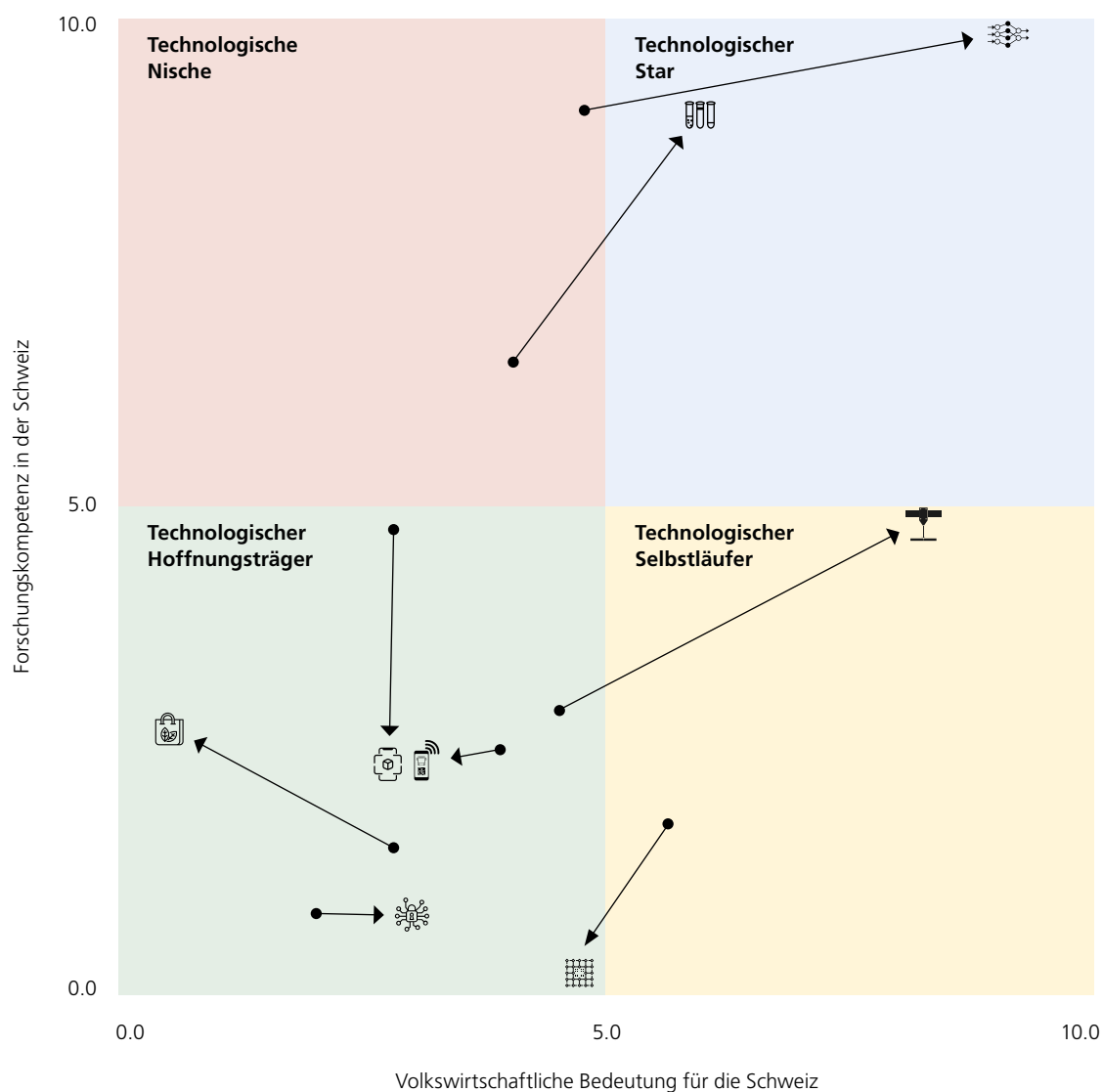


Abbildung 6: Vergleich der Jahre 2019 und 2021 für die Schweiz

Abgebildet ist eine Auswahl der Technologien, bei denen sich die Forschungskompetenz und/oder die volkswirtschaftliche Bedeutung gegenüber der 2019-Ausgabe signifikant verändert haben. Der Startpunkt der Pfeile (mit einem Punkt dargestellt) bezieht sich auf die Position im Jahr 2019 und das Icon am Ende auf die Position im Jahr 2021.

Positive Entwicklungen sind für maschinelles Lernen, photonische Fertigung und Point-of-Care-Diagnostik zu beobachten. Der Umsatz mit Anwendungen, die maschinelles Lernen nutzen, konnte in den beiden Jahren zwischen dem *Technology Outlook 2019* und *2021* verdoppelt werden, was dazu führte, dass die Technologie den Sprung von den «Nischen» zu den «Stars» schaffte. Interessanterweise widerspiegelt sich diese Entwicklung auch in den Social-Media-Posts der offiziellen Hochschulkonäle: Sowohl in der Schweiz als auch im Durchschnitt der sieben europäischen Vergleichsländer nahm die relative Häufigkeit der Posts zum Thema maschinelles Lernen markant zu. Die Umsätze mit Anwendungen der photonischen Fertigung haben sich in den letzten beiden Jahren ebenfalls verdoppelt. Somit wurde die photonische Fertigung nun als «Selbstläufer» an der Grenze zu den «Stars» eingestuft. Eine positive Entwicklung auf der volkswirtschaftlichen Achse ist auch für Quantenkryptografie festzustellen, denn es gibt unterdessen erste, auch für Quantencomputer nur schwer knackbare Verschlüsselungsprodukte und das Marktpotenzial wird entsprechend höher eingeschätzt als noch vor zwei Jahren. Ebenfalls positiv hat sich die Point-of-Care-Diagnostik entwickelt: Nicht nur die Forschungskompetenz, sondern auch die volkswirtschaftliche Bedeutung hat zugenommen, sodass diese Technologie nun zu den «Stars» gerechnet wird. Da die Datenerhebung nur bis zum Jahr 2019 geht, ist diese Entwicklung unabhängig von der Corona-Pandemie.

Eher unerwartet sind die Entwicklungen bei den Mobilitätskonzepten, Smart Grids und bei Augmented Reality. Die im Vergleich zur 2019-Ausgabe tiefer eingeschätzte volkswirtschaftliche Bedeutung der Mobilitätskonzepte ist auf einen Umsatzrückgang zurückzuführen, verursacht durch das Scheitern von zahlreichen Initiativen und Projekten in diesem Bereich. Dieses zeigt sich ebenfalls in einer Abnahme der Anzahl Social-Media-Posts der Schweizer Hochschulen. Smart Grids werden vermehrt von planbaren Energiezellen abgelöst, was sie zu einem sinkenden Stern macht. Im Fall von Augmented Reality ist

die Entwicklung weniger eindeutig. Da die Anzahl der Forschungsgruppen in unserem Modell ein zentraler Faktor bei der Ermittlung der Forschungskompetenz darstellt, wirkt sich eine Abnahme an Forschungsgruppen, wie sie in den vergangenen beiden Jahren bei der Technologie Augmented Reality stattgefunden hat, negativ auf den Wert der Forschungskompetenz aus. Die hohe Intensität, mit der Augmented Reality auf den Social-Media-Kanälen der Hochschulen diskutiert wird, deutet allerdings darauf hin, dass die Technologie keineswegs an Bedeutung verloren hat.

Eine gegenläufige Entwicklung von Forschungsintensität und Marktentwicklung zeichnet sich für Bioplastik ab. Zwar wurden die Forschungsanstrengungen intensiviert, doch stagnierte die tatsächliche Menge an verwendetem Bioplastik in absoluten Zahlen, sodass bei steigendem Plastikverbrauch der Anteil von Bioplastik am gesamten Plastikvolumen rückläufig ist. Dies lässt sich als ein deutliches Zeichen für ein rückläufiges Marktpotenzial begreifen, weshalb die volkswirtschaftliche Bedeutung von Bioplastik trotz gesteigerter Forschungskompetenz massiv tiefer eingeschätzt wurde als noch vor zwei Jahren.

Umgekehrt gibt es auch Technologien, deren Positionen sich verschoben haben, ohne dass nach Ansicht der Expertinnen und Experten eine Entwicklung im Markt oder in der Forschungskompetenz feststellbar ist. In einigen Fällen ist dies darauf zurückzuführen, dass die Technologie und ihre Beschreibung breiter, respektive enger gefasst wurden. Dies wirkt sich direkt auf die Anzahl der relevanten Forschungsgruppen und die Umsatzschätzung aus: Connected Machines wurden breiter und dezentrale Energiesysteme enger gefasst. In anderen Fällen liegt der Grund für die Positionsveränderung von Einzeltechnologien in der Neueinschätzungen der Parameter durch neue Expertinnen und Experten. Dies ist der Fall bei Geothermie, beim digitalen Zwilling und bei der Massenkultivierung von Stammzellen. Dennoch sind die Parameterschätzungen über die Technologien hinweg konsistent.

Zusammenfassung

Die drei Technologien mit der höchsten volkswirtschaftlichen Bedeutung für die Schweiz sind: Internet of Things, Connected Machines und Analyse von Big Data. Alle drei Technologien sind Produkte der Digitalisierung, welche die Digitalisierung der Industrie weiter vorantreiben werden. Ferner ist diesen gemein, dass sie in den letzten Jahren auch für KMU immer erschwinglicher wurden. Von zentraler Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz sind Rahmenbedingungen, die es KMU erlauben, solche Technologien vermehrt zu nutzen, um Qualität oder Effizienz zu steigern.

Die vier Technologien mit der höchsten Forschungskompetenz in der Schweiz sind: maschinelles Lernen, Point-of-Care-Diagnostik sowie punktgleich auf dem dritten Rang 5G-Anwendungen und Photovoltaik. Gelingt es, diese Kompetenzen noch besser in Geschäftsmodelle umzuwandeln, könnten zahlreiche Arbeitsplätze in unterschiedlichen Branchen geschaffen werden.

Seit der 2019-Ausgabe stieg die volkswirtschaftliche Bedeutung am deutlichsten bei den drei Technologien maschinelles Lernen, photonische Fertigung und Point-of-Care-Diagnostik. Bei allen drei Technologien konnten die hiesigen Forschungskompetenzen genutzt werden. Allenfalls lohnt sich eine vertiefende Analyse, wie und warum es bei diesen Technologien gelungen ist, Forschungskompetenz in volkswirtschaftliche Bedeutung zu übersetzen.

Den stärksten Zuwachs an Forschungskompetenz können die drei Technologien Point-of-Care-Diagnostik, photonische Fertigung und 3D-Biodruck verzeichnen. Die Zunahme bei der Forschungskompetenz gilt es in den kommenden Jahren auch für die Industrie nutzbar zu machen.

Damit ist maschinelles Lernen nicht nur Aufsteiger des Jahres, sondern auch über alles gesehen die höchst bewertete Technologie in dieser Ausgabe.

Methodik

Im Folgenden wird die dem *Technology Outlook 2021* zugrundeliegende Methodik beschrieben. Als Erstes wird dargelegt, wie die Auswahl an Technologien zustande kam. Im Anschluss wird das Vorgehen bei der Social-Media-Analyse beschrieben und erklärt, welche Daten dem Kapitel «Bedeutung der Technologien für die Schweiz» (ab Seite 14) zugrunde liegen.

Auswahl der Technologien

Für die Auswahl der Technologien ist der wissenschaftliche Beirat der SATW verantwortlich. In Zusammenarbeit mit den Leiterinnen und Leitern der Themenplattformen entstand eine provisorische Technologielliste. Der Reifegrad der Technologien auf dieser Liste und deren Bedeutung für die Schweiz wurden von Expertinnen und Ex-

perten bewertet. Schliesslich wurden nur Technologien mit einem Technology Readiness Level (TRL) von 4–7 und hoher Relevanz für die Schweiz auf die finale Technologielliste gesetzt. Der Technology Readiness Level ist ein Modell zur Beschreibung des technologischen Reifegrads.

| TRL | Umschreibung |
|-----|---|
| 1 | Beobachtung und Beschreibung des Funktionsprinzips |
| 2 | Beschreibung von Anwendungen einer Technologie |
| 3 | Nachweis der Funktionstüchtigkeit einer Technologie |
| 4 | Laborversuche |
| 5 | Feldversuche: Einsatz in der echten Umgebung |
| 6 | Prototyp in der Einsatzumgebung |
| 7 | Prototyp im Einsatz |
| 8 | Qualifiziertes, einsatzbereites System |
| 9 | Marktdurchdringung, Technologie hat sich bewährt |

Tabelle 2: Technology Readiness Level gemäss europäischem Forschungsprogramm Horizon 2020.

Social-Media-Analyse

Die SATW nutzt die semantische Suchmaschine der Schweizer Firma LinkAlong (<https://linkalong.com>), welche Social-Media-Kanäle wie Twitter, Facebook und Instagram sowie darin referenzierte Webseiten als Datenbasis nutzt. Mithilfe dieser Suchmaschine wurden alle Posts von offiziellen Social-Media-Kanälen der Hochschulen aus den Ländern Schweiz, Deutschland, Frankreich, Grossbritannien, Italien, Niederlande, Österreich und Schweden mit Bezug auf die einzelnen im *Technology Outlook* beschriebenen Technologien zusammengetragen und ausgewertet. Dazu wurde für jede der beschriebenen Technologien eine Liste mit Suchbegriffen angelegt, die die jeweilige Technologie eindeutig benennen. In diese Listen sind die Landessprachen der untersuchten Länder und unterschiedliche Namen für ein und dieselbe Technologie ebenso eingeflossen wie die verschiedenen, möglichen Schreibweisen. So kann bestimmt werden, wie häufig die verschiedenen Technologien auf den offiziellen Social Media der europäischen Hochschulen erwähnt werden. Da sich die Social-Media-Aktivität der Hochschulen in den verschiedenen Ländern stark unterscheidet, wurde für jede Technologie je Land die relative Häufigkeit bestimmt. Die Gesamtzahl aller Posts mit Bezug auf die im *Technology Outlook 2021* präsentierten Technologien wurde als 100 Prozent festgesetzt, sodass sich für jede Technologie ein prozentualer Anteilswert, die relative Häufigkeit, berechnen lässt.

Für die Zeitreihen (Abbildungen 1 und 2 auf der Seite 8) wurden nicht nur die Posts des Jahres 2020 ausgewertet, sondern auch jene aus den Jahren 2018 und 2019. Dies erlaubt, zu verfolgen, wie sich das Interesse an einer bestimmten Technologie über die Jahre verändert hat.

Zur Bestimmung des europäischen Mittels wurden die relativen Häufigkeiten über die sieben Länder gemittelt (Abbildung 1). Entsprechend stellt das europäische Mittel den Durchschnitt der sieben Anteilswerte dar. Diese Berechnungsmethode hat den Vorteil, dass die Anteilswerte aller Vergleichsländer gleich stark gewichtet sind. Denn die Hochschulen Deutschlands und Grossbritanniens sind auf den Social-Media-Kanälen deutlich aktiver als beispielsweise jene in Österreich und Schweden.

Die fünf häufigsten Technologien je Land wurden sodann in ein Kreisdiagramm je Land überführt, um daraus ein Länderprofil zu erstellen (Abbildung 4 auf den Seiten 12 und 13). Diese Anteilswerte lassen sich über die verschiedenen Länder vergleichen.

Bedeutung der Technologien für die Schweiz

Zur Ermittlung der Bedeutung der Technologien für die Schweiz und zur Konstruktion von Abbildung 5 (auf den Seiten 14 und 15) wurden für jede Technologie des *Technology Outlooks* acht Parameter abgeschätzt. Vier dienen zur Bestimmung der volkswirtschaftlichen Bedeutung und vier zur Bestimmung der Forschungskompetenz in der Schweiz. Die acht Parameter sind: weltweiter Umsatz von in der Schweiz ansässigen Firmen mit Produkten und Dienstleistungen im Jahr 2019, Marktpotenzial in den

nächsten fünf Jahren, rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen in der Schweiz, Akzeptanz in der Schweizer Gesellschaft, Anzahl relevanter akademischer Forschungsgruppen in der Schweiz, Kompetenz dieser akademischen Forschungsgruppen im internationalen Vergleich ausgedrückt mit dem durchschnittlichen h-Index¹⁰, Anzahl der Firmen in der Schweiz mit F&E-Aktivitäten zum Thema und deren Kompetenz im internationalen Umfeld. Die Wertebereiche wurden in ein Punktesystem überführt.

Umsatz 2019 (U), basierend auf Schätzungen von Expertinnen und Experten, Branchen- und Geschäftsberichten, statistischen Datenbanken und Internetrecherchen:

| | | | | | |
|---------------------------|-----|-------|---------|---------|---------|
| Wert (in Mio. CHF) | <10 | 10–99 | 100–499 | 500–999 | ≥ 1'000 |
| Punkte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Marktpotenzial in den nächsten fünf Jahren (M), basierend auf Einschätzung von Expertinnen und Experten:

| | | | | |
|---------------|-------|--------|-------|------------|
| Wert | klein | mittel | gross | sehr gross |
| Punkte | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 |

Rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen in der Schweiz (R_R), basierend auf Einschätzungen von Expertinnen und Experten:

| | | | |
|---------------|-----------|---------|---------|
| Wert | ungünstig | neutral | optimal |
| Punkte | 0.8 | 1 | 1.2 |

Akzeptanz in der Schweizer Gesellschaft (R_G), Einschätzungen von Expertinnen und Experten:

| | | | |
|---------------|---------|---------|----------|
| Wert | hemmend | neutral | fördernd |
| Punkte | 0.9 | 1 | 1.1 |

¹⁰ Der h-Index basiert auf den Angaben von ResearchGate. Die Werte wurden mit jenen von Google Scholar verglichen und dadurch plausibilisiert.

Anzahl relevanter akademischer Forschungsgruppen in der Schweiz (F_A), basierend auf Angaben von Expertinnen und Experten sowie eigenen Internetrecherchen:

| | | | | | |
|---------------|-----|-------|-------|-------|------|
| Wert | <10 | 10–19 | 20–39 | 40–49 | ≥ 50 |
| Punkte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Kompetenz der akademischen Forschungsgruppen (K_F), basierend auf dem durchschnittlichen h-Index der Forschungsgruppen in der Schweiz, die auf dem entsprechenden Gebiet aktiv sind:

| | | | |
|---------------|-----|-------|------|
| Wert | <20 | 20–34 | ≥ 35 |
| Punkte | 0.8 | 1 | 1.2 |

Anzahl Firmen in der Schweiz mit F&E zum Thema (F_I), basierend auf Angaben von Expertinnen und Experten, Branchen- und Geschäftsberichten sowie Internetrecherche:

| | | | | | |
|---------------|-----|-------|-------|-------|------|
| Wert | <10 | 10–29 | 30–69 | 70–99 | ≥100 |
| Punkte | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Kompetenz dieser Firmen im internationalen Umfeld (K_I), basierend auf Einschätzung von Expertinnen und Experten:

| | | | |
|---------------|--------|--------|------|
| Wert | gering | mittel | hoch |
| Punkte | 0.8 | 1 | 1.2 |

Überführung der Werte in die Quadrantendarstellung

Die ermittelten Werte wurden mittels folgender Formel in eine Position auf der horizontalen Achse (volkswirtschaftliche Bedeutung) überführt:

$$U * (M + R_r + R_g)$$

Die Gewichtung der Grössen in der Formel ist unterschiedlich. Der auf soliden Zahlen basierende Umsatz wurde als die wichtigste Grösse festgelegt, die anderen drei Werte modulieren den Umsatz. Der Einfluss des Marktpotenzials auf die Entwicklung des Umsatzes wurde als grösser eingeschätzt als derjenige der rechtlich regulatorischen Rahmenbedingungen und der gesellschaftlichen Akzeptanz. Diese Gewichtung liegt dem Punktesystem zugrunde und bestimmt damit die Überführung der Werte.

Die Position einer Technologie auf der vertikalen Achse (Forschungskompetenz in der Schweiz) ergibt sich aus der folgenden Formel:

$$F_A * K_A + F_I * K_I$$

Die Angaben zu der Anzahl akademischer und industrieller Forschungsgruppen wurden als die beiden bestimmenden Grössen festgelegt, deren Kompetenz jeweils als Modulatoren, was sich in der Überführung der Wertebereiche in das Punktesystem widerspiegelt.

Daraus ergeben sich Werte von 2.1 bis 19.5 für die horizontale und Werte von 1.6 bis 12 für die vertikale Achse. Zur Vereinfachung der Darstellung wurden die Werte linear so transformiert, dass der minimal mögliche Wert für beide Achsen 0.0, der maximal mögliche Wert 10.0 ist.

Technologien und Anwendungsgebiete

| | |
|---|-----------|
| Digitale Welt | 30 |
| 5G-Anwendungen | 31 |
| Analyse von Big Data | 32 |
| Augmented Reality | 33 |
| Blockchain | 34 |
| Connected Machines | 36 |
| Digitaler Zwilling | 37 |
| Drohnen | 38 |
| Hochautomatisierte Fahrzeuge | 39 |
| Internet of Things | 40 |
| Kollaborative Robotik | 41 |
| Maschinelles Lernen | 42 |
| Mobile Roboter | 43 |
| Neuartige Internetarchitektur SCION | 44 |
| Optical Space Communication | 45 |
| Quantencomputing | 46 |
| Quantenkryptografie | 47 |
| Energie und Umwelt | 48 |
| Alternative Antriebssysteme für Fahrzeuge | 49 |
| Dezentrale Energiesysteme | 50 |
| Geothermie | 51 |
| Künstliche Photosynthese | 52 |
| Mobilitätskonzepte | 53 |
| Nachhaltige Lebensmittelproduktion | 54 |
| Photovoltaik | 55 |
| Recycling von seltenen Erden | 56 |
| Smart Grids | 57 |
| Zukünftige Energiespeicherung | 58 |
| Fertigungsprozesse und Materialien | 60 |
| Additive Fertigung – Materialentwicklung | 61 |
| Additive Fertigung – Verfahren | 62 |
| Antimikrobielle Materialien | 63 |
| Bioplastik | 64 |
| Funktionale Fasern | 65 |
| Photonische Fertigung | 66 |
| Wärmeleitende elektrische Isolatoren | 67 |
| Life Sciences | 68 |
| 3D-Biodruck | 69 |
| Alternative Proteinquellen | 70 |
| Biokatalyse und Biosynthese | 71 |
| Massenkultivierung von Stammzellen | 72 |
| Medizinische Wearables | 73 |
| Medizinroboter | 74 |
| Mikrobiota und Mikrobiome | 75 |
| Personalisierte Ernährung | 76 |
| Point-of-Care-Diagnostik | 78 |
| Synthetische Biologie | 79 |
| Technik und Gesellschaft | 80 |
| Datensouveränität | 81 |
| Digital Trust | 82 |

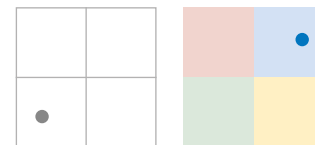


Digitale Welt



5G-Anwendungen

Gregor Dürrenberger (FSM – Forschungsstiftung Strom und Mobilfunk)
und **Christian Grasser** (ASUT)



5G – also die fünfte Generation des Mobilfunks – ist eine Plattform, die an ganz unterschiedliche Kundenbedürfnisse angepasst werden kann. Im Vergleich mit den bisherigen Standards erlaubt 5G, mehr mobile Daten rascher und sicherer zu übertragen, und er ist in Bezug auf Reaktionszeiten und Anzahl gleichzeitiger Verbindungen deutlich leistungsfähiger. Die Übermittlung der gleichen Datenmenge verursacht also weniger Strahlung und einen geringeren Energieverbrauch als frühere Generationen. Neu ist zudem, dass bei 5G in der Regel adaptive Antennen eingesetzt werden. Diese strahlen nicht kontinuierlich in alle Richtungen, sondern nur dorthin, wo das Signal genutzt wird, also nur zu jenen Geräten, die Daten versenden oder empfangen.

So sieht es heute aus

5G-Netze werden in der Schweiz seit Anfang 2019 aufgebaut. Ein wesentlicher Treiber ist der wachsende mobile Datenverkehr. Dadurch stossen die bestehenden Mobilfunknetze an ihre Kapazitätsgrenzen. Dazu tragen auch Umweltauflagen bei, welche Kapazität und Leistungsfähigkeit limitieren, sodass effizientere Technologien eingesetzt werden müssen, um das wachsende Datenvolumen bewältigen zu können. 5G ist eine klassische Enabling-Technologie, welche die infrastrukturelle Grundlage für eine breite Palette von Anwendungen darstellt. Als Plattform kann sie spezifischen Kundenbedürfnissen angepasst werden. Sie erlaubt z.B. neue Anwendungen zur drahtlosen Steuerung und zur Überwachung von Produktionsprozessen, zur Vernetzung von Sensoren und zum Austausch von Daten. Bei kritischen Infrastrukturen, etwa im Energiebereich oder in der Mobilität, die zunehmend über Mobilfunk gesteuert werden können, bietet 5G den Vorteil, dass solche Systeme in eigenen vom restlichen Mobilfunknetz abgeschotteten Anwendungen betrieben werden können, was deren Sicherheit deutlich erhöht. Zudem können Netzkapazitäten reserviert werden – was sie besonders für den Einsatz bei Blaulichtorganisationen und bei kritischen Unternehmensprozessen auszeichnet. Die Latenzzeit ist viel tiefer als bei früheren Standards, sodass Prozesse und Maschinen nahezu in Echtzeit gesteuert werden können. Die technische Grundlagenforschung beschäftigt sich mit neuen Übertragungsfrequenzen und entsprechenden Antennentechnologien. Fokus der angewandten Forschung ist die Integration der neuen Technologie in bestehende oder neu geschaffene betriebswirtschaftliche und informationstechnische Prozesse.

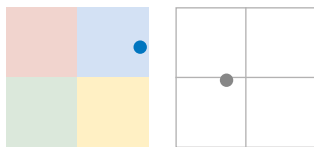
Internationale Vorreiter sind Südkorea und China. In der Schweiz sind 5G-Netze seit April 2019 in Betrieb. Im Juni 2020 haben zudem 14 EU-Staaten sowie Norwegen kom-

merzielle 5G-Netze in Betrieb genommen. Neben den USA und Südkorea gehört die Schweiz zu den weltweit ersten Ländern, in denen kommerzielle 5G-Dienste angeboten werden. In der Schweiz gibt es bereits eine Reihe von Pilotprojekten, beispielsweise in der Landwirtschaft (Smart Farming), der Maschinenindustrie (Industrie 4.0), bei der Breitbandversorgung und in der Steuerung von Zügen (*Smart-Rail 4.0*) oder im Tourismus. In Bezug auf Netzausbau gehört die Schweiz mit zur Weltspitze. Allerdings stehen restriktive Strahlenschutzvorschriften sowie Verzögerungen und Blockaden bei den Bewilligungsverfahren in Gemeinden und Kantonen dem flächendeckenden und leistungsfähigen Vollausbau entgegen und machen ihn im internationalen Vergleich sehr teuer.

Ein Blick in die Zukunft

Digitalisierung und Mobilfunk stehen ganz oben auf der europäischen Agenda und werden als eine notwendige Voraussetzung für Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit gesehen. Die EU hat sich zum Ziel gesetzt, bis Ende 2025 alle urbanen Gebiete und Verkehrswege durchgängig mit 5G-Empfang zu versorgen.

Anwenderunternehmen versprechen sich von 5G Wachstumspotentiale durch die Digitalisierung von Prozessen und Geschäftsmodellen. In der Industrie z.B. können zusätzliche Prozesse automatisiert werden, wodurch Produktionszeiten verkürzt und Ausfälle reduziert werden sollen. Ferner können Produktionsabläufe vermehrt just-in-time erfolgen und Produkte stärker individualisiert werden. Eine Studie der ASUT kommt zum Schluss, dass 5G-Technologien bis 2030 einen zusätzlichen Produktionswert von über 40 Milliarden Franken generieren, wobei rund 88 Prozent in den Anwenderbranchen anfällt. Gute politische Rahmenbedingungen für 5G sind eine Voraussetzung, um die weitere Digitalisierung zu befördern.



Analyse von Big Data

Alessandro Curioni und Patrick Ruch (IBM Research – Zurich)

Die Analyse von Big Data umfasst die Methoden und Technologien, die angewendet werden, um aus grossen vielfältigen Datenmengen praktisch umsetzbare Erkenntnisse abzuleiten. Fortschritte sowohl in der Kommunikations- und Datenverarbeitungsinfrastruktur als auch in der künstlichen Intelligenz (KI) erleichtern die Gewinnung weiterer geschäftlicher und technologischer Erkenntnisse aus Big Data. Bestimmte Sektoren wie Banken, Versicherungen, Pharma und verarbeitendes Gewerbe profitieren von dieser Entwicklung.

So sieht es heute aus

Big Data und KI sind heute noch enger miteinander verbunden und synergetischer geworden. Das globale Wachstum wird von Daten und KI-Diensten angetrieben, die über die Cloud bereitgestellt werden. Die Zukunft wird durch automatisierte, KI-gesteuerte Analysen geprägt, die kontinuierlich praktisch umsetzbare Erkenntnisse liefern. KMU können auf eine Reihe von Diensten zugreifen, die von Cloud-Anbietern bereitgestellt werden und die Einführung, die Anpassung und den Einsatz von KI-Technologien zur Big-Data-Analyse vereinfachen. Damit werden frühere Hindernisse bei der Rekrutierung oder internen Entwicklung von Fachkräften und bei Investitionen in die Infrastruktur abgebaut. In Bezug auf die aktuellen Herausforderungen haben Data Governance und Sicherheit auch weiterhin Priorität und werden zu wichtigen Entscheidungskriterien für Unternehmen, die kommerzielle Lösungen für die Big-Data-Analyse einführen möchten. Darüber hinaus fordern Kundinnen und Kunden Flexibilität in Bezug auf Cloud-Umgebungen und bemühen sich, eine Bindung an einen bestimmten Anbieter zu vermeiden. Strategien, die auf einer offenen Infrastruktur aufbauen, werden also immer häufiger.

Für die Schweiz gelten die Ergebnisse aus dem *Technology Outlook 2019* bis heute. Die grösste Branche in Bezug auf die Marktchance für Big Data ist das Bankwesen, welches dazu beigetragen hat, die Einführung von Technologien für die Big-Data-Analyse zu beschleunigen. Dabei ist erwähnenswert, dass ausgewählte Grossunternehmen in den Bereichen Einzelhandel, Telekommunikation und Transport eine Big-Data-Strategie für personalisierte Dienstleistungen und Kundenprofilierungen eingeführt und weiterentwickelt haben. Aktuell gibt es kaum Hinweise auf eine weit verbreitete Nutzung von Big Data in KMU.

Ein Blick in die Zukunft

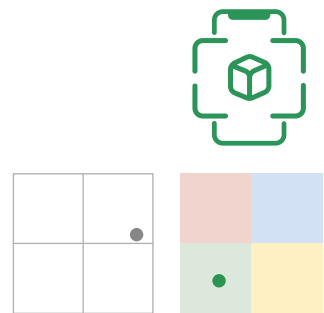
Die Kombination von Big Data und KI wird eine Schlüsselrolle für Initiativen zur digitalen Transformation spielen. Ein wichtiger Trend ist die erwartete Konvergenz von KI und Edge-Computing. Laut einer *Gartner*-Studie werden also immer mehr Datenanalysen am Ort der Erfassung durchgeführt – 50 Prozent im Jahr 2023 gegenüber 5 Prozent im Jahr 2019. Dementsprechend wird die Fähigkeit, Daten durch Edge-Computing zu verarbeiten, für die Entscheidungsfindung in Echtzeit, die Einhaltung von Datenschutzrichtlinien und die Skalierbarkeit von Infrastruktur unabdingbar. Ein anhaltender Trend sind die wachsenden Investitionen in öffentliche Cloud-Dienste zur Erhöhung der Flexibilität. Dieselbe Studie prognostiziert, dass 75 Prozent aller Datenbanken bis 2023 auf Cloud-Plattformen gehostet sein werden, was sich direkt auf Anbieter von Datenbankverwaltungssystemen auswirken wird. Im Allgemeinen werden Cloud-Umgebungen sehr heterogen sein und Unternehmen werden sich wahrscheinlich auf eine Mischung aus lokalen privaten Clouds, mehreren öffentlichen Clouds und älteren Plattformen verlassen müssen. Diese hybride Multicloud-Umgebung wird die Einführung von Containeranwendungen vorantreiben, die auf jeder Plattform ausgeführt werden können. Die Erfassung von Echtzeitdaten in Kombination mit Streaming-Analysen wird für die Entwicklung von Anwendungen, die in Echtzeit erfassen, analysieren und handeln, weiterhin an Bedeutung gewinnen. Ein grosses Hindernis bei der Einführung von Big-Data-Lösungen sind für viele Unternehmen geeignete Governance- und Sicherheitsmechanismen. Möglichkeiten zur Überwachung und Demonstration der digitalen Vertrauenswürdigkeit werden zu wichtigen Wirtschaftsgütern. Datensicherheit bleibt eine Priorität. Unternehmen müssen sich also im Zuge ihrer digitalen Transformation auf robuste Sicherheits- und Datenschutzpraktiken konzentrieren. →

In der Schweiz sehen sich KMU bei der Einführung neuer Technologien möglicherweise mit Qualifikationslücken und beschränkten Ressourcen konfrontiert. Hier besteht eine Chance für neue Datenverwaltungstechnologien, die manuelle und langwierige Aufgaben in den Bereichen Datenmanagement, Data Governance und Datenverwaltung automatisieren. Es werden hybride Cloud-Management-Plattformen entwickelt, um die Entwicklung und Bereitstellung von Big-Data-Anwendungen in Umgebungen zu vereinfachen,

in denen private On-Premise-Datenverarbeitungsressourcen mit Ressourcen aus einer öffentlichen Cloud kombiniert werden, wodurch Unternehmen jeder Grösse praktisch unbegrenzte Datenverarbeitungsressourcen zur Verfügung stehen. Diese Big-Data-«Zutaten» ermöglichen die Identifizierung aller wertvollen Datenquellen innerhalb eines Unternehmens, um schnell geschäftliche und technologische Erkenntnisse zu gewinnen. Die Investitionen werden sich weiter in Richtung Integrationsplattformen verlagern.

Augmented Reality

Andreas Kunz (ETH Zürich)



Unter dem Begriff Augmented Reality (AR) – oder besser Mixed Reality (MR) – versteht man die visuelle Überlagerung von realen Objekten mit computergenerierten (virtuellen) Informationen. Hinzu kommen vermehrt Anwendungen von Virtual Reality (VR), also das komplette Eintauchen in eine computergenerierte Welt. Typische Anwendungen dieser verschiedenen Technologien finden sich in Ausbildung und Lehre, in der Produktentwicklung und Produktion sowie in der Medizin. In der Schweiz setzen viele Unternehmen AR bereits erfolgreich ein.

So sieht es heute aus

In den letzten Jahren war auf dem Gebiet der Hardware-Entwicklung ein deutlicher Fortschritt zu spüren. Dies betrifft insbesondere die Erweiterung des Sichtfelds bei MR-Brillen wie der *HoloLens II* von *Microsoft*. Neue Geräte erlauben eine deutlich verbesserte Gestenerkennung, was zu einer optimierten Interaktion mit den virtuellen, eingeblendeten Objekten führt. Zudem wurde die Technologie zur Positionserfassung, welche für AR-Anwendungen zwingend erforderlich ist, deutlich verbessert und miniaturisiert. Ein Beispiel ist die halbleiterbasierte, mit dem Radar verwandte LiDAR-Technik, die bereits im *Apple iPad Pro 2020* kommerziell verfügbar ist. Mit zunehmender Darstellungsqualität entstehen bei der Interaktion mit virtuellen Objekten neue Herausforderungen. So möchte man diese dank verbesserter Gestenerkennung oder automatischer Positionserfassung im Vergleich zu heute natürlicher und erlebbarer machen.

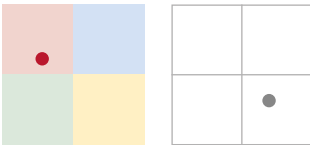
In der Schweiz haben sich in den letzten Jahren sehr viele Firmen etabliert, welche die Erzeugung von virtuellen Inhalten, deren Darstellung sowie Aspekte der Interaktion bearbeiten und hierzu Produkte anbieten. Zudem setzen immer mehr industrielle Anwender auf VR- und MR-Technologien, beispielsweise für Unterhalt oder Ausbildung und Schulung. Der Einsatz dieser neuen Technologien bei Schweizer KMU stellt allerdings eine Herausforderung für die Entwicklerinnen und Entwickler dar, da sich die Investition schon nach kurzer Zeit lohnen muss. In den letzten Jahren ist der anfängliche «Hype» einer gesunden Ernüchterung gewichen. Man hat erkannt, was die neuen Technologien zu leisten vermögen und wie man diese zielführend einsetzen kann. Dies hat zu einer gewissen Konsolidierung in deren Anwendung geführt. →

Ein Blick in die Zukunft

Die derzeit verfügbaren MR-Geräte sind für eine weite Verbreitung noch zu teuer. Es ist zu erwarten, dass es in den nächsten Jahren bei steigender technischer Leistung zu einem deutlichen Preisabfall kommen wird. MR wird zunehmend in der Anwenderschulung an realen Objekten (Fahrzeuge, Maschinen) sowie für Instandhaltung und Service eingesetzt werden.

Schweizer Firmen sind international gut aufgestellt und können dank verkürzter Entwicklungs- und Produktionszeiten künftig einen Technologievorsprung vorweisen.

Neben der Dienstleistung oder dem Produkt wird sich der digitale Zusatznutzen zum eigenständigen Merkmal und potentiell Marktvorteil entwickeln. Damit die Schweizer Firmen ihre jeweilige Spitzenposition bewahren können, braucht es innerhalb der Unternehmen eine genaue Problembeschreibung, sodass die Technologie konsequent ausgewählt und eingesetzt werden kann. Unternehmen sollten sich im direkten Gespräch mit Forschungsinstitutionen austauschen, mit Hochschulen gemeinsam Bachelor- und Masterarbeiten anbieten und Forschungsk Kooperationen anstreben, um frühzeitig über neue Technologien und Möglichkeiten informiert zu sein.



Blockchain

Thomas Puschmann (Universität Zürich)

Blockchains sowie Distributed Ledgers werden oft als «Technologien» bezeichnet. Genau genommen sind es jedoch Listen von kryptografisch verbundenen Datenelementen. Die Charakteristika von Blockchains und Distributed Ledgers sind die dezentrale Datenspeicherung und die Validierung mittels Konsensusmechanismen (z. B. Proof-of-Work und Proof-of-Stake), die Auditierbarkeit sowie die Persistenz. Grundsätzlich lassen sich die Formen «permissionless» (anonymer bzw. pseudonymer Benutzerkreis) und «permissioned» (bekannter, eingeschränkter Benutzerkreis) unterscheiden. Eine über die reine Datenstruktur hinausgehende Form sind sogenannte «Smart Contracts» mit semantisch interpretierbaren bzw. softwarelesbaren Inhalten, die automatische Transaktionen auslösen können.

So sieht es heute aus

Als neuer Erfolgsfaktor für Blockchain hat sich in den vergangenen Jahren die Standardisierung herauskristallisiert. So existiert derzeit ein Wettbewerb zwischen unterschiedlichen Blockchains wie *Ethereum* oder *Hyperledger* und es sind eine Reihe Protokolle entstanden, die teilweise nicht interoperabel sind. Deshalb arbeitet etwa das *World Wide Web Consortium (W3C)* an geeigneten Standards und Regeln, die auch die länderübergreifende Nutzung betreffen. Eine weitere Frage ist, wie die Privatsphäre der Nutzerinnen und Nutzer geschützt werden kann, wenn Pseudonyme durch Datenverknüpfungen deanonymisiert werden können. Weitere zentrale, bislang allerdings ungelöste Probleme sind der Proof-of-Work-Mechanismus sowie der hohe Energieverbrauch. Alternative Konsensusmechanis-

men zur Validierung von Transaktionen wie etwa Proof-of-Stake befinden sich noch immer im Forschungsstadium.

Die Schweiz beheimatet im «Crypto Valley» einige Start-ups von Weltruf. Darunter befinden sich fünf mit einem Wert von mehr als 1 Milliarde US-Dollar, also sogenannte «Einhörner»: *Bitmain*, *Dfinity*, *Ethereum*, *Libra* bzw. *Novi* und *Polkadot*. Geprägt ist die Schweizer Firmenlandschaft aber von jungen Start-ups, welche (noch) wenig Umsatz erwirtschaften. In der Schweiz wie auch international bilden sich viele Anwendungsbereiche heraus. Beispiele hierzulande sind etwa Smart-Contract-Lösung für Versicherungsverträge (*B3i*), Supply Chain Management für die pharmazeutische Industrie (*Modum*), Trade Finance (*UBS*)

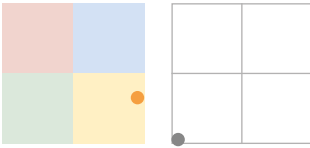
oder Konsortien wie die *Swiss Digital Trade Platform* mit *Novartis*, der *Schweizerischen Exportrisikoversicherung*, der *Schweizer Post*, der *Universität Zürich* sowie der *Zurich Insurance*.

Die Umsetzung dieser neuen Anwendungsbereiche ist eng mit mindestens drei Erfolgsfaktoren verknüpft, die sich seit 2019 positiv entwickelt haben: (I) Verfügbarkeit von Talenten und deren Ausbildung an den Hochschulen: Weitere Kurse wurden an Hochschulen eingeführt. (II) Ein gut funktionierendes Ökosystem aus Hochschulen, etablierten Akteuren und Start-ups mit gutem Zugang zu Risikokapital: Die Anzahl Start-ups hat sich auf 842 mit 4'400 Beschäftigten in der Schweiz und Liechtenstein erhöht. Mit *SEBA* und *Sygnum* sind erstmals zwei Unternehmen mit einer Banklizenz vertreten. (III) Ein flexibler regulatorischer und rechtlicher Rahmen: Der Nationalrat hat am 17. Juni 2020 einer innovationsfreundlichen Rechtsgrundlage für dezentrale Anwendungen und Geschäftsmodelle zugestimmt.

Ein Blick in die Zukunft

Generell bilden sich Blockchains und Distributed Ledgers mit ihren zugrundeliegenden Protokollen als neue Infrastruktur für die nächste Generation des Internet heraus («Internet of Value»). Dies hat nicht nur für IT-lastige Dienstleistungen wie die Finanzindustrie grosse Auswirkungen, sondern in Kombination mit dem Internet of Things auch für die Industrie, so etwa bei Stromerzeugung, -handel und -konsum. Mit Smart Meters und Solarzellen ausgestattete Häuser lassen sich intelligent steuern, indem digitale Währungen den Peer-to-Peer-Handel unterstützen und Smart Contracts den digitalen Handel und die Produktion vereinfachen. In der Schweiz wurde hierzu ein Konsortium im Rahmen der *Schweizerischen Normen-Vereinigung (SNV)* mit dem Namen *DLT-for-Power* gegründet. Ein weiterer wichtiger Anwendungsbereich sind sogenannte «Central Bank Digital Currencies» (CBDC), also von Zentralbanken emittierte digitale Währungen wie etwa ein digitaler Schweizer Franken. Für diesen Anwendungsbereich ist das von der *Bank für Internationalen Zahlungsausgleich* gegründete *BIS Innovation Hub* erwähnenswert.

Die bislang einzige «Killerapplikation» für Blockchain ist *Bitcoin*. Eine Vielzahl anderer Anwendungen befinden sich noch immer im Experimentierstadium. Mögliche Gebiete sind etwa Handel (*IBM* und *Walmart*), Logistik (*Maersk*), Verkehr (*Novotrans*) oder die öffentliche Verwaltung (Niederlande). Weitere Innovationspotenziale ergeben sich im Bereich der Nachhaltigkeit wie zum Beispiel bei der Rückverfolgbarkeit von Produkten, deren Bestandteilen sowie deren Produktionsbedingungen in der gesamten Lieferkette.



Connected Machines

Daniel Liebhart (ZHAW) und Philipp Schmid (CSEM)

Connected Machines (vernetzte Maschinen) gewährleisten eine hochautomatisierte, vernetzte und vorausschauende Produktion, eine Smart Factory also. Eine vernetzte Maschine ist intelligent und interaktiv. Sie erlaubt die flexible, effiziente und äusserst genaue Fertigung bis hin zur Losgrösse 1 und ermöglicht innovative Lösungen.

So sieht es heute aus

Für viele Hochlohnländer ist diese Technologie im internationalen Wettbewerb ein Schlüsselfaktor für Erfolg. Forschung und Entwicklung fokussieren deshalb auf die Themen Prozessoptimierung, Inline-Qualitätskontrolle, Konzepte für «Smart Maintenance», durchgängige Informationsflüsse, hohe Flexibilität der Fertigungsroboter und ihrer Greifarme sowie Nachhaltigkeit in der Produktion. Daraus resultieren zahlreiche entsprechende Anwendungen, die in grossen Firmen, in den Forschungszentren der Hochschulen und weiterer Forschungsinstitutionen sowie in KMU und Start-ups zur Marktreife gebracht werden können.

Die Herausforderung in der Schweiz besteht darin, aus diesen Innovationen so schnell wie möglich profitable Geschäftsmodelle zu machen. Es gibt punktuell Champions, die eine international führende Rolle einnehmen. Diese Schweizer Vorzeigeunternehmen sind aufgrund der hohen Qualifikation und Wettbewerbsfähigkeit wirtschaftlich bedeutend.

Ein Blick in die Zukunft

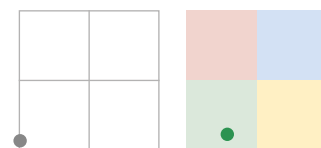
Die weltweite technologische Entwicklung begünstigt Smart Factories und Prozessautomatisierungen, da sich Rechenleistung, Netzwerkbandbreite und die Fähigkeit, komplexe Aufgabenstellungen mit Computern zu lösen, sehr rasch entwickeln. Unternehmen werden lernen, mit den damit einhergehenden Sicherheitsrisiken umzugehen. Es gilt, Innovationen in Zukunft mit Geduld und Sorgfalt schrittweise umzusetzen.

Die industrielle Fertigung in der Schweiz wird ihre Stellung im Weltmarkt aufgrund einer hohen Innovationsbereitschaft behaupten. Für vernetzte und smarte Maschinen in einer Smart Factory bedeutet «Swiss made», völlig neue Produkte zu entwickeln, aber auch bestehende Lösungen kontinuierlich zu verbessern. Um dies zu erreichen, sollte die angewandte Forschung fokussiert vorangetrieben und deren Förderung ausgebaut werden. Die Wirksamkeit der Smart Factory steigt mit dem Grad des Zusammenspiels zwischen Informatik, Maschinen- sowie Anlagenbau und Branchenfachwissen. Dies setzt eine gute Vernetzung, Koordination und Zusammenarbeit der klugen Köpfe in Forschung und Praxis voraus, damit die KMU als Rückgrat der Schweizer Wirtschaft optimal profitieren können.



Digitaler Zwilling

Andreas Kunz (ETH Zürich) und Daniel Schmid (ZHAW)



Beim digitalen Zwilling liegt das Hauptaugenmerk auf dem Abbilden realer Produkte oder Prozesse in der virtuellen Welt. Dies führt zu einem digitalen Schatten in der Produktion und im Betrieb. Dazu müssen Simulationsprogramme entwickelt, Fertigungsschritte verkettet und Daten aus dem «Product Lifecycle Management» mit jenen aus dem «Enterprise Resource Planning» verknüpft werden. Ein zentrales Anwendungsgebiet des digitalen Zwillings ist die Fertigung. Es bieten sich bei manuellen Arbeitsschritten neue Einsatzmöglichkeiten an, beispielsweise in der Mensch-Roboter-Interaktion und -Kooperation, in der Gestaltung des virtuellen Arbeitsplatzes oder von virtueller Schulung sowie in der Fernwartung. Neben der technischen Machbarkeit ist das Wahren der ökonomischen Balance zwischen Aufwand und Ertrag eine Herausforderung. Vieles ist möglich und ein durchdachtes Konzept wird im Unternehmen eine Effizienzsteigerung herbeiführen. Gegenteilig verhält es sich, wenn der Lösungsansatz falsch gewählt wird. Weiter ist das Augenmerk auf die Veränderungen für die Arbeitskräfte zu legen. Änderungen können zu Widerständen führen, die durch entsprechendes Change Management aufzufangen sind.

So sieht es heute aus

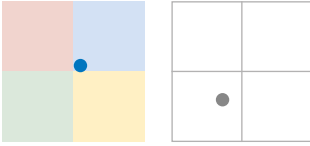
Während in anderen Ländern grosse Industrien wie die Automobilbranche eine Vorreiterrolle übernehmen, ist die von KMU dominierte Schweizer Industrielandschaft noch uneins. Einerseits wird der digitale Zwilling als Chance betrachtet, andererseits bilden die zu tätigen Investitionen eine grosse Hürde – eine Situation, die auch auf andere Nationen zutrifft. Beim Vergleich mit asiatischen Staaten ist festzustellen, dass vor allem in China der digitale Zwilling positiv wahrgenommen und stark unterstützt wird. In der Schweiz ist davon auszugehen, dass KMU nur dann einen Vorteil aus den mächtigen Konzepten rund um Industrie 4.0 und Smart Factory ziehen, wenn sie den Nutzen auf die menschlichen Akteurinnen und Akteure ausrichten und diese ins Zentrum der Aktivitäten stellen.

Ein Blick in die Zukunft

Die Möglichkeiten des digitalen Zwillings werden zu einer weiteren Digitalisierung der Industrie und zu steigender Komplexität in der Produktentwicklung führen. Produkte werden künftig ein Ebenbild in der virtuellen Welt besitzen und somit über höhere Funktionalität und Effizienz verfügen. Dies bedeutet eine Steigerung des Kundennutzens. Die steigende Komplexität ist aber auch eine Herausforderung. KMU müssen einen Weg finden, Wissen aufzubauen, um den digitalen Zwilling nutzbringend einzusetzen sowie ständig aktuell zu halten. Die Frage für KMU lautet, wie mit dem digitalen Zwilling Kundennutzen und interner Nutzen generiert werden können und welche Werkzeuge dafür einzusetzen sind. Genauso wie sein physisches Pendant deckt der digitale Zwilling den ganzen

Lebenszyklus mit Entwicklung, Herstellung und insbesondere Betrieb ab. Forschung und Entwicklung werden sich in den kommenden Jahren verstärkt mit dieser gesamtheitlichen Kette befassen. Eine Schwierigkeit ist, dass zwischen Produktentwicklung und -nutzen eine lange Latenzzeit besteht. Sollen zum Beispiel im Rahmen von Smart Maintenance datenbasierte Services angeboten werden, dann muss das Produkt bereits in der Entwicklung darauf ausgerichtet werden. Ein Unternehmen muss also künftig neben Daten für rein interne Zwecke wie Qualitätssicherung oder Prozessoptimierung auch Daten für solche Services erfassen. Die drängenden Fragen sind: «Wo werden Daten benötigt, die noch nicht erhoben werden?», aber auch «Wo werden Daten gesammelt, die keiner benötigt?». Die Antworten darauf weisen den Weg, um schlussendlich Gewinn zu erzielen.

Die Schweizer Industrie sollte das Potenzial des digitalen Zwillings ausloten. Die beschriebene Latenzzeit zwischen Produktentwicklung und -nutzen erfordert es, schnell Erfahrungen zu sammeln. Auch wenn nicht gleich das angestammte Geschäftsmodell geändert werden muss, sollten in den entsprechenden Tätigkeitsfeldern Wissen aufgebaut und erste Massnahmen ergriffen werden.



Drohnen

Roland Siegwart (ETH Zürich)

Professionelle Drohnen sind in der Kartografie sowie in der Vermessung und Überwachung aus der Luft stark verbreitet. Vermehrt werden sie auch in der Landwirtschaft zur Überwachung der Felder, bei Katastropheneinsätzen oder für Transportaufgaben eingesetzt.

So sieht es heute aus

Unter der Führung der *ETH Zürich* und der *EPFL* hat sich die Schweiz als Hotspot für Drohnentechnologie und Start-ups auf diesem Gebiet entwickelt. Sie ist führend in der Entwicklung neuer Konzepte sowie der nötigen Technologie zur autonomen Navigation im Freien und in Gebäuden. Drohnentechnologie ist auf dem Weg, sich als volkswirtschaftlich relevanter und schnell wachsender Vorzeigebereich der Schweizer Wirtschaft zu entwickeln, der auch vom *Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL* vorangetrieben wird. Kein Wunder ist die Drohnentechnologie in den meisten führenden Industrieländern auf dem Radar der vielversprechenden Technologien aufgetaucht. Kommerzielle Drohnen, speziell jene des Weltmarktführers *DJI*, werden immer autonomer und ihr Einsatz vermehrt sich in verschiedensten Bereichen. Die Anzahl verkaufter Drohnen deutet aber auf einen gesättigten Konsumentenmarkt hin. Dafür hat sich der professionelle Einsatz von Drohnen stark weiterentwickelt. Da Drohnen immer häufiger als sehr wichtige Zukunftstechnologie eingestuft werden, ist es zu einem kleinen Handelskrieg zwischen den USA und China gekommen: Die USA haben den Import chinesischer Drohnen stark eingeschränkt und fördern so die eigene Drohnenindustrie. Das bringt neue Risiken für Schweizer Drohnenhersteller, kann aber auch eine Chance sein. Die Regulierung für die Integration der Drohnen im öffentlichen Luftraum macht gute Fortschritte; in Europa ist die Schweiz führend.

Die hervorragende Stellung der Drohnenforschung in der Schweiz hat sich gut weiterentwickelt, die bestehenden Start-ups sind gewachsen und einige neue sind gegründet worden. Das *BAZL* plant, 2021 ein Online-Tool für die Integration von Drohnen im öffentlichen Luftraum zu lancieren. Damit wird es möglich sein, die geplante Flugroute und -zeit einzugeben und fast unmittelbar ein Okay zu bekommen. Dies wird den Schweizer Start-ups einen massgeblichen Marktvorteil verschaffen und ausländische Drohnenfirmen anziehen. Eine offene und klare Regulierung ist matchentscheidend für die optimale Entwicklung der Drohnenindustrie.

Ein Blick in die Zukunft

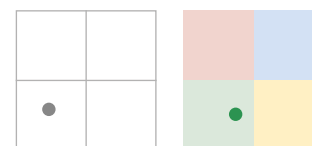
In den nächsten Jahren wird sich vor allem der Einsatz von Drohnen als professionelles Werkzeug weiterentwickeln. Bereits gut entwickelte Bereiche wie Landwirtschaft, Luftüberwachung oder Vermessung werden professionalisiert und Drohnenbetreibende werden neue Dienstleistungen anbieten. Der seit einigen Jahren gehegte Traum von Transportdrohnen wird sich langsam aber stetig entwickeln. Erste Anwendungsbereiche werden Lieferdienste oder medizinische Transporte in abgelegenen Gegenden sein. Der Massentransport mit Drohnen wird sich aber in dicht besiedelten Gebieten kaum durchsetzen können.

Die neueste Generation Drohnen kann nicht nur im freien Luftraum fliegen, sondern auch in Gebäuden eingesetzt werden und sogar in direkten Kontakt mit der Umgebung gehen. Damit erschliessen sich neue Anwendungsgebiete wie Inspektionen von Brücken oder Energieanlagen, bei denen der Sensor mit höchster Präzision in Kontakt mit der Infrastruktur kommen muss. Diese neuartigen Drohnen erschliessen also Einsatzbereiche, in denen heute mit Gerüsten, Kränen oder am Kletterseil gearbeitet werden muss. Auch in diesem Bereich ist die Schweiz mit dem Start-up *Voliro* führend. Neben den Technologien, die von entsprechenden Start-ups vorangetrieben werden, ergeben sich auch neue Marktchancen für Dienstleistungen mit Drohnen wie Luftaufnahmen für Immobilienfirmen, Landwirte und Infrastrukturbetreiber.



Hochautomatisierte Fahrzeuge

Bernhard Gerster (BFH) und Wolfgang Kröger (ETH Zürich)



Fahrzeuge mit bedingter Automatisierung verfügen über Assistenzsysteme, mit denen sie gewisse Fahraufgaben selber ausführen können (Stufe 3). In kritischen Situationen ist allerdings eine Übernahme durch die Lenkerin oder den Lenker vorgesehen. In einer Stufe hoher Automatisierung (Stufe 4) fährt das Fahrzeug selbständig in einem vorbestimmten Bereich von A nach B und versetzt sich bei Bedarf in einen risikoarmen Zustand. Erst auf Stufe 5 kann das Fahrzeug in allen Situationen die Fahraufgaben komplett übernehmen.

So sieht es heute aus

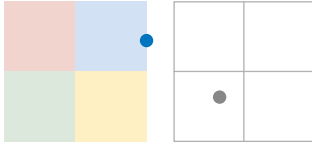
Die Entwicklung automatisierter Fahrzeuge schreitet schnell voran und ist getrieben von staatlichen und industriellen Förderprogrammen, wobei die USA und Giganten wie *Alphabet* oder *Baidu* sowie Kooperationen grosser Automobilkonzerne eine führende Rolle spielen. Europa hat mit der «Roadmap 2019» ehrgeizige Ziele: Personen- und Lastwagen auf Stufe 3 und gar 4 sollen schon bald breit verfügbar sein. Expertinnen und Experten dämpfen diese Erwartungen allerdings, auch wenn *Alphabet-Waymo* im November 2019 in Arizona ein selbstfahrendes Auto ohne Sicherheitsbegleiter getestet hat. Auf dem Weg zu Stufen 4 und 5 spielen fortgeschrittene Assistenzsysteme eine grosse Rolle, von denen einige gemäss EU-Sicherheitsrichtlinie ab 2022 für neue Modelle zwingend sein sollen. Allgemein geht man von einer sukzessiven Einführung aus, um jeweilige Erfahrungen zu nutzen. Entwicklerinnen und Entwickler fordern allerdings vermehrt, Stufe 3 oder 4 zu überspringen.

Die Entwicklung automatisierter Systeme für den Personen- und Güterverkehr ist vermehrt ein Forschungsschwerpunkt der *ETH Zürich*, der *EPFL*, Fachhochschulen und bei Entwicklerinnen und Entwicklern von Sensorik, Sicherheitsanalytik, Software und Spezialfahrzeugen (z. B. *Kyburz*). Die Schweiz spielt mit ihrer stark vernetzten Infrastruktur, hohen Mobilität und den Erfahrungen mit autonomen Pendelbussen eine zunehmend wichtige Rolle im Hinblick auf ein innovatives kollektives Mobilitätskonzept.

Ein Blick in die Zukunft

Während zunächst Fahrzeuge für den Individualverkehr im Zentrum standen, sieht man heute Fahrzeuge für spezielle Einsatzbereiche als Wegbereiter, so etwa langsame Lieferwagen, Pendelbusse und Taxiflotten ausserhalb der Innenstädte sowie im Pulk geführte Lastwagen («platooning»). Ein Mischverkehr aus traditionellen und selbstfahrenden Fahrzeugen bei Interaktion mit noch weiteren Verkehrsteilnehmern ist unvermeidlich und stellt grosse Anforderungen an die Planung. Als Zulassungsverfahren zeichnet sich für Europa, im Gegensatz zur Selbstzertifizierung in den USA, die bereits übliche Typengenehmigung ab. Noch offen ist, welches Sicherheitsniveau konkret zu erreichen und wie der Nachweis zu erbringen ist. Da testen unter realen Verkehrsbedingungen zu zeitraubend und teuer ist, sind alternative Wege zu beschreiten. Die Entwicklung kritischer Szenarien und die Prüfung zunächst auf Testständen und in gesonderten Bereichen stehen dabei im Fokus. Der Anfall enormer Datenmengen (8 Terabyte pro Auto und Stunde) und der Schutz der hochkomplexen Fahrzeuge vor Cyberattacken rücken als Herausforderungen immer stärker in den Vordergrund. Die Haltung der Öffentlichkeit ist ambivalent – hohe Erwartungen (bspw. Sicherheits- und Komfortgewinn) treffen auf fundamentale Bedenken (bspw. Kontrollverlust).

Auch wenn die Schweiz über keine Automobilindustrie und grossen Systemzulieferer verfügt, sollte sie auf den Zug aufspringen. Nicht nur kann sie technische Speziallösungen entwickeln, sie bietet sich auch als Testlabor für innovative Mobilitätskonzepte und neue Geschäftsmodelle an, welche im Entwicklungsstadium oder teilweise schon in Erprobung sind. Der Schweiz könnte so eine Vorreiterrolle zukommen, was angesichts eines sich abzeichnenden Milliardenmarktes hoch profitabel wäre.



Internet of Things

Felix Wortmann (Universität St. Gallen)

Das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) steht für die Vision, dass potenziell jeder physische Gegenstand mit dem Internet verbunden ist. Dadurch verschmelzen die physische und die digitale Welt. Dies ermöglicht völlig neue Produkte und Dienstleistungen. IoT fokussiert also nicht auf eine konkrete Technologie, sondern auf die allgegenwärtige Vernetzung von physischen Dingen. Konkrete Anwendungsbereiche sind zum Beispiel Smart City, Smart Home, Smart Manufacturing oder Smart Mobility. Ob hochautomatisierte Fahrzeuge, intelligente Häuser, medizinische Fitnessstracker oder vernetzte Produktionsanlagen: Die disruptive Kraft des IoT wird die Geschäftslogiken vieler Branchen fundamental verändern.

So sieht es heute aus

Zahlreiche IoT-Anwendungen wie RFID-Tracking in der Produktion oder die vernetzte Heizung im privaten Umfeld sind bereits seit Jahren Realität. Dennoch haben gerade produzierende Unternehmen, die ein gewichtiges Fundament der Schweizer Wirtschaft bilden, Schwierigkeiten, vom IoT zu profitieren. Das Digitalisierungsparadox beschreibt das weltweite Phänomen, dass trotz hoher Investitionen in die Vernetzung keine entsprechenden Erträge erwirtschaftet werden. In der Praxis steht das Thema Kundenproblem und Service-Innovation durch IoT im Mittelpunkt. Was zunächst einfach klingt, bedeutet für viele Unternehmen der produzierenden Industrie einen grundlegenden Kulturwandel. Hinter vorgehaltener Hand heisst es immer wieder: «Vernetzen können wir, aber das IoT wirkt über digitale Services – und wir haben einfach keine Service-Denke im Unternehmen». Die angewandte Forschung an Hochschulen und in der Industrie fokussiert sich daher zunehmend auf die Frage, wie sich die neuen technischen Möglichkeiten in betriebswirtschaftlichen Erfolg überführen lassen.

Ein Blick in die Zukunft

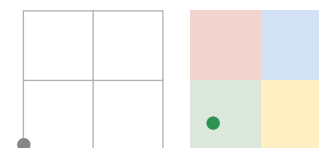
Das IoT entwickelt sich stetig weiter. Am Beispiel der vernetzten und hochautomatisierten Fahrzeuge wird ersichtlich, dass das IoT nicht isoliert betrachtet werden darf. Es gibt zwei weitere zentrale Technologien, die es zu berücksichtigen gilt: Einerseits die künstliche Intelligenz (KI), die aus vernetzten Objekten intelligente Objekte macht. Andererseits findet die Wertschöpfung immer stärker in dezentralen Ökosystemen statt. Dezentrale Plattformtechnologien wie die Blockchain ermöglichen es, dass Objekte sicher und direkt mit anderen Objekten kommunizieren – ohne einen zentralen Server zu nutzen. Vernetzte Objekte werden in Zukunft zunehmend autark und eigenständige Akteure.

Für die Schweiz ist die produzierende Industrie von zentraler Bedeutung. Hier hat das IoT weitreichende Auswirkungen. Nicht nur die internen Prozesse können durch die Vernetzung verbessert werden (Smart Factory), auch neue Produkte und Dienstleistungen (Smart Products) sind durch das IoT möglich. Es wird sich in den nächsten Jahren zeigen, ob die Schweizer Industrie die Chancen der Vernetzung konsequent nutzt und ihre starke Position verteidigt oder sogar ausbaut. Die Karten werden durch die Digitalisierung auf jeden Fall neu gemischt: Hochinnovative Unternehmen, vor allem auch aus Asien, drängen zunehmend auf den Markt. Das Beispiel *Tesla* mahnt eindrücklich, dass man sich seines heutigen Vorsprungs nicht zu gewiss sein darf. Letztendlich braucht es vor allem Mut, Pragmatismus und Unternehmergeist sowie eine entsprechende Risikobereitschaft, Neues zu probieren und umzusetzen.



Kollaborative Robotik

Max Erick Busse-Grawitz (maxon motor ag)



Roboter, die mit Menschen zusammenarbeiten, ihnen unangenehme oder stumpfsinnige Arbeiten abnehmen und auf diese Art den Produktionsprozess ökonomischer gestalten – ein Bedürfnis, das durch kollaborative Roboter, kurz Cobots, befriedigt werden kann. Die Technologie hinkt diesem Bedürfnis aber noch immer hinterher. Deshalb bleibt die kollaborative Robotik lediglich ein Hoffnungsträger.

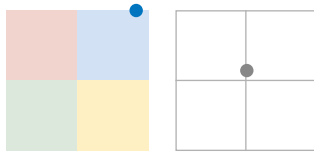
So sieht es heute aus

Der Begriff «kollaborative Robotik» ist in den Normen ISO 10218 and ISO 15066 griffig definiert und umfasst sporadische oder ständige Zusammenarbeit von Mensch und Roboter. Diese bedingen eine direkte und situative Interaktion: Entweder wird der Roboter langsamer, wenn er in den Arbeitsbereich des Menschen vordringt, oder die Roboteranwendung ist so sicher, dass Cobot und Mensch Hand in Hand arbeiten können. Die grosse Herausforderung ist, Roboteranwendungen gleichzeitig sicher und wirtschaftlich zu machen: Grosse Stückzahlen werden besser von dedizierten Automaten erledigt. Für kleine Stückzahlen ist die Instruktion eines Mitarbeitenden viel günstiger als die Programmierung eines Roboters. Bleiben also nur mittlere Stückzahlen, wo sich Automaten nicht lohnen und Produktionsmitarbeitende zu teuer wären. Das sind heute nur wenige Anwendungen; in den meisten Fällen wären Cobots zu teuer und zu langsam. Dies liegt an den Sicherheitsanforderungen und der verbesserungsfähigen technologischen Reife. Die allgemeinen Sicherheitsanforderungen sind unter anderem in den Normen ISO 13849 oder IEC 62061 sowie ISO 10218-1 und -2 enthalten und in der Norm DIN ISO/TS 15066:2017-04 für die kollaborativen Roboter ausgeführt. Letztere Norm basiert auf Lösungsansätzen, die in der akademischen Forschung bekannt sind, aber bis anhin kaum Eingang in die Industrie gefunden haben. Technologische Lücken gibt es bei der trägheitsarmen, schnellen Kraftkontrolle, bei den dazugehörigen impedanzbasierten Reglerstrategien und deren Umsetzung in einfach programmierbare industrielle Produkte. Fortschritte hingegen gab es in drei Punkten: Eine Kombination aus Sensor und Aktor trifft man in Form von intelligenten Greifern und intelligenter Roboterhaut an. Bei der Software gab es Fortschritte bezüglich der Benutzeroberflächen und auch die Programmierbarkeit ist einfacher geworden. Und es gibt inzwischen mehrere Hersteller, die integrierte Lösungen mit Cobots auf mobilen Plattformen anbieten.

Die Situation in der Schweiz bleibt unverändert: es gibt viele KMU mit kleinen Losgrößen, hoher Varianz und hohen Lohnstückkosten, die daher gute Voraussetzungen für den Einsatz der kollaborativen Robotik haben. Trotzdem finden kollaborative Roboter nur langsam ihren Platz in der Produktion, sowohl in der Schweiz wie auch international. Die Verkaufszahlen für Cobots sind zumindest in der Schweiz rückläufig, es hat eine gewisse Ernüchterung stattgefunden. Der Cobot ist nicht einfach ein intuitiv programmierbarer Arbeitskollegensersatz. Deshalb finden wir heute nach wie vor Cobots in Aufgaben mit niedriger Frequenz wie dem Be- und Entladen von Teilen aus Maschinen. Diese und weitere Aufgaben für Cobots fallen gemeinhin unter die «4D»: dull, dirty, dangerous, disallowed.

Ein Blick in die Zukunft

Interessant wird der Einsatz von Cobots in Zukunft, wenn ein Umdenken stattfindet und für Produkte und Produktionsinfrastruktur ein «Design for Automation» erfolgt. Dies kann zum Beispiel durch geeignete Formgebung und kameragerechte Markierung geschehen. Fakt ist, dass die Schlüsseltechnologien für einen produktiven Einsatz von Cobots zwar stetig, aber nur langsam voranschreiten. Fortschritte sind bei Greifern mit eingebauter Nachgiebigkeit und schneller Kraftmessung, bei der günstigeren und robusteren Objekterkennung und bei der intuitiven Programmierbarkeit zu erwarten. Für diese Themen sollten sich Gross- und Kleinunternehmen vor einem Kaufentscheid mit möglichen Forschungspartnern abstimmen, insbesondere mit den in der kollaborativen Robotik tätigen Fachhochschulen. Diese bieten griffige Ansätze, um Kosten zu reduzieren und die Robustheit des Produktionsprozesses zu erhöhen oder die Möglichkeit, anbieterneutral Roboter zu evaluieren. Langfristige Forschungsthemenkreise sind die intuitive aufgabenbasierte Programmierung und das Hand-in-Hand-Arbeiten von Robotern mit Menschen inklusive Absichtserkennung und entsprechend dynamischer Pfadanpassung.



Maschinelles Lernen

Alessandro Curioni und Patrick Ruch (IBM Research – Zurich)

Maschinelles Lernen ist eine Form der künstlichen Intelligenz (KI). Es ist der Prozess des Trainings eines Softwarealgorithmus unter Verwendung von Beispieldaten anstelle einer expliziten Programmierung. Algorithmen für maschinelles Lernen, die auf neuronalen Netzen basieren, haben zu spektakulären Durchbrüchen bei der Spracherkennung und -übersetzung sowie bei der Bilderkennung geführt. Die Kombination aus maschinellem Lernen und Big Data hat für verschiedene Branchen ein disruptives Potenzial.

So sieht es heute aus

In den letzten zwei Jahren wurden im maschinellen Lernen verschiedene innovative Fortschritte erzielt. Hierzu zählen beispielsweise Generative Adversarial Networks (GAN), die künstlich Videos oder Sprache produzieren und zu Fortschritten beim Verständnis der Ergebnisse von KI-Modellen beitragen. Es gibt jedoch verschiedene Einstiegsbarrieren wie angemessene Kompetenzen des Personals, Verständnis für den Geschäftsanwendungsfall und die Verfügbarkeit von Daten. Darüber hinaus sind auch bei den Tools, die maschinelle Lernmethoden bereitstellen, erhebliche Fortschritte zu verzeichnen – Cloud-Dienste vereinfachen, beschleunigen und steuern hier die Bereitstellung. Eine wichtige Herausforderung bleibt weiterhin der Aspekt des Vertrauens in maschinelles Lernen. Lösungen müssen sicherstellen, dass KI-Systeme frei von Verzerrungen sind, erklärbare Ergebnisse liefern, über ihre Lebenszyklen hinweg überprüft werden können sowie sicher und datenschutzfreundlich sind.

Die Schweiz nimmt eine Vorreiterrolle in der KI-Forschung ein und sollte daher eine führende Rolle bei der Zertifizierung von KI-Systemen, der Förderung einer unverzerrten KI und der Information der Öffentlichkeit über KI spielen. Das heisst, politische Entscheidungsträger müssen sich mit den Hauptproblemen im Zusammenhang mit Verzerrung, Ethik, Erklärbarkeit, Datenschutz und Sicherheit von KI befassen. 2019 veröffentlichte der Bundesrat eine Analyse der Herausforderungen und Empfehlungen zu KI in der Schweiz. Die Analyse unterstrich die Notwendigkeit der Bewältigung der oben aufgeführten Herausforderungen durch politische Entscheidungsträger. Es werden Initiativen benötigt, welche die Interaktion zwischen akademischen, wirtschaftlichen und politischen Anspruchsgruppen stärken. Mit der Definition spezifischer Handlungsfelder und Verantwortlichkeiten innerhalb der Schweiz wurde ein entscheidender

Schritt in Richtung einer breiten Einführung des maschinellen Lernens getan. Der Hype um KI-Technologien kann zu unrealistischen Erwartungen führen und letztendlich die Wahrscheinlichkeit eines Scheiterns von KI-Projekten erhöhen. Diesem Risiko muss durch die Festlegung einer informierten KI-Strategie auf Unternehmensebene entgegen gewirkt werden.

Ein Blick in die Zukunft

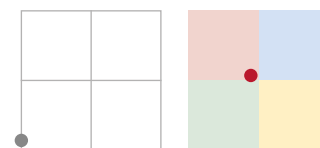
Es wird erwartet, dass die kontinuierliche Weiterentwicklung des maschinellen Lernens in der Cloud die Einführung von KI in Unternehmen vorantreiben wird, sodass sie maschinelles Lernen schnell integrieren und skalieren sowie von der flexiblen Nutzung von Datenverarbeitung und Entwicklung profitieren können. Die Bereitstellung von KI am Rand von Datenverarbeitungssystemen, wo Daten erfasst werden, hat ein disruptives Potenzial (Seite 32). Sie wird die Trainingseffizienz tiefer neuronaler Netze erhöhen, wodurch weniger menschliche Interaktion erforderlich wird. Sobald KI am Rand eingebettet ist, werden neue Anwendungsfelder wie intelligente Roboter, Drohnen und Maschinen freigegeben. Der durch maschinelles Lernen ermöglichte Automatisierungsgrad hat ein disruptives Potenzial für Geschäftsmodelle und Kostenstrukturen. Es wird erwartet, dass KI-gestützte Unternehmen bis 2024 50 Prozent schneller auf Kundinnen und Kunden, Wettbewerber, Aufsichtsbehörden und Partner reagieren als andere Unternehmen.

Schweizer Unternehmen, die sich auf die Einführung von KI vorbereiten, sollten Anwendungsfälle priorisieren, den Zugang zu den richtigen Kenntnissen sicherstellen und eine fundierte KI-Strategie etablieren, um die geeigneten Plattform- und Technologieentscheidungen für Governance und Skalierbarkeit zu treffen.



Mobile Roboter

Agathe Koller (OST)



Die mobile Robotik beschäftigt sich mit mobilen autonomen Systemen in unstrukturierten und dynamischen Umgebungen. Solche Roboter finden sich auch unter wechselnden Umweltbedingungen zurecht und können sich eigenständig in ihrem Umfeld bewegen sowie autonom und situationsgerecht agieren. Die mobile Robotik deckt ein breites Anwendungsspektrum im Innen- und Aussenbereich ab und beschäftigt sich mit Boden-, Flug-, Unterwasser- und Lauf-Robotern.

So sieht es heute aus

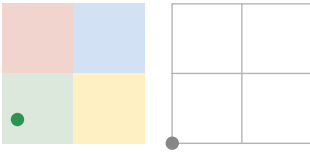
Derzeit wird das Gros der Roboter stationär eingesetzt und ist auf bestimmte industrielle Anwendungen ausgelegt. Durch technische Fortschritte in der Sensorik, Steuerung und Vernetzung bei gleichzeitiger Preissenkung lassen sich immer mehr Prozesse mit mobilen Robotersystemen flexibel automatisieren. Mobile Roboter kommen vermehrt für Anwendungen in der Logistik zum Einsatz. Sie unterstützen dort den Transport von Gütern in den Produktions- und Distributionszentren. Mithilfe von Multi-Sensoren, Navigations- und Steuerungsalgorithmen bewegen sich mobile Roboter autonom in Fertigungshallen. Entscheidungen treffen sie eigenständig. Solche kognitiven Fähigkeiten spielen auch für weitere vielversprechende Anwendungsbereiche wie Exploration, Inspektion oder die Wartung von Anlagen eine grosse Rolle.

Der Standort Schweiz spielt in der Entwicklung mobiler Roboterlösungen eine Schlüsselrolle. Wichtige Forschungsschwerpunkte sind die Wahrnehmungsfähigkeit und die Adaptivität mobiler Systeme. Die Schweizer Hochschulen und Universitäten, insbesondere *ETH Zürich* und *EPFL*, gehören in diesen Bereichen zur internationalen Spitze. Die mobile Robotik hat in der Schweiz zur Gründung zahlreicher Start-ups geführt.

Ein Blick in die Zukunft

Mobile Robotersysteme werden in Zukunft immer unspezifischere Aufgaben übernehmen können. Dazu werden sie mit Fähigkeiten ausgestattet, die es ihnen erlauben, sich selbst zu konfigurieren. So kann derselbe Roboter mehrere Aufgaben erfüllen und wechselnde Bedürfnisse abdecken. In der Fertigung werden mobile Roboter in hybriden Mensch-Roboter-Teams kollaborativ arbeiten. Dadurch wandeln sich die eher statischen Fertigungslinien zu dynamischen und selbstkonfigurierbaren Einheiten. Innovationen im Bereich der künstlichen Intelligenz und der Navigationstechnologie werden die Relevanz der mobilen Robotik deutlich steigern. Zu den zukunftsfähigen Anwendungsfeldern gehören insbesondere die Sicherheit und die Landwirtschaft. So können mobile Roboter dereinst zur Suche und Rettung von Menschen in Katastrophengebieten oder zum Pflanzenschutz und zur Unkrautbekämpfung eingesetzt werden. Darüber hinaus werden weitere Anwendungsgebiete erforscht, wie zum Beispiel Assistenzroboter, die den Alltag von Menschen mit körperlicher Beeinträchtigung erleichtern.

Der zunehmende Einsatz von mobilen Robotern hat das Potential, viele Wirtschaftssektoren radikal zu verändern. Dazu zählen Handel, industrielle Produktion, Landwirtschaft, Logistik, Medizintechnik und Verkehr. Auch im privaten Bereich wird der Alltag der Menschen durch Roboterunterstützung wesentlich beeinflusst. Um die Verbreitung mobiler Roboter voranzutreiben, müssen einheitliche Sicherheitsstandards definiert werden. Ausserdem braucht es ethische, rechtliche und soziale Rahmenbedingungen. Weiter wird der Einsatz mobiler Roboter stark von der Benutzerakzeptanz abhängen.



Neuartige Internetarchitektur SCION

Adrian Perrig, Ilona Wettstein und Shancong Yu (ETH Zürich)

Die zunehmende Digitalisierung aller Lebens- und Wirtschaftsbereiche erfordert ein sicheres Internet. Dem Internet liegt das seit 30 Jahren beinahe unveränderte Border Gateway Protocol (BGP) zugrunde, das Datenpakete durch das Internet lenkt. An jedem Netzwerkknoten bestimmt das Protokoll den Weg zum nächsten Knoten. An diesen Knotenpunkten können Daten leicht angegriffen, umgeleitet oder kopiert werden. Zwar existieren vereinzelt Lösungsansätze für die Probleme dieses Protokolls, so etwa das Verlegen von privaten Leitungen. Doch das ist teuer und unflexibel. SCION ist eine neuartige Internetarchitektur, die auf der Netzwerkinfrastruktur des Internets aufbaut. Der Weg, den Datenpakete nehmen sollen, wird ihnen bereits beim Absenden mitgegeben. Somit können die Daten nicht falsch geführt oder umgeleitet werden. Auch können gezielt einzelne Knoten ausgelassen werden. So verbessert SCION die Zuverlässigkeit der Übermittlung stark, was sich mitunter in einer erhöhten Übertragungsgeschwindigkeit bemerkbar macht. Dadurch könnte das BGP überflüssig werden. Diese neue Internetarchitektur ist beliebig skalierbar und kann über Länder- und Institutionengrenzen ausgeweitet werden.

So sieht es heute aus

Unternehmen sind darauf angewiesen, Daten über weit verzweigte Netzwerke sicher versenden zu können. Die weitverzweigten Netzwerke machen den Versand allerdings anfällig für Störungen und Angriffe. Auch kleine Akteure können vom Einsatz einer sicheren Infrastruktur profitieren, etwa wenn sie in den elektronischen Zahlungsverkehr einsteigen möchten und nicht über die nötigen finanziellen Mittel für eine eigene Leitung verfügen.

Die Grundlagen von SCION wurden an der *ETH Zürich* entwickelt. Inzwischen haben sich auch Forschungsgruppen anderer Universitäten an der Entwicklung beteiligt. Internet Service Provider aus dem In- und Ausland fungieren in einem Konsortium als Integratoren und Bereitsteller von entsprechenden Dienstleistungen. Nicht nur in der Entwicklung, sondern auch im Einsatz von SCION spielt die Schweiz eine Vorreiterrolle. Mehrere Schweizer Banken nutzen SCION für einen sicheren und hochverfügbaren Datenaustausch. Und der Bund setzt SCION ein, um die Kommunikation mit Botschaften sicher zu gestalten. Derzeit gibt es Bestrebungen, mittels SCION einzelne Branchennetze zu etablieren, die den sicheren Informationsaustausch auch über einen Internet Service Provider hinaus gewährleisten.

Ein Blick in die Zukunft

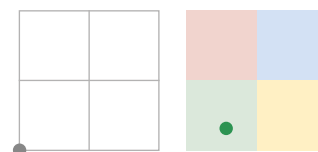
In den nächsten fünf Jahren wird es darum gehen, SCION auch für IoT-Anwendungen weiterzuentwickeln. Damit SCION sich etabliert und das BGP ablösen kann, müssen weltweit Internet Service Provider SCION in ihre Produktpalette aufnehmen. Erste internationale Internet Service Provider unterstützen SCION und bieten nun entsprechende Produkte an. Bei weiteren Internet Service Providern laufen Vorbereitungen. Zudem wird eine Stiftung eingerichtet mit dem Zweck, die Weiterentwicklung zu koordinieren und ein Zertifizierungsstandard einzurichten.

Wie bei vielen Open-Source-Softwareprojekten ist es auch für die Weiterentwicklung und Etablierung von SCION zentral, dass sich eine aktive, internationale Community bildet, die sich der Weiterentwicklung annimmt. Ein auf SCION basierender Zusammenschluss einzelner Wirtschaftssektoren oder Länder zu einem sicheren Datenraum könnte helfen, diese Herausforderung zu meistern. Bei der Etablierung von solchen Branchennetzen könnte die Schweiz eine Vorreiterrolle übernehmen.



Optical Space Communication

Reinhard Czichy (Synopta)



Optical Space Communication bezeichnet die Übertragung von Daten von Satelliten zur Erde oder zwischen Satelliten mittels optischer Verbindungen im freien Raum. Dabei werden Laser im nahen infraroten Spektralbereich eingesetzt. Die Trägerfrequenz dieser Datenübertragungssysteme und damit die zur Verfügung stehende Übertragungsbandbreite ist wesentlich höher als bei Systemen mit Radiofrequenz: Die Laser-Wellenlänge von 1,55 μm entspricht beispielsweise einer Frequenz von 270 THz; kommerzielle Radiofrequenz-Systeme auf Satelliten arbeiten heute in Bereichen bis 40 GHz. Die Technologie erschliesst also völlig neue Bandbreiten-Ressourcen.

So sieht es heute aus

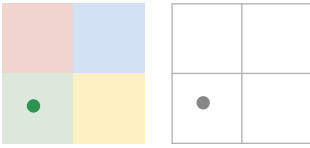
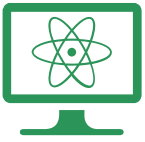
Die experimentelle Erprobung von Optical Space Communication mit Datenraten von mehr als 1 Gigabit/s zwischen Satelliten in niedrigen Erdumlaufbahnen (LEO) begann 2007. Die Europäische Raumfahrtagentur ESA nahm 2016 den ersten Satelliten mit optischem Terminal für die operationelle Nutzung im geostationären Orbit (GEO) in Betrieb. Heute sind zwei GEO-Satelliten als Relaisstationen und vier Erdbeobachtungssatelliten in LEO mit optischen Datenübertragungssystemen in Betrieb. Neben dem kontinuierlichen Aufbau dieser Systeme in den USA und Europa wurden innerhalb der letzten Jahre Technologien für die Übertragung von höchsten Datenraten (Terabit/s) zwischen Bodenstationen und Satelliten entwickelt. Diese ermöglichen eine völlig neue Systemarchitektur zur Datenverteilung. Herausforderungen dabei sind die hochkomplexen Systemsteuerungen im Fernbetrieb oder Themen im Bereich der Lasertechnologie und Optik.

Optical Space Communication bündelt eine Vielzahl komplexer Technologien wie Laser, Materialtechnologie, Mechanik, Mikroelektronik, Optik und Software, für welche in der Schweiz eine hohe Kompetenz vorhanden ist. Forschung und Industrie haben sich hierzulande mit ihren jeweils relevanten Fähigkeiten von Anfang an erfolgreich engagiert und damit eine gute Ausgangslage geschaffen. Die Herausforderungen für die schweizerische Industrie resultieren mehrheitlich aus der starken Förderung der ausländischen Konkurrenz durch nationale Technologieprogramme.

Ein Blick in die Zukunft

Die erfolgreiche Nutzung dieser Technologie im Weltraum führt international neben Anwendungen für Raumfahrtagenturen und Regierungsdienste zur Weiterentwicklung kommerzieller Satelliten-Konstellationen mit optischen Verbindungen, die auf mobile Dienste mit sehr hohen Datenraten und globaler Abdeckung ausgelegt sind. Diese Konstellationen nutzen optische Datenverbindungen zwischen den Satelliten sowie zwischen Satelliten und Bodenstationen. Wegen des ständig steigenden Bedarfs an Übertragungskapazität und dem Trend zu verbesserten mobilen Diensten entwickelt sich Optical Space Communication rasant weiter. Dies betrifft den Aufbau und Betrieb von Satellitennetzwerken, Geräte- und Komponentenentwicklung (optische Terminals für Satelliten, Bodenstationen), aber auch den Dienstleistungsbereich und die Entwicklung innovativer Anwendungen.

Die Schweizer Industrie kann sowohl hochwertige Komponenten und Geräte für den Einsatz in Satelliten oder Bodenstationen liefern als auch erfolgreiche Geschäftsmodelle zur Verwaltung und Nutzung von Informationen in Echtzeit aufbauen. Allerdings ist zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der internationalen Konkurrenz und zur Entwicklung marktfähiger Produkte weiterhin ein starkes, fokussiertes Engagement des Bundes notwendig.



Quantencomputing

Andreas Fuhrer und Thilo Stöferle (IBM Research – Zurich, Schweizerische Physikalische Gesellschaft)

Verglichen mit der vorherrschenden Digitaltechnik nutzen Quantenrechner durchweg die Grundprinzipien der Quantenmechanik (sogenannte Quantenüberlagerung und -verschränkung).

So sieht es heute aus

Gewisse Problemstellungen werden selbst mit den grössten klassischen Rechnern unlösbar bleiben, weil die zur Lösung benötigten Rechenressourcen (Speicher, Rechenzeit) exponentiell mit der Problemgrösse anwachsen. Demgegenüber nehmen für solche Problemstellungen die von Quantenrechnern benötigten Rechenressourcen nur sehr moderat zu. Ein Beispiel sind komplexe Optimierungsaufgaben, wo die zu prüfenden möglichen Konfigurationen so schnell mit der Problemgrösse wachsen, dass herkömmliche Rechner keine Chance haben, dies zu bewältigen. Ein Quantencomputer kann aber bei gewissen Problemstellungen all diese Konfigurationen gleichzeitig prüfen und hat dadurch ein enormes Potential gegenüber klassischen Systemen. Sein Einsatzgebiet wird am Anfang in Rechenzentren als Ergänzung zu klassischen Grossrechnern liegen.

Heute gibt es verschiedene Hardwareplattformen: Ionenfallen, supraleitende Schaltkreise, Halbleiter-Quantenpunkte und photonische Systeme. In den letzten Jahren hat die Forschung riesige Fortschritte gemacht, was die Kontrolle dieser Quantensysteme angeht. Es existieren erste kommerzielle Quantenrechner von *Alpine Quantum Technologies*, *Google*, *Honeywell*, *IBM*, *IonQ* und *Rigetti* mit bis zu etwa hundert Quantenbits. Obwohl deren Leistungsfähigkeit durch die den Quantensystemen inhärente Störungsanfälligkeit noch begrenzt ist, lassen sich damit bereits erste Problemstellungen lösen, die mit klassischen Rechnern nur schwer lösbar sind. International hat sich hierzu ein sehr aktives Ökosystem gebildet. Erste Anwendungen werden für verschiedenste Bereiche geprüft und spezifische Komponenten-Lieferketten für die jeweilige Hardwareplattform aufgebaut. Die Schweiz ist in der Quantenforschung exzellent positioniert. Neben einigen Grossunternehmen sind bislang nur wenige KMU in diesem Bereich tätig, vor allem als Zulieferer einzelner Hochtech-

nologie-Komponenten für die komplexen Quantencomputer-Systeme.

Ein Blick in die Zukunft

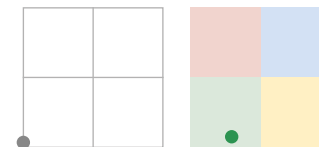
Die Hardwareentwicklung wird sich in den nächsten Jahren darauf konzentrieren, die Anzahl der Quantenbits zu vergrössern und insbesondere Fehler, die bei Berechnungen auftreten können, weiter zu unterdrücken und idealerweise vollständig zu korrigieren. Auf der Applikationsseite werden intensiv Algorithmen für Optimierungsprobleme der Chemie-, Finanz-, Pharma-, Logistik-, Transport- und anderer Industrien entwickelt. Die Komplexität der Herausforderungen ist so hoch, dass wahrscheinlich grosse Forschungszusammenarbeiten und industrielle Forschungszentren die nächsten Entwicklungsschritte von Quantenrechnern vorantreiben werden.

Hier darf die Schweiz den Anschluss nicht verpassen. Im internationalen Vergleich gibt es noch einiges Potenzial für Schweizer KMU und Start-ups im Bereich der Quantensoftware und in Teilbereichen der Quantenhardware. In den nächsten fünf Jahren ist zu erwarten, dass sich die Cloud-basierte Nutzung von Quantenrechnern aus der Forschung und Lehre hin zu ersten Anwendungen in der Industrie entwickeln wird. Nicht nur für grössere Unternehmen der Finanz- und Pharmaindustrie ist es wichtig, jetzt aktiv zu werden. Auch kleinere Unternehmen sollten prüfen, ob Quantencomputer alternative Lösungsansätze bei rechenintensiven Aufgaben bieten könnten. Besonders im Hochfrequenz-, Materialien-, Mikrotechnologie- und Optikkbereich, ist es für Hersteller lohnend, den Einsatz ihrer Hochtechnologie-Komponenten in den Quantencomputer-Lieferketten zu eruieren und diese allenfalls dafür zu optimieren.



Quantenkryptografie

Bernhard Tellenbach (ZHAW)



Für den Schutz sensibler Informationen und Kommunikationsverbindungen sind sichere kryptografische Verfahren essenziell. Quantenkryptografie spielt bei der von Quantencomputern ausgehenden Bedrohung eine wichtige Rolle. Einerseits bringt sie kryptografische Verfahren hervor, die auf physikalischen Gesetzmässigkeiten bezüglich des Zustandes von Lichtteilchen (Quanten) beruhen und die im Gegensatz zu den heutigen Verfahren von den Fähigkeiten der (Quanten-)Computer unabhängig sind. Dabei ist Quantum Key Distribution (QKD) eine Schlüsseltechnologie, welche die sichere Vereinbarung eines Schlüssels über einen unsicheren Kanal erlaubt. Andererseits ermöglicht Quantenkryptografie auch die Entwicklung von Verfahren, mit denen Quantencomputer einige der heute weit verbreiteten kryptografischen Standards viel effektiver angreifen können als klassische Computer. Als Gegenreaktion wurden kryptografische Verfahren entwickelt, deren Sicherheit auf mathematischen Problemen beruht, die Quantencomputer nicht signifikant schneller lösen können als herkömmliche Computer. Diese Verfahren werden unter dem Sammelbegriff Post Quantum Kryptografie (PQK) zusammengefasst.

So sieht es heute aus

In letzter Zeit wurden grosse Fortschritte erzielt. Für QKD ist ein wichtiger begrenzender Faktor die maximale Entfernung, bei der sie erfolgreich operieren kann. In den vergangenen Jahren wurde der Einsatz von QKD auf grosse Entfernungen (gut 500 km) und Gebiete (2'000 km²) sowie hohe Raten (10 Mbits/s) ausgedehnt. Neue Protokolle wurden vorgeschlagen, um QKD über noch grössere Entfernungen sichern zu können. Weitere Fortschritte betreffen die Sicherheit von QKD gegenüber Angriffen auf Ebene der Detektoren. Trotz dieser Fortschritte und dem Erreichen einiger Meilensteine, wie der Eröffnung eines neuen Segments im Quanten-Netzwerk von Grossbritannien, wird QKD weiterhin kaum praktisch eingesetzt. Für den grossflächigen Einsatz von QKD, ohne dass den Betreibern des QKD-Netzwerks vertraut werden müsste, wäre der Bau von Quanten-Repeater wichtig.

Im Bereich von PQK arbeitet das US-amerikanische *National Institute of Standards and Technology NIST* weiterhin am Standardisierungsprozess für quantenresistente Signaturen, Public-Key-Verschlüsselung und Algorithmen zum Schlüsselaustausch. Trotz Beteiligung am Rennen um neue PQK-Standards und der Marktführerschaft von *ID Quantique* im Bereich der QKD bleibt die Bedeutung der Quantenkryptografie für die Schweiz noch gering.

Ein Blick in die Zukunft

Es gibt zwar bereits diverse Lösungen und Produkte, die PQK nutzen oder zumindest einen Upgrade-Pfad integriert haben, doch ist noch unklar, welche Lösungsansätze sich durchsetzen werden. Bisher publizierte Verfahren sind rein

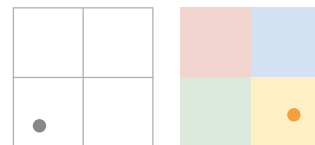
informativ. Ein wichtiger Meilenstein stellt daher der für 2022–2024 erwartete Abschluss des Standardisierungsprozesses quantenresistenter Signatur- und Schlüsselvereinbarungsverfahren durch das *NIST* dar. Spätestens dann dürften diese in gängige Sicherheitslösungen übernommen werden und bis 2030 eine signifikante Durchdringung erreichen. Dies ist auch der früheste Zeitpunkt, an dem die US-Regierung den Übergang zu PQK abgeschlossen haben will – und kann als Zeichen gewertet werden, dass Quantencomputer noch auf sich warten lassen dürften. Auch im Bereich der QKD gibt es bereits mehrere Lösungen und Produkte. Diese werden jedoch aufgrund diverser Beschränkungen wie den Einsatz über grössere Distanzen kaum breit eingesetzt. Das dürfte sich trotz der beschriebenen Fortschritte kurzfristig nicht ändern. Mit dem im März 2020 veröffentlichten Positionspapier des britischen *National Cyber Security Centre NCSC* gibt es zudem auch kritische Stimmen, die vom gegenwärtigen Einsatz von QKD gänzlich abraten.

Die Bedeutung von PQK ist für die Schweizer Forschenden trotz Beteiligung am Rennen um neue PQK-Standards eher gering. Für die Wirtschaft bietet die Umstellung auf PQK-Verfahren Chancen für innovative Produkte und Dienstleistungen. Für QKD ist die Situation umgekehrt: Trotz der Marktführerschaft von *ID Quantique* ist die wirtschaftliche Bedeutung für die Schweiz aktuell und in den kommenden Jahren eher gering. Dem steht eine steigende Forschungsaktivität gegenüber, insbesondere wenn auch Forschung zu den für QKD benötigten Grundbausteinen berücksichtigt wird. Es ist wichtig, dass die technologische Führung im QKD-Bereich erhalten bleibt.

Energie und Umwelt

Alternative Antriebssysteme für Fahrzeuge

Christian Bach (Empa)



Weltweit sind heute rund 1,3 Milliarden Fahrzeuge immatrikuliert – rund 90 Prozent davon mit konventionellen Benzin- und Dieselmotoren. Der Rest sind Fahrzeuge mit alternativem Antrieb. Gemäss EU-Richtlinie 2014/94/EU werden darunter solche mit teil- und vollelektrischem Antrieb sowie alle nicht mit Benzin oder Diesel betriebenen Fahrzeuge verstanden. Sie teilen sich heute auf 40 Prozent Ethanol-/Methanol-, 40 Prozent Gas-/ Flüssiggas- und 20 Prozent Hybrid-/Elektrofahrzeuge auf.

So sieht es heute aus

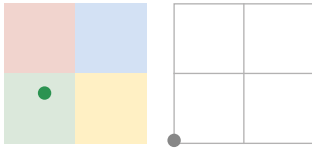
Es wird erwartet, dass der Anteil an alternativen Antrieben stark steigen wird. Dabei kann zwischen zwei Hauptentwicklungen unterschieden werden: Elektrifizierung der Antriebe und Elektrifizierung der Treibstoffe. Die Elektrifizierung der Antriebe wurde durch Fortschritte in der Batterietechnologie initiiert, die Reichweiten und Laderaten ermöglichen, die vorher undenkbar waren. Die Elektrifizierung der Antriebe reicht von einfachen Hybridkonzepten über Vollhybride bis hin zu reinen elektrischen Konzepten mit Batterien oder Brennstoffzellen. Die Forschungsschwerpunkte liegen in der Optimierung des Energiemanagements wie der Rekuperation oder der Abwärmenutzung für die Kabinenheizung, des Lademanagements sowie in der Entwicklung unkritischer Materialien mit höheren Speicherkapazitäten für Batterien.

Zur Elektrifizierung der Treibstoffe zählt die Herstellung von Wasserstoff und synthetischen Kohlenwasserstoffen. Dazu wird erneuerbare Elektrizität in einem ersten Schritt für die Zerlegung von Wasser in Sauerstoff und Wasserstoff genutzt. Dieser wird dann entweder direkt in Wasserstoff-Fahrzeugen genutzt oder indirekt durch Umwandlung mit CO_2 in Kohlenwasserstoff zum Antrieb von Hybrid- oder konventionellen Fahrzeugen. Aufgrund der hohen Energiekostensensitivität wird hier primär an der Wirkungsgradsteigerung geforscht.

Ein Blick in die Zukunft

Alle auf erneuerbaren Energien basierenden Konzepte erreichen hinsichtlich CO_2 -Emissionen ähnlich niedrige Werte. Für die Marktentwicklung entscheidend sind deshalb primär die Gesamtkosten. Diese liegen für alle Antriebskonzepte zu einem erheblichen Anteil ausserhalb der Fahrzeuge, beispielsweise in der Infrastruktur oder der Energiespeicherung und -bereitstellung. Unter Berücksichtigung aller Aspekte kann bei primär lokal/regional eingesetzten Personenwagen bzw. Nutzfahrzeugen ein hoher Anteil an elektrischen Antrieben (Batterie und Brennstoffzellen) erwartet werden. Für interregionale Anwendungen sowie Langstrecken- und Lastanwendungen werden es voraussichtlich mit synthetischen Treibstoffen betriebene Fahrzeuge sein.

Die Schweiz ist technologisch sowohl durch Forschungsinstitutionen wie auch Industrieunternehmen in beiden Entwicklungsschwerpunkten gut positioniert. Entscheidend ist, Technologieoffenheit und wettbewerbliche Rahmenbedingungen zu erhalten, um Innovationen in beiden Bereichen bestmöglich zu fördern.



Dezentrale Energiesysteme

Kristina Orehounig (Empa)

Dezentrale Energiesysteme basieren auf dem lokalen Zusammenschluss mehrerer Gebäude, welche verschiedene Energieträger wie Biomasse, Gas, Geothermie, Öl und Solarenergie sowie unterschiedliche Umwandlungs- und Speichertechnologien (z. B. Batterien, Photovoltaik oder Wärme-Kraft-Kopplung) gemeinsam nutzen. Energieproduktion und -nachfrage können mit einem solchen Energiesystem örtlich, aber auch zeitlich optimal bewirtschaftet und Lastspitzen verringert werden.

So sieht es heute aus

Ein aktuelles Thema in Forschung und Entwicklung sind Identifizierung, Quantifizierung und Nutzung des Potenzials der Flexibilität im Stromnetz. Wie können Energiebedarf und -produktion flexibler gestaltet werden, um so einen weiteren Netzausbau zu verhindern und eine weitreichende Integration der fluktuierenden Energiequellen Sonne und Wind zu ermöglichen? Das volle Potenzial dezentraler Energiesysteme kann erfasst werden, wenn die energierelevanten Sektoren Gas, Mobilität, Strom und Wärme ganzheitlich berücksichtigt werden. Die lokale Bereitstellung von Dienstleistungen wie Regelenergie, aber auch verschiedenste Energieumwandlungsoptionen, die vielseitig für Gebäude, Mobilität oder Industrie eingesetzt werden können (z. B. Power-to-X, also die Umwandlung von Strom in gasförmige oder flüssige Energieträger) zeigen die Möglichkeiten der Sektorenkopplung. Die Investitionskosten für dezentrale Systeme sind derzeit noch sehr hoch. Es ist jedoch absehbar, dass deren Energiegestehungskosten zukünftig dank Skaleneffekten und der Nutzung erneuerbarer Energiequellen massiv reduziert werden dürften.

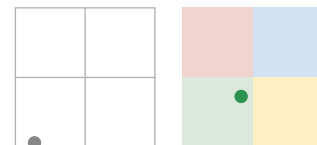
Der Bundesrat hat sich die Öffnung des Strommarkts zum Ziel gesetzt, um Innovation in der Energieversorgung zu fördern, einheimische erneuerbare Energien zu stärken und die Klimaziele zu erreichen, da die Schweiz beim Ausbau von Sonnen- und Windenergie im europäischen Raum hinterherhinkt. Die einhergehenden regulatorischen Anforderungen sind eine bislang nicht gelöste Herausforderung für die weitere Öffnung des Strommarkts. Hingegen konnten durch das Zulassen von Eigenverbrauchsgemeinschaften, welche Solarstrom in lokalen Zusammenschlüssen selbst produzieren und verwalten, seit 2018 erste Geschäftsmodelle für dezentrale Energiesysteme entstehen.

Ein Blick in die Zukunft

Sollte die weitere Öffnung der Energiemärkte und die Sektorenkopplung in den nächsten Jahren stattfinden, werden dezentrale Energiesysteme an Bedeutung gewinnen. Für Schweizer Unternehmen bietet dies viele neue Möglichkeiten, auf den Zug aufzuspringen. Dazu zählen zum Beispiel Entwicklung, Planung und Integration von erneuerbaren Energiesystemen, von Speicher-, Umwandlungs- und Grid-Technologien sowie Smart-Home-Lösungen, aber auch neue Vertriebsmodelle, Contracting-Lösungen und andere Energiedienstleistungen, um den Umbau des Energiesystems voranzutreiben. Parallel dazu werden auch Städte und Gemeinden eine zunehmend wichtige Rolle in der Umsetzung spielen, da ihr Handlungsspielraum durch die Entwicklungen im Energiebereich massiv vergrössert wird.

Geothermie

Katharina Link (Geothermie-Schweiz)



Geothermische Energie ist im Untergrund gespeicherte Wärme. Über 99 Prozent der Erde sind heisser als 1'000 °C. Somit ermöglicht geothermische Energie CO₂-freie Energiegewinnung – jederzeit. Hydrothermale Geothermie nutzt das in bestimmten Erdschichten natürlich vorhandene warme Wasser. Bei der petrothermalen Geothermie hingegen wird Wasser in den tiefen Untergrund gepumpt, um dort künstliche Wasserfließwege zu erschaffen oder zu erweitern. Bei beiden Technologien wird das warme Wasser in einem Kreislauf über eine Bohrung aus der Tiefe an die Oberfläche gepumpt, die Wärme für die Strom- und/oder Wärmeproduktion entnommen und das abgekühlte Wasser über eine zweite Bohrung in den Untergrund zurückgeführt. Je tiefer das Reservoir liegt, desto höher die Wassertemperatur. Bis ca. 500 Meter und ca. 30 °C spricht man von untiefer Geothermie zum Heizen und Kühlen von Gebäuden. Erdwärmesonden sind die bekannteste Nutzung. Mitteltiefe Geothermie (bis 3'000 Meter und ca. 100 °C) dient zum Heizen von Bürogebäuden, Industrieunternehmen und ganzen Quartieren oder zur Einspeisung in Fernwärmenetze. Mit tiefer Geothermie (ab 3'000 Meter und über 120 °C) kann auch Strom erzeugt werden.

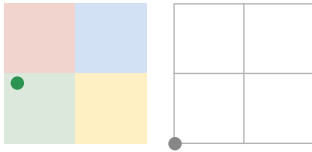
So sieht es heute aus

Die Schweiz hat, bezogen auf die Bevölkerung, weltweit den grössten prozentualen Anteil an Erdwärmesonden. Der Trend für neue Anlagen ist unvermindert steigend. Heute wird ca. 4 Prozent der benötigten Wärme für Raumheizung und Warmwasser mit Geothermie gewonnen. Statistiken über den Einsatz von Geothermie zur Kühlung fehlen noch. Untiefe Geothermieanlagen sind für die intelligente thermische Vernetzung ein wesentlicher Baustein: Sogenannte Anergienetze können gleichzeitig die Wärme wie auch die Kälteversorgung für ein geeignetes Versorgungsgebiet sicherstellen. Die Schweiz ist hier technologisch weltweit mitführend. Mitteltiefe Geothermieanlagen gibt es hingegen erst vereinzelt, obwohl die Technologie in unseren Nachbarländern und auch weltweit in vielen Ländern etabliert ist. Petrothermale Anlagen gibt es nur im Ausland.

Ein Blick in die Zukunft

Hydrothermale Anlagen sind weltweit etabliert, es besteht jedoch eine Abhängigkeit von den natürlichen Warmwasservorkommen im Untergrund. Mit der petrothermalen Technologie kann hier eine Unabhängigkeit erreicht werden. Diese steht daher im Zentrum von Forschung und Entwicklung sowie von Pilot- und Demonstrationsprojekten. Die Schweiz ist hier eines der aktivsten Länder.

In der Schweiz sollen in den nächsten Jahren folgende hydrothermale und petrothermale Projekte realisiert werden: *AGEPP*, *EnergieÖ Vinzel*, *Geo2Riehen* und *Haute Sorne*. In Genf sind erste mitteltiefe hydrothermale Bohrungen für eine Fernwärmeversorgung im Bau. Dank dem neuen Energiegesetz wird in der Schweiz stark in die Forschung investiert. Derzeit arbeiten rund 80 Forschende im *Bedretto Underground Laboratory for Geoenergies*. Sie führen verschiedene internationale Projekte durch, was zu optimierten technologischen Verfahren und deutlichen Kostensenkungen führt. Das Potenzial der Geothermie ist in der Schweiz für alle Arten der Nutzung enorm. Die Forschung wird wesentlich dazu beitragen, dass sich hierzulande auch die mitteltiefe und tiefe Geothermie etablieren kann. Sie nimmt eine bedeutende Rolle bei der Erreichung der Klimaziele ein und trägt wesentlich zu einer lokalen Wertschöpfung bei.



Künstliche Photosynthese

Greta Patzke (Universität Zürich)

Verfahren, die das Sonnenlicht nutzen, um Brennstoffe herzustellen, werden als künstliche Photosynthese bezeichnet. Diese Verfahren imitieren die natürliche Photosynthese, also den Prozess, mit dem Pflanzen Biomasse aus Wasser und Kohlenstoffdioxid produzieren. In der künstlichen Photosynthese wird Wasser in Wasser- und Sauerstoff oder CO_2 reduktiv in Wertstoffe überführt. Im Unterschied zu anderen lichtgetriebenen Technologien, wie etwa der Photovoltaik oder der solaren thermochemischen Brennstoffproduktion, kommen die Verfahren der künstlichen Photosynthese ohne die Zugabe von Biomasse oder externe elektrische Energiequellen aus.

So sieht es heute aus

Die «künstlichen Blätter», in denen diese chemischen Prozesse ablaufen, erfordern, dass komplexe Prozesse kontrolliert werden. Das Sonnenlicht muss effizient zur Erzeugung der unterschiedlichen Ladungsträger für chemische Prozesse genutzt werden. Diese Ladungsträger treiben die brennstoffproduzierenden Prozesse an, indem sie Wasser- oder CO_2 -Moleküle spalten. Die aktuelle Forschung im Bereich der künstlichen Photosynthese fokussiert zu einem grossen Teil auf den photoelektrokatalytischen Aufbau und auch auf die Entwicklung hybrider Systeme. Letztere nutzen Erkenntnisse aus der synthetischen Biologie mit dem Ziel, neue molekulare Komponenten zu designen. Weltweit gibt es im Bereich der künstlichen Photosynthese und in verwandten Gebieten weit mehr als hundert Forschungsgruppen, die am Verständnis grundlegender Zusammenhänge und an Prototypen arbeiten. Der 2017 lancierte EU-Wettbewerb «Fuel from the Sun: Artificial Photosynthesis» verfolgt das Ziel, den gegenwärtigen Entwicklungsstand zu verbessern. Im Blickfeld der Forschung sind auch Kosten, Effizienz und Beständigkeit der involvierten Materialien.

Ein Blick in die Zukunft

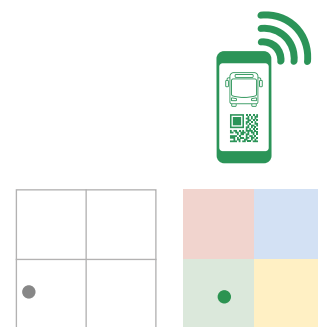
Ziel ist es, in naher Zukunft die Leistungsfähigkeit auf ca. 10 Prozent Solar-zu-Wasserstoff-Effizienz zu erhöhen. Es wird angestrebt den Wirkungsgrad bis ins Jahr 2050 auf 30 Prozent zu erhöhen. Künftig könnte die künstliche Photosynthese von Erkenntnissen aus dem Bereich des CO_2 -Captures und von der Entwicklung von photovoltaischen

Komponenten profitieren. Die direkte Speicherung von Sonnenenergie in Brennstoffen und anderen Chemikalien hat das Potenzial, effizienter zu sein als Verfahren, die auf Biomasse basieren. Zudem gibt es bei der direkten Umwandlung von Sonnenenergie keinen Zielkonflikt zwischen Nahrungsmittel- und Treibstoffproduktion.

Die Schweizer Forschungs- und Unternehmenslandschaft ist ideal aufgestellt, um die Entwicklung von disruptiven, direkten Solar-zu-Wasserstoff-Technologien massgeblich zu prägen, obwohl dies erst ein Zwischenschritt hin zu einer nachhaltigen Produktion von Ammoniak und anderen Schlüsselrohstoffen darstellt. Die Nationalen Forschungsprogramme der Schweiz im Bereich der Energieforschung in Kombination mit einem stetigen Wachstum internationaler Forschungs Kooperationen bilden eine ausgezeichnete Grundlage für weitere konzeptionelle Durchbrüche. Im verwandten Feld des solarthermochemischen Engineerings gehört die Schweiz indes zur Weltspitze, und es entstanden in der Schweiz über die letzten Jahre ausgereifte Bioreaktoren und weitere Strom-zu-Gas-Projekte. Als kleines Land kann die Schweiz stark von Technologien wie der künstlichen Photosynthese profitieren, um das Energieportfolio weiter zu differenzieren und ihre Unabhängigkeit zu stärken. Im Feld der künstlichen Photosynthese könnte sie viele Innovationen exportieren. Zusätzliche Folgeinnovationen könnten genutzt werden, um Wasser zu reinigen. Um die anstehenden Herausforderungen zu meistern, bedarf es starker und nachhaltiger Kollaborationen zwischen Hochschulen und Grossunternehmen.

Mobilitätskonzepte

Thomas Küchler (Schweizerische Südostbahn AG)



Mit Mobilitätskonzepten sollen unterschiedliche Verkehrsmittel aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer einfach und möglichst integral als eine Dienstleistung zusammengefasst werden. Dem Einsatz von automatisierten und geteilten Fahrzeugen kommt hierbei eine Schlüsselrolle zu.

So sieht es heute aus

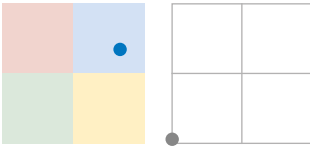
Nach anfänglichen Erfolgen in Helsinki, Singapur und Wien konnten sich innovative Mobilitätskonzepte nur marginal weiterverbreiten oder mussten wegen fehlenden kommerziellen Erfolgs eingestellt werden. Es gab insgesamt keine nennenswerten Fortschritte. Automatisierte Fahrzeuge könnten für moderne Mobilitätskonzepte ein Gamechanger sein. Die Fahrzeughersteller haben jedoch ihre zeitlichen Ambitionen in Bezug auf deren Einsatz stark relativiert, da der Übergang vom heutigen zum automatisierten Betrieb nicht so problemlos wie ursprünglich angenommen über die Bühne gehen wird. Vor allem der sogenannte Mischverkehr und die stufenweise Anhebung des Automatisierungsgrads stellen grosse Hürden bei der Einführung automatisierter Fahrzeuge dar. Angetrieben durch die Klimadebatte konzentriert sich die Fahrzeugindustrie daher vermehrt auf die Entwicklung von neuen Antriebstechnologien. Namhafte Fahrzeughersteller haben ihre Projekte im Bereich Mobilität gestoppt, obwohl noch immer die Erwartung besteht, dass mit Mobilitätskonzepten ein wesentlicher Beitrag zur CO₂-Reduktion erbracht werden kann. Die grösste Herausforderung bei der erfolgreichen Umsetzung neuer Mobilitätskonzepte ist die zersplitterte Verkehrslandschaft. Nur die grossen Internetanbieter, nicht aber Verkehrsbetriebe und die öffentliche Hand, verfügen aktuell über die notwendigen Voraussetzungen und Daten, um das Thema vernetzte Mobilität voranzutreiben. Aktuell entstehen daher vor allem Angebote, welche primär kommerzielle Interessen berücksichtigen. Zudem besteht die Gefahr, dass die öffentliche Hand zu wenig Steuerungseinfluss auf Angebote hat.

Keines der in der Schweiz initiierten Mobilitätsprojekte wie die Mobilitätsapp von *Postauto* oder «*abilio*» konnte die Vernetzung verschiedenster Verkehrsmittel bisher beweisen. Einige dieser Projekte wurden eingestellt. Aktuell befinden sich nur noch regionale Projekte in Entwicklung. Neben der zersplitterten Verkehrslandschaft ist vor allem die Frage nach einem tragfähigen Geschäftsmodell für alle Beteiligten eine grosse Hürde für die erfolgreiche Umsetzung von Mobilitätslösungen. Die Erkenntnisse aus einzelnen Versuchen zeigen, dass für die erfolgreiche Umsetzung neuer Mobilitätsangebote eine neutrale Dateninfrastruktur nötig ist. Die erfolgreiche Gründung entsprechender Zweckgesellschaften hat gezeigt, dass die bestehenden Hürden mehrheitlich überwunden werden können.

Ein Blick in die Zukunft

National kontrollierte Mobilitätskonzepte können einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung der anstehenden Herausforderungen für Raum, Umwelt und Verkehr leisten. Bei deren Umsetzung gilt es weniger technische und kommerzielle, sondern primär organisatorische Hürden zu überwinden.

Falls in der Schweiz nicht rasch ein national kontrolliertes Mobilitätskonzept umgesetzt wird, wird die unwiederbringliche Verlagerung in Richtung internationaler Internetkonzerne kaum zu vermeiden sein. Die Bündelung aller national relevanten Kräfte und Projekte in einer Initiative mit basisdemokratischer Governance würde die optimale Voraussetzung zur Sicherstellung national kontrollierter Mobilitätskonzepte schaffen.



Nachhaltige Lebensmittelproduktion

Erich Windhab (ETH Zürich)

Die nachhaltige Lebensmittelproduktion behandelt in einem systemorientierten Ansatz die gesamte Wertschöpfungskette unter Einbezug ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte. Es wird zunächst lokal und als Endziel global ein dynamischer Gleichgewichtszustand angestrebt. Um diesen zu erreichen, bedarf es einer mehrdimensionalen Analyse, welche die Kriterien entlang der gesamten Wertschöpfungskette ausgewogen darstellt.

So sieht es heute aus

Die Lebensmittel-Wertschöpfungskette reicht von der Primärproduktion der landwirtschaftlichen Rohstoffe über prozesstechnische Lebensmittelverarbeitung, Verpackung, Lagerung, Transport, Distribution und Verkauf bis zur Zubereitung von Mahlzeiten und deren Verzehr. Um sozial-ökonomische Aspekte des Konsums von Lebensmitteln zu berücksichtigen und massgebliche Relevanz für eine ganzheitliche Nachhaltigkeitsanalyse zu erreichen, sollte die Wertschöpfungskette um die Elemente Verdauung und Gesundheit erweitert werden. Denn auch falsche Ernährung kann die Nachhaltigkeit beeinflussen: Selbst wenn konsumierte Lebensmittel unter optimalen Nachhaltigkeitskriterien produziert wurden, resultieren bei falscher Ernährung damit assoziierte Krankheiten, deren Auswirkungen und Behandlungen die Nachhaltigkeitsbilanz negativ beeinflussen können. Für die technologisch fokussierte Analyse wird der Gesundheitsaspekt nicht einbezogen, da dieser im Kapitel «Personalisierte Ernährung» (Seite 76) thematisiert wird. Die *Agenda 2030* der *Vereinten Nationen* mit 17 Entwicklungszielen im Bereich der Nachhaltigkeit ist 2020 durch die Corona-Pandemie aus dem Tritt geraten und einige Ziele für die nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals SDGs) scheinen deswegen ausser Reichweite. Eine Anpassung der SDGs wird diskutiert.

Das Schweizer Ernährungssystem und die Lebensmittelindustrie haben die SDGs auf breiter Anwendungsebene in ihre Zielsetzungen implementiert. Seit Veröffentlichung der SDGs im Jahr 2015 wurden in der Schweiz sichtbare Fortschritte erzielt. Es bleibt abzuwarten, ob sich durch die Auswirkungen der Corona-Pandemie Einschränkungen oder Gewichtsverlagerungen ergeben werden. Aus der Verbindung von SDG 3 (Gesundheit und Wohlergehen) und SDG 12 (Verantwortungsvoller Konsum und Produktion) lassen sich neue Schwerpunkte und relevante Geschäftsmodelle ableiten, die auch der ernährungs-basierten Krankheitsprophylaxe mehr Bedeu-

tung einräumen. Entsprechende Kompetenzen sind in der Schweizer Industrie vorhanden und sollten verstärkt aktiviert werden.

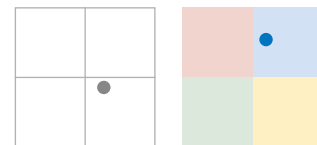
Ein Blick in die Zukunft

Aus technologischer Perspektive können die Lebensmittel-Wertschöpfungsketten mittels verbesserter Integration, Interaktion und Flexibilisierung der Komponenten ökologisch und ökonomisch nachhaltiger gestaltet werden. Dafür sind Querschnittstechnologien gefragt, welche der ausgeprägten Diversität dieser Wertschöpfungsketten und den spezifischen Rahmenbedingungen Rechnung tragen. Solche sind zum Beispiel Robotik, additive Fertigungsverfahren, Biotechnologie, Digitalisierung und künstliche Intelligenz, Prozessautomation sowie Sensorik in Echtzeit. Allenfalls müssen diese Querschnittstechnologien bezüglich Hygiene und Sicherheitsaspekten an die Anforderungen der Lebensmittelindustrie angepasst werden. Der Einsatz von Blockchain und Kryptowährung ermöglichte Transparenz und Rückverfolgbarkeit unter Gewährleistung der Datensouveränität und Privatsphäre. Eine entscheidende Rolle über ganze Wertschöpfungsketten hinweg wird künftig das sichere Management grosser Datenmengen spielen. Auf global politischer Ebene wäre eine Erweiterung des *Codex Alimentarius* ins Auge zu fassen, um der nutritiven und ökologischen Qualität von Lebensmitteln Standards zuzuordnen.

Schweizer Firmen verfügen in vorab genannten Querschnittstechnologien über massgebliche Kompetenzen und beanspruchen teilweise internationale Marktführerschaft. Nahezu alle der rund 2'200 Unternehmen der Schweizer Lebensmittelbranche adressieren in ihren Zielsetzungen Nachhaltigkeitsaspekte. Sie repräsentieren mit rund 62'000 Beschäftigten und jährlich rund 25 Milliarden Franken Umsatz 5,3 Prozent des Schweizer BIP. Konzertiertes Handeln ist angezeigt, um die Nachhaltigkeitsziele der Schweiz zu erreichen und Marktpotenziale abzuleiten.

Photovoltaik

Christophe Ballif (EPFL)



Photovoltaik (PV) beschäftigt sich mit der direkten Umwandlung von Licht in Elektrizität dank Solarzellen und -modulen. Sie umfasst aber auch Komponenten, die die Nutzung dieser Elektrizität ermöglichen, Installationsaspekte wie Montagesysteme und Gebäudeintegration, verschiedene Anwendungsbereiche sowie Planung, Überwachung, Wartung, Prognose und Systemintegration von Solarstrom.

So sieht es heute aus

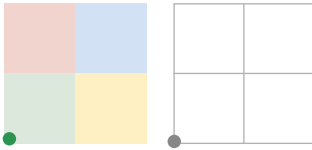
Der weltweite PV-Markt hat sein stetiges Wachstum mit fast 130 GW Neuinstallationen im Jahr fortgesetzt und 2020 insgesamt fast 760 GW erreicht. In einem raschen Wandel haben monokristalline c-Si-Module multikristalline c-Si-Module abgelöst. Unterdessen machen sie wegen des Preiszerfalls des monokristallinen Siliziums und des höheren Wirkungsgrads mehr als 70 Prozent des Marktes aus. Gut 90 Prozent der Hersteller von Solarzellen haben die PERC-Technologie (Passivated Emitter and Rear Cell) übernommen, die einen absoluten Effizienzgewinn von 1,5–2,5 Prozent auf Zellebene ermöglicht. 2020 erreichten die gängigen PERC-Module einen Wirkungsgrad von 19–20 Prozent. Gleichzeitig ist der Modulpreis auf unter 0,2–0,25 US-Dollar/Watt gesunken. Dank Verbesserungen bei der Konstruktion und dem Betrieb von Solarparks wird in sonnenreichen Ländern extrem niedrige Produktionskosten für Solarstrom von unter 2 Euro-Cents pro kWh gemeldet.

In der Schweiz hat die Installation von PV 2020 zugenommen, mit 430–460 MW zusätzlich. Jüngste Szenarien zeigen, dass 35–50 GW PV (statt der ursprünglich in der Energiestrategie geplanten 12 GW) in Kombination mit der Elektrifizierung des Verkehrs und der Nutzung von Wärmepumpen einen Grossteil der Dekarbonisierung der Schweiz ermöglichen würden. Auf Schweizer Dächern und Fassaden besteht grundsätzlich das Potenzial für die Produktion von 67 TWh Solarstrom (ungefähr 65 GW Leistung). Es sind aber zusätzliche Massnahmen nötig, um die Installation von PV-Anlagen im Inland auf über 1 GW/Jahr zu erhöhen.

Ein Blick in die Zukunft

Mehrere neue Studien zeigen, wie Sonne, Wind und Energiespeicherung die Hauptpfeiler der Energiewende werden können. Auch wenn die PV heute auf einigen Märkten wettbewerbsfähig ist, sind regulatorische und finanzielle Unterstützung nötig, um das weltweite Volumen an Neuinstallationen bis 2030 auf 1'000 GW pro Jahr zu steigern, das Mindestniveau, das erforderlich ist, um die globalen Dekarbonisierungsbemühungen vollständig zu unterstützen. Daher braucht es in den nächsten fünf Jahren nicht nur eine kontinuierliche Steigerung der Modulleistung und ein Wachstum des Marktes für fortschrittliche Siliziummodultechnologien, sondern auch intensiverte Forschung zu Technologien mit einem Wirkungsgrad von über 30 Prozent (beispielsweise Tandem-/ Perowskit-Solarzellen) zu tiefen Kosten. Zugleich müssen Wege gefunden werden, grosse Mengen an Solarstrom in das Energiesystem einzuspeisen und dort kurz- und langfristig zu speichern.

Sowohl die Schweizer Forschungsinstitute als auch der Schweizer Hightech-PV-Sektor im Bereich Ausrüstung und Komponenten nehmen weltweit weiterhin eine starke Position mit bedeutenden Innovationen und Produkten in einem sehr wettbewerbsorientierten Umfeld ein. Eine Chance für die Industrie besteht darin, in der Schweiz und Europa den Nischenmarkt für Produkte mit hohem Mehrwert zu erobern. Dazu gehören beispielsweise spezielle Produkte mit ultrahohem Wirkungsgrad, Inselsysteme, gebäudeintegrierte, farbige, flexible oder leichte PV-Elemente, Messtechniklösungen, Software beispielsweise zum Solarstrommanagement oder für die Systemsimulation sowie Angebote für die Solarmobilität auf Autos und Schiffen.



Recycling von seltenen Erden

Xaver Edelmann (World Resources Forum) und
Alessandra Hool (Entwicklungsfonds Seltene Metalle, ESM Foundation)

Ressourcen gelten als kritisch, wenn sie eine grosse volkswirtschaftliche Bedeutung haben und die Wahrscheinlichkeit für Versorgungsprobleme hoch ist. Es gibt viele Listen sogenannt kritischer Rohstoffe. Auf fast allen kommen Hochtechnologiemetalle vor wie seltene Erden, Platingruppenmetalle, Kobalt, Niob, Tantal, Antimon, Gallium, Germanium und Indium. Eine hohe Nachfrage sowie Monopolstellungen und mangelnde Verlässlichkeit der Produktion sind wesentliche Treiber der Kritikalität von Rohstoffen. Hinzu kommen ökologische und soziale Risiken in der Lieferkette. Auch eine tiefe Recycling-Rate sowie mangelnde Substituierbarkeit durch Ersatzrohstoffe haben entscheidenden Einfluss auf die Kritikalität. Zum Themenkomplex Recycling gehören Sammlung, Trennung sowie Zerlegung von Einzelprodukten oder Komponenten und Separation in die entsprechenden Ausgangsstoffe. Ursachen der Kritikalität und Möglichkeiten des Recyclings unterscheiden sich je nach Rohstoff stark.

So sieht es heute aus

Eine wesentliche Ursache für die geringen Recyclingquoten ist, dass die entsprechenden Rohstoffe nur in sehr geringen Mengen verwendet werden, sodass sie häufig nicht wirtschaftlich rezykliert werden können. Bei Metallen mit hohem Wert – etwa Gold in der Elektronik oder Platinmetalle in Katalysatoren – funktioniert das Recycling hingegen schon gut. Wegen den grossen Mengen und der geringen Durchmischung ist auch das Recycling von Kobalt aus Antriebsbatterien von Elektroautos vielversprechend und wird in vielen Ländern als Vorbereitung zur Mobilitätswende bereits implementiert. Das Lithium-Recycling macht in diesem Kontext ebenfalls Fortschritte. Auch bei den Seltenerdmetallen lässt sich bei manchen Magneten – etwa in Windturbinen und Harddisks – das Recycling heute schon wirtschaftlich durchführen. Ein wichtiger Faktor ist hier die Zuverlässigkeit des Rücklaufs der Produkte. Entsprechend sind nicht nur Innovationen in der Wiederverwertung gefragt, sondern auch in den logistischen und wirtschaftlichen Systemen.

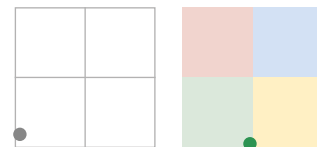
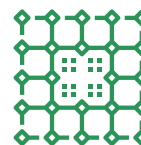
Ein Blick in die Zukunft

Es ist zu erwarten, dass Kundinnen und Kunden zunehmend auf die sozialen und ökologischen Probleme in Lieferketten aufmerksam werden. Auch ist es denkbar, dass die Versorgungssicherheit wieder stärker zu einem gesellschaftlich diskutierten Thema wird. Die Anstrengungen zum Recycling kritischer Metalle müssen im Sinne der Kreislaufwirtschaft verstärkt werden. In Zukunft wird das Recycling von Batterien für die Elektromobilität sowie von Windkraft- und Photovoltaikerelementen einen hohen Stellenwert einnehmen. Dies sind zudem Bereiche, die sich zur Implementierung nachhaltiger Geschäftsmodelle besonders eignen.

In der Schweiz sind die Mengen rezyklierbarer kritischer Rohstoffe in vielen Fällen zu gering, um wirtschaftlich rentabel zu sein. In Anbetracht der geringen Mengen ist die Verwendung von Neumaterialien zudem häufig nicht kostenrelevant. Nur spezialisierte Unternehmen verfügen über das nötige Know-how zum Recycling. Damit bleibt der Anteil rezyklierter Produkte heute oft noch klein. Wichtig ist, zu identifizieren, welche technischen Kompetenzen für das Recycling spezialisierter Metalle selbst aufgebaut werden können und wo es sinnvoll ist, sich mit Unternehmen und Systemen – auch im Ausland – zusammenzuschliessen. Gleichzeitig sollte ein Augenmerk auf geopolitische Entwicklungen liegen sowie – angesichts eines zunehmenden gesellschaftlichen Fokus auf Nachhaltigkeit – transparente Lieferketten angestrebt werden. Es gilt, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln: nicht nur im Recycling, sondern auch in der Erhöhung der Ressourceneffizienz.

Smart Grids

Roland K pfer (BKW)



Intelligente Netze, also Smart Grids, sollen die aus traditionellen und dezentralen Quellen eingespeiste Elektrizität und ihren dezentralen Verbrauch austarieren. Im *Technology Outlook 2019* sind Smart Grids im gelben Quadranten als technologische Selbstläufer eingestuft. Es handelt sich um reife, gut etablierte Technologien, die sich momentan aber nur langsam entwickeln und für welche die Kompetenz in der Schweiz eher tief ist. Dieser Zustand könnte und sollte sich aber rasch ändern.

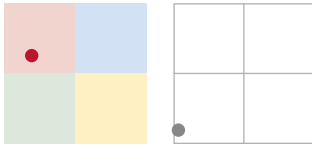
So sieht es heute aus

Die dezentrale Elektrizitätserzeugung breitet sich zunehmend aus, was zu einer erhöhten Nachfrage nach Lösungen zur Optimierung von Lastverl ufen f hrt. Parallel dazu spielt die nachfrageseitige Flexibilität eine immer wichtigere Rolle. Dies leitet einen grundlegenden Wandel in der Energiewirtschaft ein, der über Netzstabilisierung und Reduktion der Lastspitzen hinausgeht. Dazu kommen die modernen Mobilitätskonzepte und Ladeinfrastrukturen für Elektrofahrzeuge. Diese stellen eine zusätzliche Herausforderung an die Flexibilisierung der Lastverteilung. Stromversorgungsnetze müssen auf die mögliche Höchstbelastung ausgelegt sein. Aus volkswirtschaftlicher Sicht drängt sich eine Minimierung des erforderlichen Netzausbaus durch den Einsatz von Flexibilität auf. Es geht also um eine optimierte Auslastung der bestehenden Infrastruktur zu tiefen Betriebskosten und einen geringeren Ausbaubedarf mit Einsparungen in Milliardenhöhe. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energiequellen kann die Einspeisung jederzeit und sofort ohne Voranmeldung zu- oder abnehmen, was zu steigender Komplexität im Netz f hrt. Smart Grids, gekoppelt mit smarter Datenanalyse, gleichen Erzeugung und Verbrauch aus und tragen dazu bei, die Regelung des Lastausgleichs so zu steuern, dass eine Überlastung der Infrastruktur und ein Netzausbau verhindert werden können.

Die Herausforderungen in der Schweizer Energiewirtschaft sind bekannt: Die Diskrepanz zwischen dem effektiven Planungshorizont und der jederzeit gewünschten Versorgungssicherheit erschwert das unmittelbare Handeln. Zudem ist das Stromabkommen mit der Europäischen Union noch nicht abgeschlossen, weshalb die Versorgungssicherheit der Schweiz nicht gewährleistet ist. Die Corona-Krise zeigte deutlich, dass sich die betroffenen Länder zuerst um die Versorgung der eigenen Bevölkerung kümmern, was die Wichtigkeit von Autarkie in der Energieversorgung betont. Die Erkenntnis, dass sich die aktuellen Gesetzgebungen ändern müssen, hat sich noch nicht durchgesetzt.

Ein Blick in die Zukunft

Eine umfassende Betrachtung von Energieerzeugung und -verbrauch rückt mit der Zunahme von dezentralen, erneuerbaren Energiequellen in den Vordergrund. Ein Verbund muss entstehen, in dem alle Akteure des Energiemarkts, auch die Netzbetreiber, maximal daran arbeiten, den Ausgleich des Energiehaushalts zwischen Bereitstellung und Verbrauch zu erreichen. In der Schweiz muss ein Weg gefunden werden, um der steigenden Unplanbarkeit bei Energiebereitstellung und -verbrauch im Zuge der Energiewende mittelfristig Herr zu werden. Andernfalls drohen immense Kosten für den Ausbau der Netzinfrastruktur. Es braucht ein Paradigmenwechsel, wie die Dimensionierung der Netzinfrastruktur geplant werden sollte und Daten zum wirklich nötigen Ausbau interpretiert werden können. Die Herausforderungen der Energiewende, insbesondere für die effektive Planung und Steuerung von Energienetzen, versetzen Smart Grids von einem technologischen Selbstläufer zurück zu einem technologischen Hoffnungsträger.



Zukünftige Energiespeicherung

Jörg Roth und Thomas Justus Schmidt (PSI)

Zukünftige Speichertechnologien zielen auf Energiespeicher im grossen Stil, welche die Diskrepanz zwischen Stromproduktion und -verbrauch saisonal ausgleichen. Es braucht für die Zukunft Langzeitspeichersysteme, um die Abhängigkeit von Energieimporten zu verringern und die Stromkosten im Winter zu senken.

So sieht es heute aus

In den vergangenen Jahren war national und international mehr Bewegung auf Seiten der Energieversorger zu beobachten. Die Gaswirtschaft denkt offen darüber nach, wie sie in Zukunft Biogas oder Wasserstoff besser in die Energieversorgung eingliedern kann. In Deutschland erhalten die ersten Windparks keine Ausgleichszahlungen mehr und müssen sich selbst vermarkten. Der Fall Norddeutschland macht deutlich, dass zu gewissen Zeiten Überkapazitäten vorhanden sind, die sich nur mit Speichern sinnvoll nutzen lassen. Dadurch entsteht erstmals ein Markt für Speicher. Zugleich verschlechtert sich das Marktumfeld für fossile Technologien zunehmend. Als Resultat bringen Industriegrössen wie MAN Speicherlösungen auf den Markt und die Petrochemie arbeitet an erneuerbaren Grund-, Brenn- und Treibstoffen, um fossile Energierohstoffe zu ersetzen. Brennstoffzellen und Wasserstoff erhalten im Bereich Güterverkehr zunehmend Aufmerksamkeit. Die Zulieferindustrie muss technische Komponenten und fertigungstechnische Verfahren mittelfristig für Batterien und Brennstoffzellen optimieren. Die Chemie muss sich auf synthetische Rohstoffe ausrichten und Produkte wie Batterieelektroden und Membranen liefern können. Die Entwicklung passender Geschäftsmodelle für die Speicherung hat sich in den letzten zwei Jahren leicht verbessert.

Aus heutiger Sicht stehen der Schweiz für eine nachhaltige Energieversorgung Wasserkraft, Sonne, Wind und Geothermie zur Verfügung. Aufgrund der Produktionsprofile von Sonne und Wind im Jahresverlauf und des prognostizierten Energiebedarfs kann abgeschätzt werden, wieviel Energie mithilfe von Speichern vom Sommer in den Herbst und Winter verlagert oder bei mangelnden Speichertechnologien importiert werden muss. Es ist eine Optimierungsaufgabe im Dreieck von Import, Energienetzen und Speicher. Die beiden Eckpunkte Import und Energienetze sind in der Schweiz seit langem gut erforscht, neu ist das Feld der Energiespeicher im saisonalen Zusammenhang. In den vergangenen sieben Jahren wurden in der Schweiz

die bekannten Langzeitenergiespeicheroptionen im Labormassstab erforscht, bewertet und entwickelt. Damit wurde eine gute Ausgangslage für die Umsetzung geschaffen: Die Technologien für eine nachhaltige, bequeme Energiezukunft stehen im Labormassstab zur Verfügung und müssen nun zur vollen Marktreife entwickelt werden. Für wirtschaftlichen Erfolg muss also wissenschaftliche Kompetenz in Geschäftsmodelle umgewandelt werden.

Ein Blick in die Zukunft

In den nächsten Jahren wird sich entscheiden, wie sich die Wasserstoffwirtschaft entwickelt und ob es gelingt, kostengünstig Methan, Methanol oder ähnliche Verbindungen aus Wasserstoff, Biomasse oder aus der Luft gewonnenem CO₂ herzustellen. Im Bereich der Wärmespeicherung warten Sorptions- oder Eisspeicher auf den Einsatz.

Für die Schweiz bietet sich die Chance, ihr von Brennstoffkosten (Öl, Gas, Uran) dominiertes Energiesystem so umzubauen, dass zukünftige Ausgaben in wertbeständige Anlagen zur regenerativen Energieerzeugung (Geothermie, Photovoltaik, Power-to-X, Wasserkraft und Windenergie) fliessen. Damit stärken die Ausgaben für Energie die Ökonomie im eigenen Land. Das Schweizer Energiesystem kann so robuster und von Rohstoffmärkten unabhängiger werden. Da in der Produktion von Komponenten für die Energiezukunft noch vieles neu und der Markt erst im Entstehen ist, birgt die Entwicklung ein hohes wirtschaftliches Potenzial, besonders für die im Anlagenbau starke Schweiz. Es gilt, dies im Umfeld der heutigen Geschäftsmodelle zu erkennen und im Austausch mit Kunden, Lieferanten und Entwicklungspartnern Chancen zu erarbeiten.



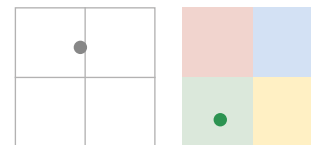
A close-up photograph of a tightly wound copper coil. The copper has a warm, reddish-gold hue and a highly reflective surface. A white, cylindrical object, possibly a tool or part of a machine, is positioned in the upper left quadrant, partially obscuring the coil. The lighting is dramatic, creating bright highlights and deep shadows that emphasize the texture and curvature of the metal.

Fertigungsprozesse und Materialien



Additive Fertigung – Materialentwicklung

Fritz Bircher (HES-SO-Fribourg), **Lars Sommerhäuser** (Empa),
Adriaan Spierings (inspire) und **Anna Valente** (SUPSI)



Materialien wie Metalle, Kunststoffe, Keramik und Verbundwerkstoffe müssen für die sehr spezifischen Verarbeitungsbedingungen in der additiven Fertigung ausgelegt sein – ein Verständnis, das vor Jahren vor allem im Kunststoffsektor begann. Nur so können neue Produkte mit hoher Performance ermöglicht, die hohen Qualitätsanforderungen in der Industrie erfüllt und innovative Lösungen für so unterschiedliche Märkte wie Hoch- und Tiefbau, Medizintechnik sowie Luft- und Raumfahrt realisiert werden.

So sieht es heute aus

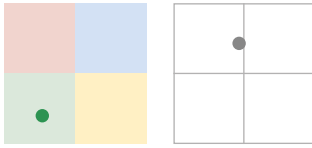
Die Entwicklung neuer Metall- und Keramikzusammensetzungen ist ein relativ neuer, wachsender Trend. International wurde die Werkstoffentwicklung für die additive Fertigung in den letzten Jahren auf verschiedenen Ebenen und entlang der gesamten Prozesskette vorangetrieben. Dies beinhaltete das Hochfahren der Kapazitäten in der Werkstoffproduktion, da die Industrie erkannt hat, dass prozessspezifische Werkstoffe Alleinstellungsmerkmale besitzen. Dieses Bedürfnis nach erhöhter Produktionskapazität wird sich mit der Entwicklung fortschrittlicher Modellierungswerkzeuge, auch in Kombination mit Ansätzen der Künstlichen Intelligenz, noch verstärken.

Die Schweiz beteiligt sich nur in begrenztem Umfang an diesem Trend. Dies ist auf die geringe, jedoch steigende Zahl von Unternehmen zurückzuführen, die additive Produktionsanlagen oder Materialien entwickeln. Zudem ist der Einsatz fortschrittlicher Modellierungswerkzeuge noch sehr begrenzt, da diese auf Multiphysik basieren und in Bezug auf Länge und Zeitskala mehrere Größenordnungen abdecken müssen, um grosse und komplex geformte Komponenten zu modellieren. Daher ist ihr Einsatz in der Regel auf Forschungsaktivitäten beschränkt.

Ein Blick in die Zukunft

In den nächsten Jahren werden Entwicklungen auf dem Gebiet der Mehrfach- und Gradientenwerkstoffe sowie der biologisch abbaubaren Materialien für die Kreislaufwirtschaft vermehrt Aufmerksamkeit gewinnen.

Die Schweiz verfügt über eine starke Expertise in der Entwicklung neuer Materialformulierungen und der entsprechenden Prozessgestaltung. In Kombination mit einer breiteren Anwendung der Prozess- und Materialmodellierung würde dies zu einem Wettbewerbsvorteil für Schweizer Unternehmen auf Gebieten wie Meta-Materialien, 4D-Druck und Kreislaufwirtschaft führen. Dies setzt aber voraus, dass sich die Schweiz weiter auf ihre traditionellen Stärken konzentriert, dass die Digitalisierung auch für die Material- und Prozessentwicklung umgesetzt wird und Unternehmen von der hiesigen Forschungskompetenz profitieren können. Die Materialentwicklung für additive Fertigung muss in der Schweiz gezielt unterstützt werden. Dabei ist die gesamte Wertschöpfungskette inklusive der Produktionskapazität für innovative Materialien zu berücksichtigen. Dies ist eine traditionelle Stärke im Kunststoffsektor. Die Produktion von fortschrittlichen Materialien könnte jedoch auch Metallpulver, Photopolymere oder andere smarte Materialien umfassen und der Schweiz im Bereich der smarten Materialien und der digitalen Produktion eine hervorragende Position ermöglichen. Daraus entstehen neue Geschäftsmodelle und -möglichkeiten entlang der gesamten Herstellungskette.



Additive Fertigung – Verfahren

Fritz Bircher (HES-SO-Fribourg), Lars Sommerhäuser (Empa),
Adriaan Spierings (inspire) und Anna Valente (SUPSI)

Additive Fertigung (Additive Manufacturing, AM) ist ein Sammelbegriff für eine Gruppe von Technologien, mit welchen Objekte nicht durch Drehen oder Schneiden, sondern durch Aufbauen von Material(ien) gefertigt werden. AM-Technologien umfassen das gesamte Spektrum an Bearbeitungsverfahren für Metalle, Kunststoffe und Keramik. Die aktuellen Entwicklungen betreffen die ganze Wertschöpfungskette einschliesslich Vorverarbeitungswerkzeuge, AM-Prozesse und -Maschinen sowie Nachbearbeitungstechnologien.

So sieht es heute aus

Wichtige Entwicklungstrends sind Technologien für die Herstellung grosser Metallteile, auch in Serie, und ganz allgemein Produktivitätsverbesserungen. Im Fokus sind Multi-Laser-Ansätze, fortschrittliche Drahtvorschubtechnologien oder die Automatisierung von Prozessketten, welche dank des verbreiteten Einsatzes von Simulationswerkzeugen in mehreren Grössenordnungen vorangetrieben werden. Daneben sind Aspekte von Industrie 4.0 wie die Integration künstlicher Intelligenz und Datenverarbeitungsmethoden in die Maschinensteuerung schnell wachsende, wichtige Entwicklungen. Sie bieten neuen Akteuren im AM-Markt die Möglichkeit, Lösungen für fortschrittliche und kostengünstigere Maschinenkonzepte anzubieten. Auf der Ebene von Datenverarbeitung, Maschinenhandhabung und Sensorik entstehen neue Herausforderungen, deren Lösung für eine verbesserte Prozesssteuerung und eine schnelle Zertifizierung von AM-Teilen essenziell sind.

Die Schweiz partizipiert teilweise an diesen Trends. Immer mehr Schweizer Unternehmen erlangen Know-how in der Anwendung von AM oder investieren in eigene AM-Aktivitäten. Darüber hinaus spielt die Schweiz eine wachsende Rolle in der AM-Forschung. Diese wird von staatlichen und industriellen Kooperationsplattformen wie *IBAM*, *SATW* und *Swissmem* unterstützt, was unabdingbar für den Erfolg der Schweizer AM-Aktivitäten ist.

Ein Blick in die Zukunft

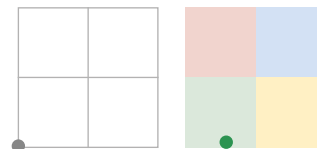
Neue AM-Technologien stehen kurz vor der industriellen Umsetzung. In diesem Zusammenhang gewinnen Binder Jetting und direkte Materialstrahltechnologien an Attraktivität, da sie erhebliche Produktivitätsvorteile versprechen. Gleichzeitig steigt auch das Interesse an fortschrittlichen, extrusionsbasierten Verfahren und Technologien zur Herstellung von Strukturen im Mikrometerbereich.

Die weitere Industrialisierung von AM erfordert Fachwissen, das in der Schweiz traditionell vorhanden ist. Dazu gehören Simulations- und Maschinenbaukenntnisse, Expertise in Nutzung und Integration von AM, in künstlicher Intelligenz, in der Verarbeitung grosser Datensätze oder in der Automatisierung der Produktion von Industriebauteilen für Abnehmer in stark regulierten Märkten. Die Schweiz sollte diese Entwicklungen unterstützen und sich auf fortschrittliche Anlagen sowie Prozessüberwachung und -steuerung für die Produktion hochwertiger Teile konzentrieren. Es müssen Initiativen für die Entwicklung von Hochleistungstechnologien der nächsten Generation unterstützt werden, welche die gesamte Wertschöpfungskette, Prozesskombinationen und Multimaterialverarbeitung für den 4D-Druck berücksichtigen. Dadurch können Schweizer Unternehmen die AM-Möglichkeiten entlang der gesamten Wertschöpfungskette voll ausschöpfen, weitere Produktionsautomatisierungen realisieren und noch kundenspezifischere Produkte mit hoher Wertschöpfung und verbesserter Leistung produzieren. So kann die Industrie aktiver auf sich ändernde Bedürfnisse reagieren, wettbewerbsfähig bleiben und Arbeitsplätze in der Schweiz erhalten. Ein aktives Ökosystem aus Forschungsorganisationen, Industrieunternehmen sowie Plattformen zur Ausbildung von Ingenieurinnen und Ingenieuren, zum Austausch von Fachwissen und zur Unterstützung von Innovationen sollte unterstützend wirken.



Antimikrobielle Materialien

René Gälli (Livinguard AG) und Christoph Kolano (AVA Biochem AG)



Infektionskrankheiten verursacht durch Bakterien, Pilze und Viren gehören zu den häufigsten Todesursachen. Die in Spitälern auftretenden multiresistenten Keime und die daraus entstehenden Infektionen sind besonders problematisch, weil sie von Bakterien verursacht werden, die gegen eine Vielzahl von Antibiotika resistent sind. Um die Übertragung von Mikroorganismen zu reduzieren, werden unter anderem antimikrobiell wirkende Stoffe (Biozide) zur Desinfektion von Oberflächen eingesetzt. Vermehrt werden auch antimikrobielle Polymere zur Herstellung oder Beschichtung von sich selbst desinfizierenden Kunststoffgegenständen eingesetzt. Die meisten dieser Werkstoffe basieren darauf, dass dem verarbeiteten Polymer ein Biozid zugesetzt wird. Polymere in Form von Fasern werden meist nach der Verarbeitung zum Textil mit Bioziden imprägniert. Die Biozide gelangen an die Oberfläche, wo sie die Mikroorganismen abtöten. Häufig werden dazu Metalle wie Kupfer, Silber und Zink oder antimikrobielle organische Wirkstoffe verwendet. Ein Nachteil dieses Vorgehens ist, dass die Biozide aus dem Polymer ausgewaschen werden. Dadurch sinkt die Wirkung und die Biozide geraten in direkten Kontakt mit Mensch und Umwelt, was wiederum zur Resistenzbildung beiträgt.

So sieht es heute aus

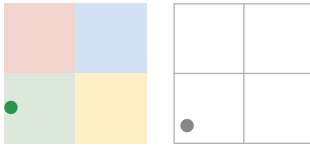
Weltweit unterliegt die Verwendung von Bioziden strikten Auflagen. In Europa sind die regulatorischen Bestimmungen jedoch am strengsten. Die sich fortwährend verschärfende Gesetzgebung und die damit verbundenen Auflagen sind eine grosse Hürde für innovative Unternehmen und Start-ups. In der Schweiz gibt es deshalb nur wenige Firmen, die auf dem Gebiet der Herstellung und Anwendung von Bioziden in Polymeren tätig sind. In den letzten Jahren hat die Forschung die Aufmerksamkeit auf Polymere gelenkt, die ohne Zusatz von Bioziden antimikrobiell sind: Die meisten dieser Polymere weisen eine schwach positive Ladung auf. Da Mikroorganismen eine negativ geladene Zelloberfläche besitzen, werden sie an die positive Polymeroberfläche gebunden und so physikalisch zerstört. Solche Polymere bleiben stabil und sind weniger giftig für Mensch und Umwelt. Die Gefahr von Resistenzbildungen ist wesentlich geringer als bei Polymeren, die Biozide enthalten. In der Schweiz wird an verschiedenen Forschungsanstalten auf dem Gebiet dieser antimikrobiellen Oberflächen geforscht. Ein anderer Ansatz, den eine Reihe kleiner Start-ups in der Schweiz und in Süddeutschland verfolgen, setzt Systeme (Photokatalysatoren, Enzyme etc.) ein, die in situ Biozide bilden. Beide Ansätze sind innerhalb der aktuellen Gesetzgebung möglich. Weil sie aber biozidisch wirken, muss die Unbedenklichkeit für Mensch und Umwelt mit Tests bescheinigt werden, was mit hohen finanziellen Kosten verbunden ist.

Ein Blick in die Zukunft

Prognosen gehen davon aus, dass antimikrobielle Kunststoffe im Jahr 2026 ein weltweites Marktpotential von 65

Milliarden US-Dollar haben werden. Das Marktvolumen in der Schweiz wird zwischen 800 Millionen und einer Milliarde liegen. Wichtige Markttreiber sind die steigenden Anforderungen an die Hygiene in verschiedenen Bereichen, etwa in der Produktion antimikrobieller Oberflächen von medizinischen Apparaten und Instrumenten oder von Berufs- und Schutzkleidung im Gesundheits- und Pflegebereich. Mögliche Einsatzfelder reichen über die medizinische Verwendung hinaus: So könnten antimikrobielle Polymere auch für die Verpackung und Lagerung von Lebensmitteln, in Sanitärprodukten, bei der Wasseraufbereitung oder zur Herstellung von Oberflächen im öffentlichen Verkehr oder in Flugzeugen genutzt werden. In diesen Entwicklungen liegen grosse Chancen für innovative Schweizer Unternehmen aus der Chemieindustrie, Kunststoffverarbeitung, Maschinenindustrie, Medizintechnik, Nahrungsmittelindustrie, Textilverarbeitung, Verpackungsindustrie und der Wasseraufbereitung.

Innovationen und deren Anwendungen werden durch die komplexe Chemikaliengesetzgebung erschwert. Für viele kleinere Unternehmen ist es unmöglich, sich darin zurechtzufinden und den damit verbundenen Aufwand zu stemmen. Ein schweizerisches Kompetenzzentrum mit Fokus auf das regulatorische Umfeld und die Anwendungsentwicklung sowie mit entsprechenden Finanzmitteln für die notwendigen umweltrelevanten und toxikologischen Tests würde die Umsetzung innovativer Technologien fördern und die Marktchancen für Schweizer Unternehmen in diesem zukunftsorientierten Geschäftsfeld erhöhen.



Bioplastik

Roger Marti (HES-SO Fribourg), Hans-Peter Meyer (ExpertInova AG)
und Manfred Zinn (HES-SO Valais-Wallis)

Als Bioplastik bezeichnet man Kunststoffe, die entweder aus erneuerbarer Biomasse produziert werden, aber nicht bioabbaubar sind («Agrokunststoffe»), oder solche, die bioabbaubar sind und entweder aus einem nicht-erneuerbaren Rohstoff wie Erdöl oder auch aus erneuerbarer Biomasse hergestellt werden. Entgegen der weitverbreiteten Meinung gibt es also Bioplastik, der nicht bioabbaubar ist. Aktuell werden jährlich weltweit mehr als 400 Millionen Tonnen Plastik produziert, die potenziell als Mikro- und Nanoplastik die Umwelt belasten. Es gibt aber auch Bioplastik mit aussergewöhnlichen Eigenschaften, der sich nutzbringend einsetzen lässt.

So sieht es heute aus

In der Schweiz nimmt der Pro-Kopf-Verbrauch an Kunststoff weiter zu und ist wesentlich höher als in anderen europäischen Ländern. Im Jahr 2019 haben 187 Nationen eine UN-Vereinbarung unterzeichnet, um die länderübergreifenden Ströme von Plastikabfall zu kontrollieren und reduzieren. Im selben Jahr stimmte das EU-Parlament einem Verkaufsverbot für gewisse Einweg-Kunststoffartikel zu. Ausserdem hat die EU beschlossen, ab 2021 die oxoabbaubaren Kunststoffe, welche fragmentiert, aber nicht von Mikroorganismen biologisch abgebaut werden, aus dem Verkehr zu ziehen. Und Costa Rica will ab 2021 sogar jeglichen Einwegplastik verbieten.

Bioplastik für Massenprodukte wird in vielen Ländern produziert, nicht jedoch in der Schweiz. Die Verwendung von nachhaltigen und innovativen Materialien in der Verpackungsindustrie bewegt sich weiterhin auf einem tiefen Niveau; es fehlen regulatorische Steuermechanismen und Forschungsaktivitäten. Langsam kommt jedoch Bewegung in die Szene. Nestlé etwa hat das *Nestlé Institute of Packaging Sciences* in Lausanne eröffnet, welches sich die Entwicklung von funktionellen, sicheren und umweltfreundlichen Verpackungslösungen auf die Fahne geschrieben hat. Weltweit gibt es etwa 140 Firmen, die sich mit der Entwicklung und Produktion von Bioplastik beschäftigen, meist für den Einsatz bei Massenprodukten. In der Schweiz sieht die Situation jedoch anders aus. Wegen der geringen Rohstoffverfügbarkeit steht hierzulande hochwertiger Bioplastik für Spezialanwendungen zum Beispiel in der Automobilindustrie, Landwirtschaft oder Medizintechnik im Fokus. Einige innovative Schweizer Firmen bewähren sich in Zusammenarbeit mit Hochschulen bereits auf diesem kleinen Gebiet mit hoher Wertschöpfung.

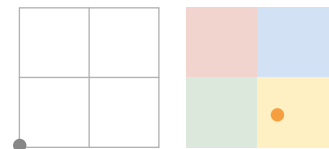
Ein Blick in die Zukunft

Das Thema Kunststoff und speziell Bioplastik wird international aktuell bleiben. Die Schweizer Akteure auf dem Gebiet sind unterschiedlich ausgerichtet, nicht vernetzt und ohne Plattform. Neben einer Vernetzung und Bündelung der Kräfte empfiehlt sich, für den Schweizer Wirtschaftsraum eine kohärente Vision und Strategie zum Thema Bioplastik zu erarbeiten. Auch die Aufklärung und Information der Endverbraucherinnen und -verbraucher zum Thema Bioplastik sollte verstärkt werden. Die kürzlich begonnenen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu neuartigem Hightech-Bioplastik beispielsweise auf Proteinbasis sind sehr zu unterstützen. Für regulatorische Steuermechanismen zur Förderung von Bioplastik ist es in der Schweiz noch zu früh.



Funktionale Fasern

Manfred Heuberger (Empa) und **Urs Mäder** (SATW)



Funktionale Fasern zeichnen sich dadurch aus, dass sie zusätzlich zu den inhärenten Vorteilen der Faserform neue, anwendungsspezifische Zusatzanforderungen erfüllen können. Dazu zählen etwa antimikrobielle Wirkung, hohe Wasserabsorption, Wirkstoffabgabe oder Schutzwirkung gegenüber diversen Einflüssen. Funktionale Fasern werden für die Schweiz in den Bereichen Biowissenschaften, Gesundheit und Technik in den kommenden Jahren relevant sein.

So sieht es heute aus

Die Forschung für funktionale Fasern fokussiert auf Zusatzfunktionen mit hoher Wertschöpfung im Bereich der Leitfähigkeit von Elektrizität und Licht sowie der Aufnahme oder Abgabe von Wirkstoffen. Die Anwendungsgebiete spannen von der Kommunikation bis zur Medizintechnik. Insbesondere Mehrkomponentenfasern können durch Kombination verschiedener Kunststoffe neue technische Anforderungen erfüllen und ermöglichen im Hinblick auf die Balance zwischen Stabilität und Abbaubarkeit neue Variationen. Ein erfreuliches Anwendungsbeispiel ist das *Mobility Assisting textile eXoskeleton* der Firma *MyoSwiss*. Zweikomponentenfasern mit schmelzbarem Mantel werden eingesetzt, um wahlweise flexible oder starre Strukturen ineinander übergehen zu lassen.

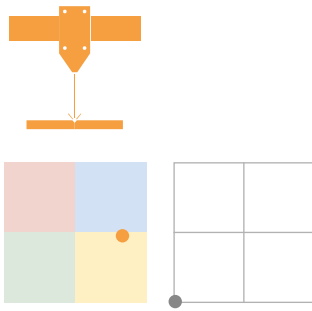
Die im *Technology Outlook 2019* erwähnte Entwicklung von neuartigen Flammenschutzmitteln hat weiter Fahrt aufgenommen. Es entstehen kommerziell erhältliche, flammgeschützte PET- und Polyolefinfasern sowie Textilien für Aussenanwendungen und öffentliche Räume. An der *Expo 2020*, die 2021 in Dubai stattfinden wird, werden solche Produkte aus der Schweiz vorgestellt. Eine bemerkenswerte Entdeckung ist, dass diese phosphorbasierten Flammenschutzmittel selbst bei niedrigen Konzentrationen eine chemische Stabilisierung von Polyesterschmelzen erzielen, was für die Gestaltung von Recyclingprozessen Vorteile bringen kann.

Die Corona-Krise hat uns in Erinnerung gerufen, wie wichtig die Adsorption von Aerosoltröpfchen und die Wechselwirkung von biologischen Partikeln mit Faseroberflächen wie Masken sein kann. Die Weiterentwicklung solcher Flächengebilde wird nicht nur die Forschenden in der Schweiz fordern.

Ein Blick in die Zukunft

Sowohl international als auch national gehen die Anforderungen an Fasern in Richtung der Nachhaltigkeit von Materialien und Prozessen. Die hohe Stabilität von Synthesefasern aus fossilen Rohstoffen und ihre niedrigen Prozesskosten erschweren dagegen die angestrebte Herstellung von Fasern, welche aus biobasierten Rohstoffen entstehen und sich nach Gebrauch schnell zersetzen. Die Entwicklung solcher Fasern wird dabei zunehmend eine Frage des geeigneten Prozesses. Neue Logistik- und Geschäftsmodelle sind gefragt, um Aspekte der Kreislaufwirtschaft zu integrieren.

Diese Entwicklung ist eine grosse Chance für Schweizer Unternehmen, da sie den gesamten Lebenszyklus des Produkts einschliesst. Die Schweizer Bevölkerung ist für diese Thematik sensibilisiert. Als nachteilig könnte sich erweisen, dass die Grundlagenforschung im Bereich der Kunststoffchemie national und international kein Schwerpunktthema mehr ist, obwohl ein Markt mit hohen Umsatzzahlen besteht. Schweizer Unternehmen, welche von den neuen Entwicklungen profitieren möchten, sollten aktiv den Dialog mit den zahlreichen Schweizer Forschungsinstituten suchen und das Förderangebot für Machbarkeitsstudien nutzen, um spezifisches Know-how für die Entwicklung eigener Produkte und zu interessanten Märkten zu erwerben.



Photonische Fertigung

Andreas Conzelmann (TRUMPF Schweiz AG)

Der Begriff Oberflächenbearbeitung umfasst eine Vielzahl von Verfahren, welche die Eigenschaften des Materials verändern oder die Oberfläche strukturieren. Für die Oberflächenbearbeitung kommen in der Regel Laser mit mittleren Ausgangsleistungen zum Einsatz, welche im Dauerstrichbetrieb, gepulsten Betrieb (Mikro- bzw. Nanosekundenpulse) oder ultrakurzgepulsten Betrieb (Piko- bzw. Femtosekundenpulse) eingesetzt werden. Die Bearbeitung von Oberflächen ist für nahezu alle Branchen relevant, beispielweise für Automobilbau, Batterietechnik, Elektronik, Kommunikation, Luft- und Raumfahrttechnik, Medizintechnik, Nahrungsmittelindustrie, Sicherheitstechnik, Uhren und Schmuck, Unterhaltungselektronik oder Verteidigungstechnik.

So sieht es heute aus

Die Megatrends Digitalisierung, Globalisierung, Individualisierung und Sicherheit führen zu stetig steigenden Anforderungen bezüglich der Rückverfolgbarkeit von Baugruppen, Produkten und Teilen entlang der gesamten Prozess- und Logistikkette. Neue Trends wie Konnektivität, Mobilität und Neo-Ökologie werden dazu führen, dass Oberflächenstrukturierung von Metallen, Halbleitern und Polymeren, das Abtragen von Schichten sowie Produktionsverfahren in den Bereichen Display oder E-Mobilität immer wichtiger werden. Insbesondere bei den Letzteren entstehen vermehrt neue Applikationen, welche Laserstrahlquellen mit neuen Parameterfeldern erfordern.

Die Schweizer Forschungslandschaft ist im Bereich der photonischen Fertigung im internationalen Vergleich weiterhin führend. Das liegt einerseits an der hervorragenden Grundlagenforschung an der *ETH Zürich* und der *EPFL*. Andererseits etablieren sich die Fachhochschulen zunehmend in industrienahen Bereichen angewandter Forschung und Entwicklung wie beispielsweise Materialbearbeitung mit Lasern, Bildverarbeitung oder Optoelektronik. Die Fachgruppe *Photonics* der *Swissmem* sowie *Swissphotonics* agieren zudem als Drehscheiben und Bindeglieder zwischen Bildung, Forschung und Industrie. In den letzten drei Jahren entstanden in der Schweiz im Umfeld der Hochschulen und Industriefirmen neue Forschungsgruppen. Zudem werden neu Themen wie Bio-Nano-Photonik oder Mikrowellen-Photonik bearbeitet. Auch die Schweizer Bildungslandschaft hat sich in den vergangenen Jahren weiterentwickelt: Im Bereich Photonik wurden mehrere neue Bachelorstudiengänge geschaffen und im Herbst 2020 ein neuer Masterstudiengang etabliert.

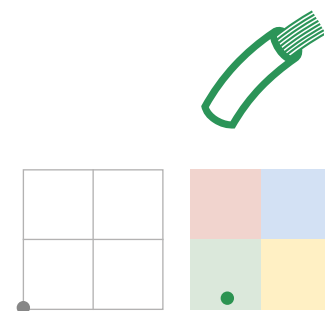
Ein Blick in die Zukunft

Die Photonik und insbesondere die Oberflächenbearbeitung mit Lasern etabliert sich zunehmend als Enablertechnologie für so unterschiedliche Bereiche wie autonome Systeme, Energieversorgung, Digitalisierung, Künstliche Intelligenz, Medizintechnik, Quantentechnologie, Robotik oder Smart Cities.

Aufgrund vorhandener Kompetenzen und Erfahrungen könnte die Schweizer Industrie vor allem in den Bereichen Medizintechnik und Robotik profitieren. Der Gesamtmarkt «Photonik» betrug in der Schweiz im Jahr 2019 rund 4,4 Milliarden Schweizer Franken, wovon mehr als die Hälfte auf das Segment «Photonische Fertigung» entfiel, und das jährliche Wachstum wird für die kommenden Jahre mit 6 Prozent prognostiziert. Um von diesem Wachstum profitieren zu können, sollten Schweizer Unternehmen weiterhin in Forschung und Entwicklung investieren und ihre Vertriebsaktivitäten intensivieren.

Wärmeleitende elektrische Isolatoren

Urs Burckhardt und Steffen Kelch (Sika Technology AG)



Elektrische Isolatoren herzustellen, die über sehr gute Wärmeleiteigenschaften verfügen, ist technisch anspruchsvoll. Denn bei vielen Materialien, so bei Metallen oder Graphit, sind gute thermische Leiter auch elektrische Leiter. Thermisch leitfähige Materialien (engl. thermal interface materials: TIMs) sind wesentliche Bestandteile in der Entwicklung neuer Batterien für die E-Mobilität sowie für die Computer- und Medizintechnik. TIMs kommen als verbindende Klebstoffe oder lückenfüllende Giessharze zum Einsatz.

So sieht es heute aus

Zur Optimierung der Wärmeleitfähigkeit elektrischer Isolatoren werden sehr begrenzt thermisch leitfähige Trägermaterialien mit geeigneten festen Partikeln kombiniert. Durch die Anwendung anorganischer Füllstoffe mit massgeschneiderten Oberflächen wird die Wechselwirkung zwischen Polymer und wärmeleitfähigem Füllstoff signifikant verbessert. Weiter werden flüssige Wärmetauschmedien oder Materialien entwickelt, die es ermöglichen, thermisch induzierte Phasenumwandlungen zur Energieabfuhr zu nutzen. Angestrebt werden elektrisch isolierende Funktionsmaterialien, die über eine thermische Leitfähigkeit verfügen, welche diejenige von herkömmlichen Kunststoffen um einen Faktor von 15 bis 30 übertrifft.

Die Schweiz ist ein attraktiver und leistungsfähiger Standort der Automobilzulieferindustrie. Materialien für die Herstellung von Batteriemodulen und die Fertigung von (Elektro-)Fahrzeugen stellen für die Automobilzulieferindustrie ein schnell wachsendes Marktsegment dar. Die fortschreitende Miniaturisierung und die damit verbundene Erhöhung von Energiedichten in elektronischen Bauteilen führt zu neuen Anforderungen an wärmeübertragende Materialien: Diese müssen möglichst kleine Lücken ausfüllen. Die technologischen Herausforderungen liegen insbesondere darin, Systeme zu finden, die sich gut verarbeiten lassen und als Klebstoff, «Gap Filler», Klebeband oder Pad gute Wärmeübertragung und langfristige Zuverlässigkeit gewährleisten. Im E-Mobilitätsbereich werden TIMs gefordert, die nach Gebrauch leicht demontierbar und recycelbar sind.

Ein Blick in die Zukunft

TIM-Innovationen haben in grossvolumigen Anwendungsfeldern das Potenzial, eine hohe Wertschöpfung zu generieren. Bis 2025 sind globale Marktvolumina von einigen Milliarden Schweizer Franken möglich. Es ist aber eher unwahrscheinlich, dass die Schweizer Industrie in diesem zukunftssträchtigen Feld zeitnah zu den führenden Industrienationen aufschliesst; es sei denn, Forschung und Entwicklung im Bereich der TIM werden priorisiert und entsprechend gefördert. Das Auffinden und die Nutzung marktfähiger Lösungen, die sich in einem Zeitrahmen von fünf Jahren umsetzen lassen, sind Grundvoraussetzungen für das Bestehen in diesem anspruchsvollen, globalen Marktumfeld. Eine weitere spezifische Herausforderung für die hiesige Industrie ist der Umstand, dass die Schweiz aufgrund ihrer Grösse und Bedeutung nicht zu den führenden Elektronik- und Automobilindustrieländern zählt. Ausserdem verfügt sie nicht über die Ressourcen, um in diesem Feld eine massgebliche Rolle zu spielen.

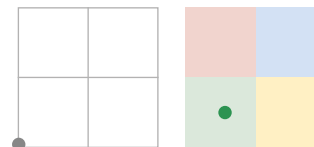
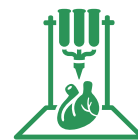
Auch wenn Schlüsseltechnologien für Energieerzeugung und -speicherung weniger öffentlichkeitswirksam sind als IT und Gesundheitsthemen, sind sie dennoch zentral. Es ist wichtig, dass die Schweizer Industrie auch in diesen zukunftsbestimmenden Feldern nicht den Anschluss verliert. Entscheidend für eine erfolgreiche Industrie- und Forschungspolitik ist die Einbindung der Schweizer Wissenschaft und Industrie in internationale Forschungs- und Industriekooperationen.



Life Sciences

3D-Biodruck

Michael Raghunath (ZHAW)



Im Bereich Tissue Engineering hat sich die additive Fertigung von Geweben und Organen, der 3D-Biodruck («Bioadditive Manufacturing»), als vielversprechende Technologie etabliert. Er unterscheidet sich vom einfachen Drucken von Biomaterialien, da lebende Zellen Teil des Fertigungsvorgangs sind. Die Zellen werden gezielt auf gedruckte Strukturen gesprüht oder in ein Biomaterial, die Biotinte, eingebettet und in räumlicher Verteilung abgesetzt. Mittels 3D-Biodruck können lebende Gewebe in einem Schicht-für-Schicht-Verfahren theoretisch beliebig zusammengesetzt und aufgebaut werden und es kann eine höhere Komplexität als beim Standard Tissue Engineering erzielt werden. So sollte eine zunehmend vollständige physiologische Aktivität menschlichen Gewebes in Zellkultur möglich sein. Das ist wichtig für die Pharmaindustrie, da die Entwicklung von Medikamenten und Kosmetika sehr ineffizient und teuer ist. Standardisiert hergestellte Gewebe können den Testprozess verbessern und gleichzeitig Tierversuche reduzieren. In der regenerativen Medizin erlaubt 3D-Biodruck, vaskuläre Strukturen in das Implantat zu drucken, was bei herkömmlichen Tissue-Engineering-Verfahren nicht möglich ist.

So sieht es heute aus

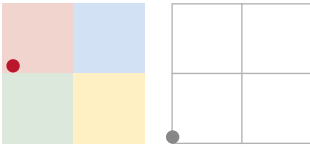
Kerntechnik und Herausforderung zugleich ist bei 3D-Biodruckern die Extrusion von Material und Zellen aus einer Kanüle. Daher beschäftigen sich Forschende hauptsächlich mit dem Design der Druckköpfe und mit druckbaren Hydrogelen. Eine Alternative ist die patentgeschützte Kenzan-Technik des *Regenova* Druckers von *Cyfuse Biomedical K.K.*: Zellkugeln werden auf senkrechte Nadeln aufgespiesst und dicht an dicht platziert, sodass sie miteinander verschmelzen und auch ohne Haltegerüste Strukturen bilden. Die Herstellung integrierter Blutgefässe bleibt weiterhin eine Herausforderung. Die *NASA* initiierte 2016 einen Wettbewerb, um ein 1 cm³ umfassendes Gewebe in vitro herzustellen, das durch blutgefässartige Strukturen für 30 Tage versorgt wird. Bis heute gab es keine erfolgreiche Lösung.

Die Schweiz ist in allen Branchen, welche die 3D-Biodruck-Technologie nutzen können, stark aufgestellt. Das gilt sowohl für die Kosmetik- und Pharmaindustrie als auch für die regenerative Medizin. In der Schweiz gibt es zahlreiche potenzielle Zulieferer, die sowohl Hardware (Druckdüsen, Elektronik, Roboterarme, Ventile) als auch Steuerungssoftware für automatisierte Prozesse herstellen. Auch für die Zellkultur benötigten Komponenten spielt die Schweiz eine führende Rolle. Dank der Integration der Technologie in bestehende industrielle und medizinische Prozesse sowie der Vernetzung relevanter Industriepartner wird die Schweiz ihre gute Position weltweit halten können.

Ein Blick in die Zukunft

Während die Anwendungsfelder für den 3D-Biodruck gleichbleiben, werden sich neue Druck- und Zellmontageverfahren zu den gegenwärtigen Techniken dazugesellen. Dazu gehört das kontrollierte Erzeugen von Sphäroiden, deren optische Kontrolle, gezielte Aufnahme in die Sphäroiden und Neupositionierung. Im Ausland gibt es starke nationale Strategien: In Südkorea wird Bioprinting zur Stärkung der regenerativen Medizin und der lokalen Pharmaindustrie gefördert. In China gibt es erste Bioprinting-Firmen. In den USA trat ab 2016 die Initiative *BioFabUSA* in Kraft, finanziert mit je 150 Millionen US-Dollar vom Verteidigungsministerium und der Industrie. Erklärtes Ziel ist die Förderung von Projekten im Bereich des Bioadditive Manufacturing unter Einbezug des 3D-Biodrucks.

Obwohl die Schweiz mit *REGENHU* einen Weltmarktführer für 3D-Biodruck hat, ist eine vergleichbare nationale Strategie, die Technologieführerschaft in diesem Bereich anstrebt, derzeit nicht erkennbar. Im Schweizer *Nationalen Thematischen Netzwerk Additive Manufacturing* spielt 3D-Biodruck keine Rolle. Momentan wird der Technologie sowohl auf Forschungs- als auch auf Industrieebene zu wenig Beachtung geschenkt. Es bedarf nationaler Forschungsprogramme und -initiativen für anwendungsorientierte Grundlagenforschung, um international kompetitiv zu bleiben. Da sich die Manipulation von Sphäroiden als Alternative zu Spritzguss und Sprühen anbietet, ist es bedeutsam, dass mehrere Schweizer Unternehmen wie *InSphero AG*, *Kugelmeiers AG* und *SUN bioscience AG* Zellkulturplattensysteme zur Herstellung von Zellkugeln anbieten.



Alternative Proteinquellen

Erich Windhab (ETH Zürich)

Eine längerfristig vorhergesagte globale Unterversorgung der wachsenden Weltbevölkerung mit Proteinen sowie ein in Industrienationen zunehmendes Hinterfragen der Nachhaltigkeit von Lebensmitteln tierischen Ursprungs haben in den letzten Jahren die Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten zu neuen Proteinquellen und deren technologischer Bearbeitung massgeblich angeregt.

So sieht es heute aus

In den vergangenen Jahren haben sich zwei Hauptstossrichtungen herauskristallisiert. Die eine adressiert Algen- und Insektenproteine, die als Lebensmittel bislang eine untergeordnete Rolle spielten. Die andere entdeckt bestimmte Pflanzen als Proteinquellen für den Ersatz tierischer Proteine aus Ei-, Fleisch- und Milchprodukten (wieder). Für die Produktion von Insektenproteinen fehlte bisher eine Umweltverträglichkeitsprüfung. Inzwischen haben Firmen wie *Protix* aus den Niederlanden industrielle Produktionsmassstäbe erreicht, womit relevante Ökobilanzierungen möglich werden. Erste Analysen kommen zum Ergebnis, dass Insektenproteine für die Herstellung von Futtermitteln bereits kompetitiv sind. Weitere Effizienzsteigerungen sind künftig absehbar, sofern bislang ungenutzte Biomasse-Abfallströme als Futterquellen genutzt werden. Die erstellten Lebenszyklusanalysen liefern darüber hinaus Hinweise auf eine verbesserte Umweltverträglichkeit, wenn organische Abfälle in Insektenbiomasse umgewandelt statt kompostiert oder anaerob abgebaut werden.

Algen sind eine vielversprechende Proteinquelle, die in der Trockenmasse einen Proteingehalt von bis zu 70 Prozent aufweisen und essenzielle Aminosäuren sowie signifikante Mengen an Mikronährstoffen enthalten. Die Blaualge *Arthrospira*, auch bekannt als *Spirulina*, sowie die Grünalge *Chlorella vulgaris* gelten als «Algen-Superfoods» schlechthin mit vorteilhafteren Aminosäureprofilen gegenüber typischen Pflanzenproteinen. Allerdings besteht für Aufbereitung und insbesondere wirtschaftliche Extraktion der hochwertigen Algenproteine noch deutlicher technologischer Entwicklungsbedarf. Gleichwohl liegen aus der Schweiz vielversprechende Umsetzungen vor. So wurde bereits Algenbiomasse aus *Chlorella* erfolgreich in protein- und faserreiche Fleischanaloge eingebunden.

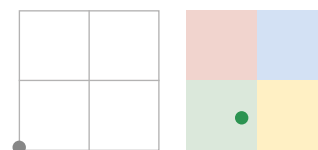
Ein Blick in die Zukunft

Gemäss aktuellen Prognosen soll der europäische Markt für Pflanzenproteine bis 2024 bei einer jährlichen Wachstumsrate von mehr als 7 Prozent ein Gesamtvolumen von 2,8 Milliarden Franken erreichen. Die Flexitarierbewegung, also Personen die sich vermehrt vegan oder vegetarisch ernähren, sowie Kosten-, Nachhaltigkeits- und Umweltvorteile sind die treibenden Kräfte dieses Wachstums. Bei den «neu entdeckten» Pflanzenproteinen aus Getreiden, Hülsenfrüchten, Kernen, Nüssen und Ölsaaten sind neben den bislang dominierenden Sojaproteinen vor allem Ackerbohnen und Erbsen wegen des hohen Proteingehalts und den geeigneten Aminosäureprofilen von zunehmender Bedeutung. Voraussetzung für deren Nutzung ist die technologische Beherrschung der Prozesse zur Eliminierung von antinutritiven Komponenten und zur effizienten Proteinextraktion. Effizienzsteigerungen sind notwendig, auch wenn für die Weiterverarbeitung zu Fleischanalogen, Käse oder Pflanzenmilchgetränken bereits geeignete, in der Praxis optimierte Proteinisolate und -konzentrate verfügbar sind.

Die Herstellung von Fleischanalogen auf Basis von Pflanzenproteinen verspricht synergistische Vorteile aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Perspektive. Die in der Schweiz seit 2018 sichtbare «Aufbruchstimmung», welche Forschungsgruppen, Start-ups und Firmen aller Grössen gleichermassen erfasst hat, gilt es zu fördern, durch technologische Begleitentwicklungen auszubauen und es gilt Schweizer Business Cases zu entwickeln. Die Chancen sind aussichtsreich.

Biokatalyse und Biosynthese

Rebecca Buller (ZHAW)



Unter Biokatalyse und Biosynthese versteht man die Anwendung von Enzymen (natürlichen Katalysatoren) oder Mikroorganismen zur nachhaltigen Herstellung von Produkten in Ergänzung zur klassischen chemischen Synthese: Die biologisch abbaubaren Biokatalysatoren können mittels gerichteter Evolution für viele Einsatzgebiete massgeschneidert werden, welche für die traditionelle Chemie eine Herausforderung darstellen. Biokatalyse oder Biosynthese werden bereits in vielen Industrien eingesetzt, so etwa zur Produktion von Feinchemikalien, in der Geschmacks- und Geruchsstoffindustrie oder in der Wirkstoffherstellung. Biokatalyse und Biosynthese sind Hoffnungsträger für die Nutzbarmachung erneuerbarer Rohstoffe und ermöglichen eine grössere Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern.

So sieht es heute aus

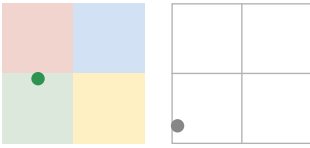
In den letzten Jahren wurden signifikante Fortschritte erzielt: Der Nobelpreis für Chemie wurde 2018 an Frances Arnold für die gerichtete Evolution von Enzymen vergeben. Zudem wurden weitere Enzymfamilien industriell nutzbar gemacht und für die Herstellung von Pharmazeutika eingesetzt sowie richtungsweisende industrielle Prozesse entwickelt, in denen mehrere Enzyme hintereinandergeschaltet wurden, um komplexe Produkte herzustellen. Allerdings können regulatorische Vorschriften zum Beispiel für den Einsatz von Enzymen als Hilfsstoffe in der Lebensmitteltechnologischer Verarbeitung sowie drohende Einschränkungen des offenen Zugangs zu bioinformatischen Daten die industrielle Nutzung von Biokatalyse und Biosynthese erschweren. Viele Chancen für nachhaltige Entwicklungen, die auf diesen Daten beruhen, blieben ungenutzt.

Grosse Schweizer Unternehmen wie *Nestlé* und *Novartis* weiten ihre Kapazitäten in der Biokatalyse, der Biosynthese sowie im Enzymdesign aus und nutzen die Technologie zur Herstellung von Wertprodukten. KMU nutzen die Möglichkeiten der Biokatalyse und Biosynthese noch selten. Um das Problem der limitierten Verfügbarkeit von Fachkräften zu lösen, werden in der Schweiz aktuell neue Studiengänge und Weiterbildungsprogramme entwickelt.

Ein Blick in die Zukunft

Dank verbesserter Verfahren zur gerichteten Enzymevolution und dem verstärkten Einsatz künstlicher Intelligenz werden zusätzliche Enzymklassen industriell zugänglich gemacht und die Zeit bis zur Markteinführung biokatalytisch abgeleiteter Produkte wird verkürzt. Miniaturisierung und Automatisierung sind weitere Treiber in diesem Prozess. Neuartige biokatalytische Prozesse öffnen die Tür für Innovationen im Bereich neuer Wirkstoffe. Biokatalyse und Biosynthese können zu einem Gamechanger in der nachhaltigen Produktion von Chemikalien aus nicht-erdölbasierten Rohstoffen sowie beim Abbau von Plastikabfall werden.

Die Corona-Krise hat der Schweiz eindrücklich vor Augen geführt, dass sie in Bezug auf die Produktion essenzieller Medikamente nicht selbstversorgend ist. Die Wirkstoffe bzw. die entsprechenden Vorprodukte müssen vor allem aus Asien bezogen werden. Die Schweiz sollte zumindest kleine Mengen lebenswichtiger Medikamente für die Notfallversorgung im Inland produzieren können. In diesem Kontext könnten auch Biokatalyse und Biosynthese eine Rolle spielen. Der Dialog zwischen industriellen und akademischen Partnern ist wesentlich, um den Erfolg von Biokatalyse und Biosynthese weiter zu verstärken. Ein mögliches Instrument für die Schweiz ist die finanzielle Förderung von Netzwerkprojekten, um den Austausch zwischen relevanten Partnern zu ermöglichen. Will eine Firma Biokatalyse und Biosynthese einbinden, lohnen sich Wissensaufbau durch Kollaborationen, Weiterbildung der Belegschaft und entsprechende Anforderungsprofile an personelle Neuzugänge.



Massenkultivierung von Stammzellen

Regine Eibl (ZHAW)

Humane Stammzellen sind menschliche Körperzellen, die Kopien von sich selbst herstellen und in verschiedene Zelltypen oder Gewebe ausdifferenzieren können. Ihr enormes Potenzial für die Erforschung und Therapie schwerer Erkrankungen ist unbestritten. Beispiele sind neurologische, orthopädische, Augen-, Blut-, Herz- und Krebserkrankungen, bei welchen Stammzellen zum Ersatz oder zur Reparatur geschädigter Zellen oder Gewebe benutzt werden. Die Therapien werden sowohl mit körpereigenen als auch fremden Zellen durchgeführt. Neben pluripotenten Stammzellen werden vor allem Blutstammzellen und mesenchymale Stammzellen (MSCs) aus dem Knochenmark und Fettgewebe verwendet. Pluripotente Stammzellen lassen sich in jeden Zelltyp des Organismus entwickeln und umfassen die natürlicherweise pluripotenten embryonalen Stammzellen sowie beliebige Körperzellen, die im Labor zu pluripotenten Stammzellen umprogrammiert werden. Blutstammzellen und MSCs sind hingegen multipotent: Sie lassen sich nur in eine begrenzte Anzahl von Zelltypen differenzieren.

So sieht es heute aus

Unabhängig vom Zelltyp besteht weltweit ein wachsender Bedarf an humanen Stammzellen. Um diesen zu decken, müssen die Stammzellen unter Beibehaltung ihrer spezifischen Eigenschaften in der erforderlichen Menge und Qualität hergestellt werden. Solche Massenkultivierungen erfolgen in der Regel in sterilen Kunststoffschalen, sogenannten Cell Factories. Hier wachsen die Stammzellen bei 37 °C in bis zu 40 übereinander liegenden Ebenen auf einer Gesamtfläche von bis zu einem Quadratmeter. Deren Handhabung ist jedoch schwierig und ihre Überwachung nur eingeschränkt möglich. Die Produktion grosser Zellzahlen erfolgt durch eine aufwändige und teure Multiplikation der Kulturschalen. In der Schweiz werden Stammzellen für therapeutische Zwecke in Spitälern unter Verwendung von Cell Factories vermehrt; grosse Produktionsanlagen fehlen weitgehend.

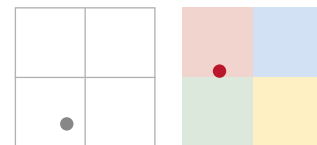
Ein Blick in die Zukunft

Eine alternative Form der Herstellung sind automatisierte Einwegbioreaktoren, in denen die Zellen mit oder ohne Trägermaterialien (Microcarrier) in Suspension, also in einer Flüssigkeit mit darin fein verteilten Kügelchen kultiviert werden. Schweizer Arbeitsgruppen haben bereits erfolgreich Stammzellen in Einwegbioreaktoren bis zum Produktionsmassstab kultiviert. Mit der Entwicklung von auf die Stammzelltypen abgestimmten, chemisch definierten Kulturmedien und Microcarriern leistet die akademische und industrielle Forschung in der Schweiz weitere wichtige Beiträge. Optimierungspotenzial besteht noch bei Einwegbioreaktoren kleineren Volumens und der dazugehörigen Sensortechnik. Auch die Möglichkeit, die 3D-Drucktechnik zur Herstellung von an die Zellen angepassten Einwegkesseln zu nutzen, sollte in diesem Zusammenhang geprüft werden.

Für 2025 wird der globale Stammzelltherapiemarkt gemäss der Prognose des Marktforschungsinstituts *Analytical Research Cognizance* 828,7 Millionen US-Dollar erreichen. Schweizer Spezialistinnen und Spezialisten sind in einer ausgezeichneten Position, ihre Expertise in der Massenkultivierung von Stammzellen in nationalen und internationalen Forschungsprojekte einzubringen sowie Produzenten von Zelltherapeutika wie etwa *Lonza* oder Spitäler zu unterstützen.

Medizinische Wearables

Walter Karlen (ETH Zürich) und Jens Krauss (CSEM)



Medizinische Wearables sind am Körper getragene Geräte zum Erheben von Gesundheitsdaten. Diese Daten werden an verbundene Geräte (wie Computer oder Smartphones) oder über das Internet an Dienstleister weitergeleitet. So ermöglichen sie eine kontinuierliche Überwachung des Gesundheitszustandes und den Zugang zu personalisierten medizinischen Dienstleistungen. Dazu beinhalten medizinische Wearables eine Kombination aus integrierten Sensoren, Aktoren, Prozessoren und Schnittstellen, um die Daten zu erheben, zu verarbeiten und zu teilen.

So sieht es heute aus

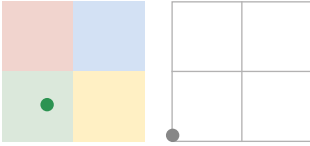
Medizinische Wearables sind seit den 1990ern auf dem Markt. Zu den frühen Wearables gehören Assistenzalarne für Betagte und Geräte zur Messung des Blutsauerstoffgehalts, sogenannte Pulsoximeter. In den letzten Jahren haben Wearables den Fitnessmarkt erobert. Diese Consumer-Produkte beinhalten vermehrt auch medizinische Features. Umgekehrt werden medizinische Geräte mehr und mehr zu Wearables. Medizinische Wearables finden Einsatz in der Gesundheitsvorsorge und -promotion, werden aber auch in Telemedizin, Rehabilitation und häuslicher Pflege eingesetzt. Im Jahr 2019 wurden weltweit mehr als 30 Millionen Einheiten verkauft, was einem Marktvolumen von rund 10 Milliarden Franken entspricht. Ein Haupttreiber für die Verbreitung von medizinischen Wearables ist die medizinische Fernüberwachung von Patientinnen und Patienten. Sie helfen medizinischen Fachpersonen beim Beobachten von Krankheiten und ermöglichen den Patientinnen und Patienten, für ihre eigene Gesundheit vorzusorgen, indem sie Vitalparameter eigenständig beobachten und danach handeln können.

Die Entwicklung von medizinischen Wearables erfordert die Zusammenarbeit von Fachleuten aus verschiedenen Disziplinen. Die Herausforderungen liegen insbesondere in der Verbesserung der Datenintegrität und im Datenschutz, in der Benutzerakzeptanz und der Therapietreue, der medizinischen Compliance und der nahtlosen Integration in klinische Arbeitsabläufe. Die Schweiz ist gut positioniert, um eine führende Rolle im Feld der tragbaren medizinischen Geräte zu spielen. In der letzten Dekade sind hierzulande hunderte neue Start-ups in diesem Bereich entstanden.

Ein Blick in die Zukunft

Es ist davon auszugehen, dass die Verbreitung von medizinischen Wearables stark zunehmen wird. Zukünftige Anwendungsgebiete sind Beobachtung von Krankheitsverläufen und Intervention, besonders bei chronischen Erkrankungen. Damit können die Behandlungen besser evaluiert und an die Bedürfnisse von Patientinnen und Patienten angepasst werden. Die Verbreitung von medizinischen Wearables wird eine digitale, personalisierte Gesundheitsvorsorge ermöglichen. Die Corona-Pandemie zeigt deutlich, dass ein Bedarf für medizinische Wearables besteht, um Krankheiten zu verhindern, Risikopatientinnen und -patienten zu verfolgen, respektive deren Gesundheitsparameter zu beobachten und Verhaltensänderungen zu unterstützen. Grosse Herausforderungen sind insbesondere regulatorischer Art. Dazu gehören die Fragen, wem die so gewonnenen Daten gehören, wie die Wearables in die aktuelle Gesundheitsvorsorge integriert werden und ob die Daten für Krankenversicherungen genutzt werden dürfen.

Schweizer Entwicklungen werden den Markt der medizinischen Wearables beeinflussen. Hiesige Hersteller von medizinischen Wearables können ihre gute Ausgangslage weiter verbessern, indem sie international mit Krankenversicherungen, IT- und Pharmaunternehmen sowie Smartphone-Herstellern kollaborieren. Zudem ist es von entscheidender Bedeutung, dass weiter in Forschung und Entwicklung in der biomedizinischen Sensorik, der (Medizin-)Informatik, der Mikrotechnologie und in die Datenanalyse investiert wird. Medizinische Wearables werden nur dann durchschlagenden Erfolg haben, wenn die Regularien angepasst werden. Es gilt sicherzustellen, dass Daten transparent und sicher geteilt werden können.



Medizinroboter

Bradley Nelson (ETH Zürich)

Die medizinische Robotik schafft eine enge Zusammenarbeit zwischen Mensch und computergestützter Technologie zur Optimierung von Chirurgie und Interventionsmedizin. Dieser Wandel im Gesundheitswesen umfasst die Einbeziehung künstlicher Intelligenz zum Beispiel in die Diagnose oder die detaillierte Überwachung sowie den Einsatz intelligenterer medizinischer Geräte zur Erzielung therapeutischer Vorteile. Der Beitrag im *Technology Outlook 2019* hob die damals bemerkenswertesten wirtschaftlichen Erfolge auf diesem Gebiet sowie die Folgen für das Schweizer Gesundheitswesen hervor, quantifizierte die Schweizer Forschungsaktivitäten in diesem Bereich sowie mögliche wirtschaftliche Auswirkungen für die Schweizer Medizinprodukteindustrie und identifizierte potenzielle regulatorische.

So sieht es heute aus

Seit 2019 ist es zu einer Reihe bedeutender internationaler Entwicklungen gekommen, welche die Schlussfolgerungen des *Technology Outlooks 2019* bekräftigen. Anfang 2019 übernahm *Medtronic* für 1,7 Milliarden US-Dollar *Mazor Robotics*, ein israelisches Unternehmen mit Schwerpunkt robotergestützte Wirbelsäulenchirurgie. Die Kerntechnologie von *Mazor* liegt im Bereich der Roboterleitsysteme zur präzisen Planung und Durchführung der Implantatplatzierung. Im Februar 2019 übernahm *Johnson & Johnson* für 3,4 Milliarden US-Dollar *Auris Health*, einen US-amerikanischen Entwickler von Roboterdiagnostik und chirurgischen Geräten mit Schwerpunkt Lungenkrebs. Das Kernprodukt von *Auris* ist die *Monarch*-Plattform für Fern-Endoskopie mit kleinen Kameras und Werkzeugen, die durch natürliche Öffnungen in den Körper gelangen. Später 2019 übernahm *Siemens* für 1,1 Milliarden US-Dollar das US-amerikanische Unternehmen *Corindus Vascular Robotics*, Hersteller einer minimalinvasiven Roboterplattform für koronare, periphere und neurovaskuläre Eingriffe. Kernprodukt des Unternehmens ist der *CorPath GRX* zur Fernsteuerung von Gefässkathetern. In den letzten zwei Jahren erhielt *Stereotaxis*, ein US-amerikanischer Hersteller von magnetisch geführter Robotertechnologie für die Herzchirurgie, zusätzliche 40 Millionen US-Dollar an Finanzmitteln. Kürzlich kündigte das Unternehmen sein neues *Genesis*-System zur Fernsteuerung von Kathetern mit magnetischer Spitze und integrierter Fluoroskopie an. Ein weiteres Unternehmen für robotergesteuerte Koronarkatheter, der französische Corindus-Wettbewerber *Robocath*, gab im August 2020 den Abschluss einer Finanzierungsrunde in Höhe von 40 Millionen Euro bekannt.

Asien, insbesondere China, hat auch weiterhin stark in medizinische Robotik investiert und die bedeutenden Investitionen und Akquisitionen werden sich in den kommenden Jahren mit grosser Sicherheit fortsetzen. Kleinere Gruppen in der Schweiz konnten Fortschritte in der Technologieentwicklung verzeichnen. Beispielsweise optimiert *CAScination* auch weiterhin die Tumorablationstechnologie durch eine verbesserte Nadelplatzierung sowie eine reduzierte Eingriffszeit und Strahlenexposition. Forschungen zu magnetisch geführten chirurgischen Eingriffen an der *ETH Zürich* haben die ersten mobilen magnetischen Navigationssysteme hervorgebracht, die sich problemlos in Operationssäle integrieren lassen. Trotz dieser Fortschritte lagen die Investitionen in der Schweiz nicht auf der gleichen Höhe wie in anderen Ländern weltweit. Wahrscheinlich haben Unsicherheiten durch die neuen europäischen Vorschriften für Medizinprodukte den Enthusiasmus der Anleger gedämpft. Der lange Zeithorizont, auf den sich Investoren in diesem Bereich einstellen müssen – in der Regel fünf bis zehn Jahre bis zur Erzielung signifikanter Einnahmen – ist ein weiterer Grund für das eingeschränkte Interesse der Schweizer Investorengemeinschaft an medizinischer Robotik. →

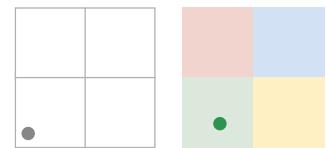
Ein Blick in die Zukunft

Natürlich wird die medizinische Robotik auch in den kommenden Jahrzehnten Auswirkungen auf das Gesundheitswesen weltweit haben. Ein bedeutendes Versprechen der Technologie ist die Verbesserung chirurgischer Fähigkeiten bei gleichzeitiger Reduzierung des Schulungsbedarfs und Bereitstellung einer sichereren und ergonomischeren Umgebung für Chirurginnen und Chirurgen. Das wiederaufkeimende Interesse an der Telemedizin durch die Corona-Krise und die Eignung der robotergestützten Chirurgie in diesem Kontext verleihen den Argumenten für medizinische Robotik noch mehr Kraft als 2019.

Um von den globalen Entwicklungen in der medizinischen Robotik zu profitieren, ist es entscheidend, dass die Schweizer Investorengemeinschaft eine aggressive Rolle bei der Finanzierung von relevanten Start-ups einnimmt. Die Schweiz ist in der Lage, sowohl die Plattformen für medizinische Robotik als auch die chirurgischen Instrumente zu kontrollieren, die diese Plattformen für eine Vielzahl von Interventionsverfahren nutzen. Ebenso wichtig ist, dass Förderagenturen wie der *SNF* und *Innosuisse* die Bedeutung dieses Bereichs und den erforderlichen langfristigen Horizont erkennen. Zudem müssen Regulierungsbehörden wie *Swissmedic* unbedingt die Realisierung klinischer Studien erleichtern, indem sie klare, realistische Richtlinien bereitstellen.

Mikrobiota und Mikrobiome

Tomas de Wouters (PharmaBiome)



Das menschliche Mikrobiom ist die Gesamtheit aller im Menschen lebenden Mikroorganismen. In den vergangenen Jahren wurde deutlich, dass diese ein wesentlicher Gesundheitsfaktor sind und mit einer Vielzahl chronischer Krankheiten in Verbindung gebracht werden können. Neben chronischen Entzündungen, Stoffwechsel- und immunologischen Krankheiten gehören auch Nervenkrankheiten dazu. So geraten Zusammensetzung und Funktion des Mikrobioms zunehmend in den Fokus und es ergeben sich vielversprechende, neue Ansatzpunkte für mögliche Therapien.

So sieht es heute aus

Die Erforschung des Mikrobioms und die daraus resultierenden Therapien stecken noch in den Kinderschuhen. Viele Forschungsaktivitäten konzentrieren sich auf die Zusammensetzung und die Aktivitäten von Mikrobiomen in kranken im Vergleich zu gesunden Menschen. Allerdings ist eine Verschiebung des Forschungsgegenstandes hin zu einer kausalen Verknüpfung verschiedener Ausprägungen des Mikrobioms und spezifischen physiologischen Zuständen zu beobachten. In den letzten Jahren entstanden viele Biotech-Unternehmen, die Anwendungen zu kommerzialisieren versuchen. Die meisten dieser Start-ups sind eng mit Universitäten verknüpft. Die Fokusse dieser Unternehmen liegen in der Analyse und Nutzbarmachung der Erkenntnisse für Therapien. Die entstehende Industrie entwickelt

nicht nur neue Medikamente, sondern konzentriert sich auch darauf, wie das Mikrobiom als Therapeutikum zu verwenden ist. Gegenwärtig gibt es in den USA unter Leitung der *Behörde für Lebens- und Arzneimittel FDA* erste experimentelle Anwendungen, die das Mikrobiom als Ganzes in der Therapie wiederkehrender Clostridioides-difficile-Infektionen anzuwenden versuchen. Die ersten globalen Forschungsanstrengungen wurden in Europa unter dem *MetaHIT-Projekt* zusammengefasst und in den USA vom *Human Microbiome Project* koordiniert. →

Die Schlüsselherausforderung ist das Verständnis grösserer Populationen, die einen hohen Grad an Komplexität aufweisen. Es wird angenommen, dass das Mikrobiom ähnlich wie das menschliche Immunsystem hochgradig kontextabhängig ist. Deshalb ist die beständige Erforschung des Themas zentral für die nachhaltige Entwicklung des Forschungsstandes. Eine weitere Herausforderung ist die Übertragbarkeit der aktuell erforschten Kausal-Zusammenhänge in Tierversuchen auf den Menschen.

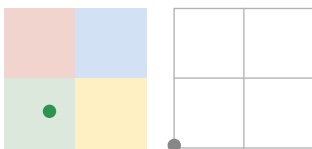
In der Schweiz gibt es rege Forschungsaktivitäten im Feld des Mikrobioms mit Kompetenzen in Mikrobiologie und Gnotobiologie (Erforschung von Tieren mit definierten Mikrobiomen). Traditionellerweise nehmen zwei Sektoren eine Schlüsselrolle in der Erforschung des Mikrobioms ein: Nahrungsmittel- und Pharmaindustrie.

Ein Blick in die Zukunft

Die ersten Mikrobiomprodukte werden 2022 auf den Markt kommen. Es ist zu erwarten, dass es in der Folge zu einer Zunahme klinischer Programme und neuer Kandi-

daten in den Entwicklungspipelines kommt. In den nächsten fünf Jahren werden zusätzlich eine Reihe gesundheitsförderlicher Lifestyle-Produkte auf den Markt kommen. Mit einem fortgeschrittenen Verständnis der Zusammensetzung von Mikroorganismen nimmt auch die Planbarkeit von therapeutischen und ernährungswissenschaftlichen Interventionen zu, die eine Entwicklung des Präbiotika- und Nahrungsergänzungsmittelmarktes unterstützen dürften.

Es ist anzunehmen, dass Mikrobiomtherapien einen wesentlichen Teil medizinischer Behandlungen ausmachen werden. Nach substanziellen Investitionen in frühe Entwicklungsphasen von Therapien sind diese nun unter strenger Prüfung der Industrie. Die akademischen Anstrengungen werden die Geschwindigkeit der Weiterentwicklung in den nächsten Jahren ebenfalls stark beeinflussen. Für erfolgreiche Mikrobiomtherapien muss der Austausch zwischen verschiedenen wissenschaftlichen Expertisen, mit Kenntnissen aus der klinischen Entwicklung und Know-how bezüglich industrieller Produktionsprozesse, gefördert werden.



Personalisierte Ernährung

Erich Windhab (ETH Zürich)

Personalisierte Ernährung soll die individuellen Verbraucherbedürfnisse in Bezug auf Akzeptanz, gesundheitsrelevante Aspekte und Präferenz befriedigen. Präferenzen werden vor allem durch kulinarisch-sensorische Eindrücke hervorgerufen und Akzeptanz ist massgeblich sozio-politisch bestimmt. Ernährungsbedingte Gesundheitsaspekte nehmen Konsumentinnen und Konsumenten entweder wegen Allergien, Abweichungen vom Idealgewicht, Krankheiten oder Unverträglichkeiten direkt wahr oder sie werden von Ernährungs- und Gesundheitsfachleuten diagnostiziert.

So sieht es heute aus

Aus der Sicht der Ernährungsberatung und Medizin sind alle Konsumentinnen und Konsumenten «Unikate» in Bezug auf ihr Erbgut und dessen Ausprägung, ihre bakterielle Mikroflora (Mikrobiom) und ihre Darm-Gehirn-Achse. Da die Ernährung gemäss neuen Erkenntnissen diese drei Faktoren beeinflusst, ist der Anspruch, personalisierte Lebensmittel für jedes Individuum herzustellen, kaum er-

füllbar und wirtschaftlich irrelevant. Es bedeutet aber auch, dass mit einer gezielten Ernährung die genetische Ausprägung, das Mikrobiom und die Verbindung vom Darm zum Gehirn so «eingestellt» werden können, dass gesteigertes Wohlbefinden resultiert. In den letzten Jahren stellte die Forschung «personalisierte Lebensmittel» für verschiedene grosse Zielgruppen vor, die sich in Bezug auf Alter, Aktivitätsmuster, Ernährungsgewohnheiten, Ge-

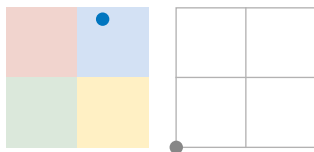
schlecht, Gesundheitszustand, Lifestyle, Nachhaltigkeitsbewusstsein und Unverträglichkeiten deutlich unterscheiden. In Folge mangelnder wirtschaftlich überzeugender Konzepte wurde die individuell «personalisierte Ernährung» zwar nicht aufgegeben, trat aber in den Hintergrund.

Eine 2019 publizierte Studie der *ETH Zürich* liefert für die Schweiz wertvolle Erkenntnisse zu massgeblichen Nachhaltigkeitsparametern und deren Wechselwirkungen bei gruppenspezifischen Ernährungsgewohnheiten. Eine gesunde Ernährung gemäss Empfehlungen der *Schweizerischen Gesellschaft für Ernährung SGE* wurde als nachhaltigste Option ermittelt: Sie würde zu einer deutlichen Abnahme des ökologischen Fussabdrucks (-36 Prozent), der Konsumentenausgaben (-33 Prozent) und der gesundheitsschädigenden Effekte (-2,7 Prozent) im Vergleich zur aktuellen Schweizer Durchschnittsernährung führen. Eine fleischorientierte Ernährung hingegen bewirkte einen deutlichen Anstieg um 23, 20 und gut 4 Prozent bei den vorgenannten Grössen. Würde der Fleischkonsum mittels Fleischanalogen auf Pflanzenbasis reduziert, resultierte ein Gesundheitsnutzen mit positiven Auswirkungen auf die Kosten für das Gesundheitssystem. Ein Trend im Schweizer Ernährungsverhalten ist das wachsende Interesse am «Flexitarismus», was Resonanzen auf Seiten etablierter Lebensmittelunternehmen sowie die Gründung von Start-ups ausgelöst hat. Seit 2018 hat sich der Fleischabsatz in der Schweiz um ca. 3 Prozent reduziert. Nicht nur Fleischalternativen auf Pflanzenbasis, sondern auch pflanzenbasierte Produkte anderer Lebensmittelkategorien tierischen Ursprungs (z. B. Milch, Käse) mit hoher Wertigkeit und verbesserter Nachhaltigkeit sind für die Weiterentwicklung ins Rampenlicht gerückt. Die Schweiz genießt hier dank ihrer industriellen, technologischen und wissenschaftlichen Rahmenbedingungen weiterhin eine ausgezeichnete Position.

Ein Blick in die Zukunft

«Personalisierte Ernährung» fokussiert derzeit nicht auf Individuen, sondern auf klar definierte Zielgruppen wie Ältere, Kleinkinder, Mangel- und Überernährte, Säuglinge und Schwangere, aber auch auf Personen, die an Allergien, Krankheiten und Unverträglichkeiten leiden. Eine Optimierung der Ernährung ist vor dem Hintergrund rapide steigender Gesundheitskosten für diese Zielgruppen angezeigt. Massgeschneiderte funktionale Ernährung als Krankheitsprophylaxe findet derzeit sowohl international als auch in der Schweiz noch viel zu wenig Beachtung.

Neben den obengenannten Zielgruppen sind vor allem die Trendeinflüsse von wachsenden «Ernährungsgruppen» wie Flexitarierinnen und Flexitariern zu berücksichtigen. Über ihre spezifischen Präferenzen und Akzeptanzen bringen sie Gesundheits- und Nachhaltigkeitsaspekte sowie Fragen zum Tierwohl als Zielkriterien verstärkt in die Diskussion ein. Sie sind somit auch relevante Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner, wenn es um Entwicklungen zur Prophylaxe ernährungsassoziierter Krankheiten und die Verbesserung der Nachhaltigkeitsbilanz des Schweizer Ernährungssystems geht. In den kommenden Jahren wird sich in der Schweiz der Anteil an Flexitarierinnen und Flexitariern weiter erhöhen. Produkte auf der Basis von Pflanzenproteinen werden Ausgangspunkt für Neuentwicklungen sein, die kulinarisch, sensorisch und nutritiv überzeugen und für spezifische Zielgruppen massgeschneidert werden können. Die Schweizer Agrar- und Lebensmittelbranche sowie die zuliefernde Maschinenindustrie sind gefragt, den Trend zu nutzen und Zeichen zu setzen.



Point-of-Care-Diagnostik

Daniel Gygax (FHNW)

Die Point-of-care-Diagnostik (POC-Diagnostik) ist ein Teilgebiet der In-vitro-Diagnostik und soll diese näher an den Ort der Nachfrage bringen. Ausführende sind die Patientinnen und Patienten selbst oder Fachpersonen in der Apotheke, beim Hausarzt oder der Spitex. Das bekannteste Beispiel ist die Insulinmessung bei Patientinnen und Patienten mit Diabetes.

So sieht es heute aus

Die POC-Diagnostik hat sich in den letzten Jahren in Spitälern etabliert und POC-Tests wurden verstärkt in digitale, mobile Gesundheitsplattformen integriert. Dieses Vorgehen verkürzt die Zeit zwischen Test, Diagnose und Therapie. POC-Tests unterstützen die Überwachung von Krankheiten und Krankheitsverläufen. Deren Integration in mobile Gesundheitsdienste wie mHealth oder Telemedizin erfordert die Zusammenarbeit mehrerer Akteure und kommt daher nur in kleinen Schritten voran. Teilprozesse von der Diagnose von Krankheiten bis zur Überwachung von Krankheitsverläufen sind noch nicht aufeinander abgestimmt und technische sowie rechtliche Fragen noch ungeklärt.

Der POC-Diagnostik wird durch das pandemische Auftreten von Sars-CoV-2 eine grosse Aufmerksamkeit zuteil. Der Nutzen von Schnelltests zum Nachweis des Virus mittels einem Antigentest wird wegen der geringeren Sensitivität verglichen mit dem PCR-Test und der sicheren Handhabbarkeit durch Nichtfachleute kontrovers beurteilt. Der Vorteil des Schnelltests liegt darin, dass er innerhalb von ein paar Tagen wiederholt eingesetzt werden kann und daher erlaubt stark Infizierte zu identifizieren und isolieren. Im Blut von Menschen, welche die Covid-19-Krankheit überstanden haben, können mit analytischen Methoden Antikörper gegen Eiweisse aus der Hülle des Virus nachgewiesen werden. Dieser POC-Diagnostik-Test hat erhebliche Vorteile, kann er doch dezentral durchgeführt und mit netzfähigen Messgeräten verknüpft werden. In der Lockerungsphase der Gesundheitsschutzmassnahmen kommt dem Antikörpertest eine grosse Bedeutung zu, da Menschen als gesund, infiziert oder immun eingestuft werden müssen. Der mobile und vernetzbare POC-Diagnostik-Test kann hier wirkungsvoll eingesetzt werden. Dessen Daten müssen hinreichend genau und einfach zu handhaben sein und per Smartphone an eine übergeordnete Stelle übermittelt werden. Die Praktik der Durchführung eines Tests wird daher zur neuen Kulturtechnik, die erlernt und gelehrt werden muss.

Die Schweiz ist wie andere Nationalstaaten in der Corona-Krise auf sich zurückgeworfen worden. Sie versucht heute Abläufe neu zu ordnen. Der Ansatz der digitalen Gesundheitsplattform ist in Zukunft auf andere Gesundheitsprobleme anwendbar. Es hat sich klar gezeigt, dass die Schweiz ihre Abhängigkeit von globalen Liefer- und Wertschöpfungsketten reduzieren muss, um die Versorgung der Bevölkerung mit Diagnostika und Medikamenten gewährleisten zu können.

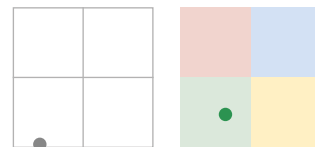
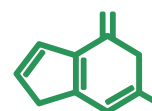
Ein Blick in die Zukunft

Das Smartphone ist schon heute mehr als bloss ein Telefon; in Zukunft wird ihm in Kombination mit POC-Tests auch in Gesundheitsbelangen eine wichtige Rolle zukommen. Es ist Aufgabe und Herausforderung zugleich, in den kommenden Jahren dezentrale und vernetzbare POC-Testsysteme für die unterschiedlichsten Anwendungsfelder wie das Monitoring der Blutwerte von Arzneistoffen wie Antibiotika, Antiepileptika, Entzündungshemmern oder Immunsuppressiva zu etablieren.

Die POC-Diagnostik ist für die Schweizer Industrie seit langem ein Tätigkeitsfeld, das einer starken Regulierung und einem hohen Kostendruck unterliegt. Die digitalen Gesundheitsplattformen tragen individuellen, regionalen und nationalen Bedürfnissen Rechnung und sind deshalb weder einfach übertragbar noch beliebig skalierbar. Um in der POC-Diagnostik erfolgreich zu sein, müssen neue Geschäftsmodelle entwickelt werden und Firmen ihre Kernkompetenzen durch Kollaboration, internes Wachstum oder Zukauf von anderen Firmen erweitern.

Synthetische Biologie

Sven Panke (ETH Zürich)



Synthetische Biologie umfasst alle Aktivitäten, mit denen biologische Systeme nach Methoden der klassischen Ingenieurwissenschaften wie Elektrotechnik oder Maschinenbau auf die Herausforderungen unserer Zeit angewendet werden sollen. Es gelten ähnliche Vorstellungen, was Zuverlässigkeit, Entwicklungsgeschwindigkeit und Komplexität der angestrebten Entwürfe angeht. Damit reicht synthetische Biologie weit in alle Bereiche der chemischen Industrie und Life Sciences hinein und hat viele Berührungspunkte mit den Bereichen Diagnostik, Energie und Materialien.

So sieht es heute aus

In den vergangenen zwei Jahren hat die synthetische Biologie ihre rasante Entwicklung besonders in den Bereichen der chemischen Synthese, genetischen Schaltkreise und neuen Materialien fortgesetzt. Die Konstruktion von Mikroorganismen mit den Methoden der synthetischen Biologie findet in der chemischen Industrie bei der klein- und grossmasstäblichen Synthese von Chemikalien immer stärkeren Eingang in die Produktstambäume und eröffnet Zugänge zu neuen Stoffen. Berechnung und Einsatz von Genschaltkreisen in Zelllinien und Tiermodellen wurden für neue Krankheitsbilder möglich. Solche Schaltkreise sind unterdessen empfänglich für externe Steuerungen wie Licht und Elektrizität. Auch der radikale Umbau von Zellen, um Proteine mit neuen Bausteinen oder vollkommen neuartigen, programmierbaren Polymeren zu synthetisieren, geht mit unveränderter Geschwindigkeit weiter.

Die Situation in der Schweiz ist unverändert gut. Es bestehen hervorragende Infrastrukturen und ein exzellentes akademisches Netzwerk, das zusammen mit demjenigen von Grossbritannien wahrscheinlich an der europäischen Spitze steht. Die kommerzielle chemische Synthese von grossen Erbgutmolekülen ist eine der Kerntechnologien der synthetischen Biologie. Trotz der guten Positionierung wächst diese Schlüsseltechnologie weiterhin am stärksten ausserhalb der Schweiz, was angesichts des exzellenten Umfelds in organischer Synthese und Mikrotechnologie eine ungenutzte Möglichkeit und eine strategische Achillesferse darstellt.

Ein Blick in die Zukunft

Wie so oft in der Geschichte der Biotechnologie gehört der Pharmabereich zu den frühen Anwendern, so auch für die synthetische Biologie. Die Schweizer Akteure in der synthetischen Biologie stellen diesem Sektor viel Wissen und Ingenieurpotenzial zur Verfügung. Überlappungen mit Technologien wie *CRISPR/Cas9* sorgen für zusätzliche Dynamik. Es ist daher davon auszugehen, dass in Zukunft pharmazeutische Anwendungen und Diagnostik wichtige Rollen bei der weiteren Durchdringung der Industrie mit synthetischer Biologie spielen. Die grossen multinationalen Pharmaunternehmen der Schweiz sind dafür hervorragend aufgestellt und zahlreiche weitere Firmen sind sehr gut unterwegs. Insbesondere in den Bereichen der chemischen Synthese und Materialien könnte der Wissenstransfer zwischen akademischer Forschung und Industrie aber intensiver sein. Intensive, industriell-akademische Kollaborationen sind eine grosse Chance für die erwähnten industriellen Bereiche und könnten potenziell von der *Innosuisse* gefördert werden.



Technik und Gesellschaft

Datensouveränität

André Golliez (Zetamind AG, Swiss Data Alliance)



Datensouveränität bezeichnet das Recht sowie die Fähigkeit von Individuen oder Organisationen, Daten die sie selbst generiert oder gesammelt haben oder die sich auf sie beziehen, kontrollieren und selbstbestimmt nutzen zu können.

So sieht es heute aus

Das Prinzip der Datensouveränität wurde bis anhin primär unter dem defensiven Aspekt des Schutzes vor Missbrauch der Daten rechtlich ausgestaltet. So insbesondere im Rahmen der Datenschutzgesetzgebung in Bezug auf personenbezogene Daten oder im Wettbewerbs- und Immaterialgüterrecht in Bezug auf die Verwendung von Sachdaten privater Unternehmen. Mit der offensiven Perspektive, vorhandene Daten besser nutzen zu können und dabei den Ansprüchen der datenberechtigten Individuen und Organisationen zu genügen, kommt dem Prinzip der Datensouveränität künftig eine zentrale Bedeutung zu. In den letzten 15 Jahren haben sich dazu in zahlreichen Ländern drei Stossrichtungen herauskristallisiert: die offene und freie Nutzung möglichst vieler Sachdaten ohne Personenbezug durch alle Akteure («Open Data»), die Nutzung personenbezogener Daten durch die betroffenen Personen selbst («My Data») sowie das Teilen sensibler Daten unter restriktiven Bedingungen zwischen Unternehmen und Verwaltungen («Shared Data»).

In der Schweiz sind diese drei Pfeiler einer selbstbestimmten und erfolgreichen Datenwirtschaft noch wenig entwickelt. Es fehlt eine verbindliche Gesetzgebung für Open Data, insbesondere im Verwaltungsbereich (Open Government Data). Die Gesetzgebung zu den personenbezogenen Daten kreist nach wie vor vor allem um den Datenschutz, umfasst allerdings in der neuen, revidierten Fassung auch das Recht auf Datenübertragbarkeit. Und für das vertrauenswürdige Teilen sensibler Sachdaten zwischen Unternehmen und Verwaltungen fehlen sowohl die rechtlichen Rahmenbedingungen als auch die notwendigen organisatorischen und technischen Infrastrukturen.

Ein Blick in die Zukunft

Die kommenden Jahre stehen unter der Frage, wer über die in der Schweiz angefallenen oder von Schweizerinnen und Schweizern produzierten Daten verfügt und diese nutzen kann. Angesichts der zunehmenden exklusiven Konzentration der Daten bei wenigen globalen Plattformen ist die Datensouveränität der Schweiz akut bedroht. Damit in der Schweiz alle Bürgerinnen und Bürger, politischen Körperschaften, Unternehmen, Verwaltungen und weitere Institutionen und Organisationen ihre Daten in Zukunft selbstbestimmt besser nutzen können, sind rechtliche, organisatorische, technische und bildungsbezogene Massnahmen auf allen Ebenen notwendig.

Der souveräne Umgang mit den eigenen Daten erfordert in den kommenden Jahren eine umfassende Datenpolitik, an der sich Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft beteiligen, um gemeinsam einen vertrauenswürdigen Datenraum in der Schweiz aufzubauen (Swiss Data Space).



Digital Trust

Christian Laux (Laux Lawyers AG)

Digital Trust (digitales Vertrauen) meint Vertrauen in digitale Produkte und Dienstleistungen. Aus Sicht der Nutzerinnen und Nutzer kann Vertrauen als Erwartung aufgefasst werden, dass der Anbieter auch zukünftig seinen Pflichten nachkommt. Digitales Vertrauen kann auch als die Grundannahme beschrieben werden, dass Nutzerinnen und Nutzer von einem digitalen Produkt oder einer Dienstleistung Gebrauch machen werden, weil sie davon ausgehen, dass ihnen der Gebrauch mehr nützt als schadet. Insofern ist Vertrauen – und so auch Digital Trust – nichts, über das ein Anbieter verfügt, sondern etwas, das ihm zugesprochen wird.

So sieht es heute aus

Die Praxis zeigt, dass digitales Vertrauen heute von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Eine zentrale Rolle spielen das Nutzererlebnis (User Experience), der Nutzungskomfort (Convenience), Transparenz und Integrität. Transparenz meint, dass Nutzerinnen und Nutzer erkennen können, wie Daten genutzt werden und in welchen Nutzungszusammenhängen sie stehen. Ein Anbieter gilt als integer, wenn er die Werte und Daten der Nutzerinnen und Nutzer in vorausschaubarer Weise schützt. Die Reputation des Anbieters und seine Zuverlässigkeit fließen ebenfalls in die Beurteilung der Vertrauenswürdigkeit ein. Anbieter von digitalen Produkten und Dienstleistungen erhalten von ihren Nutzerinnen und Nutzern kurzfristig «digitales Vertrauen». Dieses Vertrauen kann sich langfristig verstetigen, wenn sich zeigt, dass der Anbieter mit seinen digitalen Angeboten die obengenannten Kriterien erfüllt.

Digital Trust kann mittels Umfragen erhoben oder durch die Auswertung von Daten gemessen werden. Wenn eine Person sich für die Verwendung eines Produkts entscheidet, bestätigt sie ihr digitales Vertrauen in ein Unternehmen. Wichtige Indikatoren sind etwa die Absprungrate, das Markenerlebnis oder die Bejahung der Frage: «Vertrauen Sie diesem Unternehmen?» In der Entwicklung von Digital-Trust-Technologien bewegt sich die Schweiz im Mittelfeld: Sie ist weder Spitzenreiterin, noch ist sie sichtbar im Hintertreffen. Die gezielte Anwendung von entsprechenden Prinzipien ist erst in Ansätzen erkennbar.

Ein Blick in die Zukunft

Es gibt derzeit keine Hinweise darauf, dass das Implementieren von Prinzipien des Digital Trusts der Entwicklung von erfolgreichen Geschäftsmodellen im Weg steht, auch wenn dies zuweilen behauptet wird. Im Gegenteil: Weit-sichtige Informationsarchitekturen und Geschäftsmodelle können dafür sorgen, dass die Prinzipien des Digital Trust von Grund auf in die Architektur von digitalen Angeboten einfließen. Dies sollte man in Zukunft bei der Planung von IT-Lösungen und -Infrastrukturen vermehrt beachten. Ist dies der Fall, entstehen keine redundanten Kosten und Digital Trust wird nicht zu einem signifikanten Kostentreiber. Gerade bei grossen Software- oder Cloudlösungen ist es schwierig, die Prinzipien des Digital Trusts nachträglich zu implementieren, was Anbieter von solchen digitalen Dienstleistungen vor Herausforderungen stellen kann.

In naher Zukunft wird es darum gehen, die Prinzipien des Digital Trusts zu verankern, sodass sie eine Selbstverständlichkeit werden. Politisch besteht die Herausforderung im Aufbau von koordinierten Datenräumen, zum Beispiel dem Swiss Data Space. Diese Datenräume schaffen die Möglichkeit, dass Daten nach klaren Regeln geteilt werden können, was Wirtschaft und Gesellschaft zugutekommen wird und neue, datengetriebene Projekte ermöglicht. Solche Datenräume müssen konsequent so aufgebaut werden, dass sie vertrauensschaffende Attribute aufweisen. Andernfalls werden sie keine Akzeptanz finden.



Technologietrends

| | |
|---|------------|
| Einführung | 86 |
| Digitale Welt | 87 |
| Autonome Systeme | 87 |
| Cyberphysische Systeme | 88 |
| Cybersecurity | 89 |
| Industrie 4.0 | 90 |
| Künstliche Intelligenz | 91 |
| Quantentechnologien | 92 |
| Energie und Umwelt | 94 |
| Digitale Landwirtschaft | 94 |
| Energieversorgung | 95 |
| Kreislaufwirtschaft | 96 |
| Smart Cities | 97 |
| Fertigungsprozesse und Materialien | 98 |
| Zukünftige Materialien | 98 |
| Life Sciences | 100 |
| Biotechnologie | 100 |
| Präzisionsmedizin | 101 |



Einführung

Im vorangehenden Kapitel wurden die einzelnen Technologien, gruppiert nach Forschungsfeldern, kurz präsentiert. Da für praktische Anwendungen und kommerzielle Produkte aber mehrere Technologien eine Rolle spielen, wird hier erstmals das Zusammenwirken der Technologien für die Umsetzung von 13 in der öffentlichen Wahrnehmung und in den Medien präsenten Technologietrends betrachtet. Dies sind umfassende Themen wie Kreislaufwirtschaft, künstliche Intelligenz oder Smart Cities, die je nach Betrachtungsweise unterschiedlich breit und tief gefasst werden können. Der *Technology Outlook* erklärt die Begriffe und lotet das Potenzial für die Schweizer Wirtschaft und Gesellschaft aus. Bewusst verzichten wir darauf, gesellschaftliche und demografische Trends einzubeziehen.

Die folgenden Beiträge erklären, welche der im vorangehenden Kapitel präsentierten Technologien für die jeweiligen Technologietrends zusammenwirken. Bei jedem Beitrag sind die Icons derjenigen Technologien aufgeführt, die mit dem Technologietrend in Wechselwirkung stehen: Entweder wirkt eine Technologie als Treiberin für die Entwicklung des Trends oder die Technologie profitiert von der fortschreitenden Entwicklung des Trends. Als Lesehilfe dient die Übersicht der Icons, die in der Klappe hinten zu finden ist. So wirken beispielsweise 5G-Anwendungen, Blockchain, Internet of Things, Mobilitätskonzepte und 18 weitere Technologien als Treiber für oder profitieren von der Weiterentwicklung autonomer Systeme. Analyse von Big Data, der digitale Zwilling, Biokatalyse und Biosynthese, synthetische Biologie und 15 weitere Technologien stehen in einer engen Wechselwirkung mit dem Technologietrend Biotechnologie.

Was lässt sich aus dem Zusammenwirken von Einzeltechnologien in den Technologietrends lernen? Mit einer Betrachtungsweise, die von den Technologietrends ausgeht, kann vor allem deren technologische Komplexität aufgezeigt werden. Um beispielsweise mit einem Unternehmen, das im Feld der Biotechnologie aktiv ist, erfolgreich zu sein, reicht es nicht, nur Technologien aus den Life Sciences wie Biokatalyse und Biosynthese oder synthetische Biologie zu beherrschen. Auch Anwendungen aus der Prozessoptimierung wie vernetzte Maschinen (Connected Machines) und der digitale Zwilling könnten einen entscheidenden Vorteil bieten, um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Gleichzeitig lohnt es sich für ein solches Unternehmen unter Umständen, in die Datenanalyse und das Datenmining zu investieren und den Einsatz von lernenden Systemen zu prüfen. Auch Technologien aus dem Forschungsfeld der Fertigungsprozesse müssen gegebenenfalls in das Portfolio eines solchen Unternehmens aufgenommen werden. Wer sich hingegen hauptsächlich mit künstlicher Intelligenz beschäftigt, sollte auch Anwendungen aus den Life Sciences wie medizinische Wearables, Mikrobiota und Mikrobiome und personalisierte Ernährung im Auge behalten. Genauso wichtig sind die Technologien aus den beiden Forschungsfeldern Energie und Umwelt sowie Fertigungsprozesse und Materialien: Zu erwähnen sind hier beispielsweise die Mobilitätskonzepte und die additive Fertigung, die von Entwicklungen in der künstlichen Intelligenz profitieren, die aber auch als Treiber für diesen Technologietrend wirken.

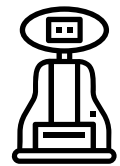


Über den QR-Code gelangen Sie auf unsere Website, wo Sie weitere Informationen zu den einzelnen Technologietrends finden, die in der gedruckten Ausgabe des *Technology Outlooks* keinen Platz fanden.

Autonome Systeme

Intelligente Maschinen im Dienst der Menschheit

Roland Siegwart (ETH Zürich)



Autonome Systeme sind Maschinen und Prozesse, die zumindest teilweise selbstständig situationsbedingte Entscheide treffen können. Diese basieren auf kontinuierlichen Messungen mit Sensoren sowie auf Algorithmen der künstlichen Intelligenz. Systeme wie Roboter in Produktionsstrassen oder Werkzeugmaschinen, die selbstständig Entscheidungen in einem genau definierbaren Entscheidungsraum treffen, werden als automatische Systeme bezeichnet. Im Gegensatz dazu bewegen sich autonome Systeme, also beispielsweise selbstfahrende Autos, Drohnen oder Auslieferungsroboter, in einem Umfeld, wo der Entscheidungsraum offen ist und überraschende, nicht voraussehbare Situationen auftreten können, denen sie zuverlässig begegnen müssen. Ein vielversprechender, oft aber überschätzter Weg basiert auf lernenden Systemen. Allerdings bleibt die korrekte Reaktion auf überraschende Situationen, die für uns Menschen oft einfach erscheint, für autonome Systeme eine Herausforderung.

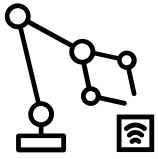
So sieht es heute aus

Die Forschung hat im Bereich der autonomen Systeme in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht. Jedoch sind die meisten dieser Maschinen noch mehrere Jahre, oft Jahrzehnte von einer industriellen Umsetzung entfernt. Bereits mit steigender Nachfrage im Einsatz sind hingegen autonome Putzmaschinen oder Transportroboter. Autonome Systeme sind sehr komplex und ihre Weiterentwicklung bedingt hohe Investitionen in Forschung und Entwicklung. Trotz attraktiven Versprechungen im Rahmen der künstlichen Intelligenz ist es wichtig, das Machbare wie Landwirtschafts- oder Transportroboter anzupacken, statt von Visionen wie humanoiden Robotern zu träumen. Autonome Systeme kombinieren Aktorik, Präzisionsmechanik, intelligente Regelung und Sensorik, um komplexe Abläufe selbstständig auszuführen.

Ein Blick in die Zukunft

Der Einsatz einfacher autonomer Systeme wie Inspektions-, Putz- oder Transportroboter wird in den nächsten Jahren stark zunehmen. Komplexere Systeme wie selbstfahrende Fahrzeuge, Indoor-Drohnen oder Landwirtschaftsroboter werden vermehrt Einsätze in strukturierteren Umgebungen haben. Wegen ihrer Komplexität werden sich autonome Systeme nur langsam in unserem täglichen Umfeld etablieren: Es ist mittelfristig eher eine Evolution als eine Revolution zu erwarten. Längerfristig werden jedoch autonome Systeme wie selbstfahrende Fahrzeuge oder Landwirtschaftsroboter verschiedene Bereiche drastisch verändern.

Dank der hohen Kompetenz in allen für autonome Systeme relevanten Bereichen hat die Schweiz wie kaum ein anderes Land die Fähigkeit, solche komplexen Maschinen zu entwickeln und international erfolgreich zu vermarkten. Es gilt, die Führerschaft an den Hochschulen weiter auszubauen und diese Technologien in schnell skalierenden Firmen wirtschaftlich umzusetzen.



Cyberphysische Systeme

Reale und virtuelle Welt im dynamischen Wechsel

Bernhard Braunecker (Schweizerische Physikalische Gesellschaft) und **Guido Piai** (OST)



Cyberphysische Systeme, ursprünglich als Weiterführung des Konzepts Industrie 4.0 eingeführt, beschreiben diejenigen informationstechnischen Prozesse, bei denen physische Entitäten (Abläufe, Maschinen, Menschen, Objekte etc.) digital abgebildet werden und mit dieser Abbildung in Echtzeit interagieren. Cyberphysische Systeme finden in nahezu allen Bereichen der Gesellschaft Anwendung. Etwa im Finanzsektor, im Gesundheitswesen, in der Industrie und Produktion oder in der Landwirtschaft. Anschauliche Beispiele sind der Onlinefahrplan der SBB, die Paketverfolgung der Post, die SwissCovid-App des Bundes, die sozialen Netzwerke (Facebook, LinkedIn etc.) und moderne Produktionsverfahren. Es ist zu erwarten, dass laufend neue Lösungen sowie neue Geschäftsmodelle und Dienste entstehen werden. Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung und Anwendung von cyberphysischen Systemen sind flächendeckende, breitbandige und resiliente Internetinfrastrukturen, zentrale wie dezentrale Rechenleistungen und Speicherkapazitäten sowie mobile Geräte und Sensorik.

So sieht es heute aus

Historisch sind die USA führend. China hat jedoch in den letzten zehn Jahren stark aufgeholt. Europa und andere Länder wie Indien folgen. Die Schweiz muss ihren eigenen Weg finden, angepasst an die hiesigen Kompetenzen und industriellen Stärken. Viele Anwendungen sind zwar längst Realität, dennoch gilt es, weitere Möglichkeiten, die mit der wachsenden Bandbreite, Rechenleistung und Speicherkapazität verbunden sind, rechtzeitig zu erkennen und speiditiv zu nutzen. Die dazu nötige durchgängige Digitalisierung in der Bildung, in der Industrie und in der Gesellschaft soll mit Sondermassnahmen angestrebt werden.

Die Schweiz ist als innovatives Land im Bereich der Digitalisierung aktiv und es entstehen verschiedene erfolgreiche Start-ups. Dennoch nutzen KMU oft das Chancenpotenzial viel zu wenig, nicht zuletzt wegen der Kosten. Das Zusammenspiel von Technik und Betriebswirtschaft muss mittels neuer Geschäftsmodelle vorangetrieben werden.

Die erforderlichen akademischen Fachkompetenzen liegen in der Schweiz vor; Informatik, algorithmische Methoden und Betriebswirtschaft sind an Schweizer Hochschulen Teil der Lehre. Allerdings bestehen Defizite im Zusammenwirken von Ingenieurinnen und Ingenieuren, Industriephysikerinnen und -physikern, Industriemathematikerinnen und -mathematikern sowie Fachleuten der Betriebswirtschaft im

konkreten Anwendungsfall. Hier sind Universitäten, Fachhochschulen, aber auch die Akademien wie die SATW gefordert.

Ein Blick in die Zukunft

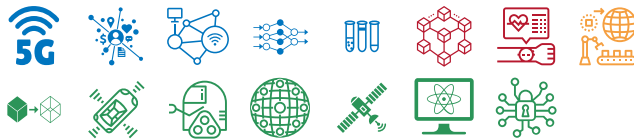
Cyberphysische Systeme führen verschiedene Technologien, vor allem Vernetzungs- und Kommunikationstechnologien, zusammen und bündeln sie. Durch die rasant wachsenden technologischen Möglichkeiten werden die cyberphysischen Systeme immer leistungsfähiger. Dies führt zu neuen Geschäftsmodellen und höchst effizienten Produktionsabläufen für KMU, die dann permanent optimiert und an sich ändernde Marktbedingungen stetig angepasst werden können.

Die Schweiz kann sich mit technischen Lösungen für innovative cyberphysische Systeme im internationalen Wettbewerb einen führenden Platz sichern, wenn es ihr gelingt, die vorhandenen Kernkompetenzen zusammenzuführen. Insbesondere für die Schweizer Industrie, die weltweit in der Entwicklung von Präzisionsmaschinen und Präzisionsystemen involviert ist, bieten sich hier grosse Chancen.

Cybersecurity

Technische, organisatorische und soziale Massnahmen für sichere Daten

Hans-Peter Käser (BWL), Bernhard Tellenbach (ZHAW) und Nicole Wettstein (SATW)



Cybersecurity bezeichnet Hard- und Softwarekomponenten, die datenverarbeitende Geräte vor unbefugtem Zugriff schützen, umfasst aber auch nichttechnische Massnahmen wie Gesetzgebung und Schulung von Nutzerinnen und Nutzern. Cyberangriffe können darauf ausgelegt sein, auf sensible Daten von Organisationen oder Nutzerinnen und Nutzern zuzugreifen, diese zu erpressen oder die Daten zu löschen. Für eine der Vertraulichkeit der Daten angemessene Cybersecurity zu sorgen, ist Aufgabe der Hard- und Softwarehersteller, der Infrastrukturbetreiber, der Anbieter digitaler Dienste sowie deren Nutzerinnen und Nutzer. Cybersecurity bildet die Grundlage der umfassenden und sicheren Digitalisierung und ist für viele technologische Entwicklungen zentral.

So sieht es heute aus

Politisch ist das Bewusstsein für die Bedeutung der Cybersecurity vorhanden. Viele Länder orientieren sich wie die Schweiz an einer nationalen Cybersecurity-Strategie. Aufgrund des globalen Bedrohungsumfelds und ähnlichen Herausforderungen weisen die Strategien viele Gemeinsamkeiten auf. Dank neuer Technologien ist der Aufwand für erfolgreiche Cyberangriffe zwar gewachsen, doch gibt es noch immer viele, teils gravierende Sicherheitsvorfälle. Diese sind häufig auf die Verletzung grundlegender Sicherheitsprinzipien zurückzuführen, weshalb neben der Förderung neuer Sicherheitslösungen auch die Regulierung und Zertifizierung von IKT-Dienstleistungen, -Produkten und -Prozessen an Bedeutung gewinnt. Bei vielen mit dem Internet verbundenen Produkten für den Privatgebrauch ist Cybersecurity wegen fehlender gesetzlicher Vorschriften, aus Kostengründen oder aus Gründen einer schnellen Produktlanierung kein Thema.

Dank ihrer Neutralität, Rechtssicherheit und politischen Stabilität verfügt die Schweiz über ideale Voraussetzungen für ein erfolgreiches Cybersecurity-Ökosystem. In vielen Bereichen hat sie bereits Resultate erzielt und ist im internationalen Vergleich gut aufgestellt. Mit dem *Nationalen Zentrum für Cybersicherheit (NCSC)*, der *Nationalen Strategie zum Schutz der Schweiz vor Cyberrisiken (NCS)* sowie dem *Cyber-Defence Campus (CYD)* verfügt die Schweiz über Strukturen, um der Cyberproblematik aktiv zu begegnen. Ergänzend wird an Hochschulen und in Unternehmen

an aktuellen Fragestellungen geforscht und ausgebildet. Im Rahmen der militärischen Ausbildung kann neu ein eidgenössisch anerkannter Abschluss als Cybersecurity-Spezialistin oder -Spezialist erlangt werden. Um den steigenden Bedarf nach innovativen technologischen Lösungen zu decken, sind verschiedene Innovationsförderprogramme auf Cybersecurity-Start-ups ausgerichtet.

Ein Blick in die Zukunft

Auf technischer Ebene wird eine zunehmende Automatisierung wichtig. Beispielsweise soll künstliche Intelligenz helfen, Schwachstellen in Systemen zu erkennen und Einfallstore zu schliessen. Wichtig wird künftig auch sein, Informationen zu bestehenden Bedrohungen zu teilen. International laufen Bemühungen, verbesserte Plattformen zum Informationsaustausch mittels Blockchain aufzubauen. Auf politischer Ebene werden in naher Zukunft Fragen zur Regulierung und Standardisierung zentral werden. In der EU wird mit dem *Cybersecurity Act* die Einführung verbindlicher und überprüfbarer Standards und Regeln für vitale Dienstleistungen geprüft, die für Unternehmen und öffentliche Hand Massnahmen zur Sicherung ihrer Liefernetze und Prozesse definieren. →

In der Schweiz wird eine Meldepflicht für Cyberfälle diskutiert, die auf EU-Ebene für gewisse Vorfälle bereits gilt. Mit der zunehmenden Digitalisierung erhalten das Thema Cybersouveränität und die Frage nach der Bevorzugung nationaler Lösungen für kritische Systeme grössere Bedeutung. Es ist für die Schweiz zentral, eigene Kapazitäten und Kompetenzen aufzubauen: Ein Schweizer Cybersecurity-Ökosystem ist unabdingbar für den zukünftigen

Erfolg des Wirtschaftsstandortes. Ebenso besteht bei Schweizer KMU und der Bevölkerung der Bedarf nach einfach anwendbaren Lösungen. Da Cybersecurity auch viel mit menschlichem Handeln zu tun hat, ist ein Verständnis bei Arbeitnehmenden sowie in der Politik und bei Privatpersonen zentral. Es braucht neben technologischen Innovationen auch Aufklärung und neutrale Wissensvermittlung.



Industrie 4.0

Dank Vernetzung und Digitalisierung Innovationen entwickeln und umsetzen

Patricia Deflorin (FH Graubünden) und **Philipp Schmid** (CSEM)



Bei Industrie 4.0 stehen intelligente und digital vernetzte Systeme für die industrielle Produktion im Zentrum, welche sämtliche Funktionen von Einkauf bis Logistik umfassen. Industrie 4.0 beruht auf zahlreichen innovativen Technologien und Entwicklungen wie Augmented Reality, Datenanalyse, -speicherung und -übertragung, dem digitalen Zwilling, kollaborativer Robotik sowie Sensorik.

So sieht es heute aus

Es zeichnen sich vor allem zwei Einsatzgebiete ab: die smarte Fabrik und datenbasierte Dienstleistungen. In der smarten Fabrik umfasst Industrie 4.0 drei Ebenen der Prozessautomatisierung: die Zustandsüberwachung einer Maschine oder eines Prozesses, die datenbasierte Optimierung des Prozesses durch vorausschauende Intervention und die Selbstorganisation eines Systems basierend auf Selbstdiagnose und autonomer Maschinenentscheidungen. Datenbasierte Dienstleistungen wie die vorausschauende Wartung resultieren aus der zunehmenden Vernetzung von Maschinen und der kontinuierlichen Sammlung und Analyse derer Daten. So kann nicht nur der Zustand der Maschinen aufgezeigt werden, es können auch voraus-

schauend zustandsbasierte Wartungsarbeiten abgeleitet werden. Die grössten Herausforderungen liegen aktuell nicht in der Technik, sondern beim Zugang zu qualitativ zufriedenstellenden Daten in ausreichender Menge. Gerade für den Einsatz künstlicher Intelligenz ist dies entscheidend.

Hervorzuheben sind die Implementierungserfolge in der Automobilindustrie, wovon auch andere Branchen profitieren. In der Schweiz sind Qualitätskontrollen in Echtzeit sowie lückenlose Rückverfolgbarkeit bis auf Stückerbene grosse Treiber für den Einsatz von Konzepten der Industrie 4.0. Die Schweizer Industrie hat sehr gute Voraussetzungen, um in den Entwicklungen rund um Industrie 4.0 als effiziente Umsetzerin mitzuwirken. →

Ein Blick in die Zukunft

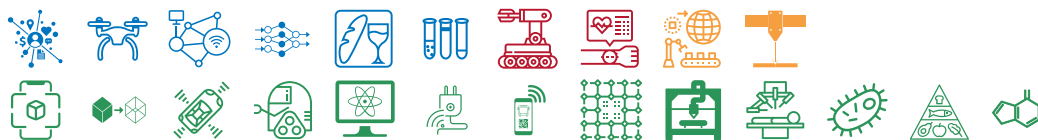
Industrie 4.0 wird die gesamte industrielle Produktion durchdringen und eine grosse ökonomische Wirkung erzielen. Die günstige Verfügbarkeit von Rechenleistung, Fortschritte bei der künstlichen Intelligenz und eine erhöhte Nutzung von Daten werden sowohl in der smarten Fabrik als auch bei neuen Dienstleistungen eine Vielzahl weiterer Anwendungen ermöglichen.

Da die Schweiz keinen globalen Anbieter von Softwarelösungen für die Fabrikautomation beheimatet, ist lokale Vernetzung und Unterstützung essenziell. Gerade die Schweizer KMU-Landschaft ist auf Lösungen von Entwicklungspartnern aus der angewandten Forschung angewiesen. Um international konkurrenzfähig zu bleiben, ist Industrie 4.0 für das Hochlohnland Schweiz eine grosse Chance, die genutzt werden muss.

Künstliche Intelligenz

Intelligent aus Erfahrung

Alessandro Curioni und **Patrick Ruch** (IBM Research – Zurich)



Künstliche Intelligenz (KI) ermöglicht Computern und Maschinen, die Prozesse des menschlichen Gehirns in Bereichen der Wahrnehmung, des Lernens, der Erarbeitung von Lösungsansätzen und der Entscheidungsfindung nachzuahmen. Man unterscheidet oft zwischen schwacher KI, welche auf die Lösung konkreter Anwendungsprobleme fokussiert ist, und starker KI, welche über verschiedene Aufgabengebiete hinweg mit menschenähnlichen intellektuellen Fähigkeiten handeln kann.

So sieht es heute aus

KI konnte in den letzten zehn Jahren mehrere bahnbrechende Innovationen verzeichnen – wie das Erkennen von Bildern, das Spielen komplexer Brettspiele und das Beantworten von Fragen in natürlicher Sprache in Quizshows. Die meisten dieser Durchbrüche basieren auf einer bestimmten Art des maschinellen Lernens, die als Deep Learning bezeichnet wird. Heute sind viele ausgereifte Anwendungen verfügbar, die von Gesichts-, Gesten- und Spracherkennung über personalisierte Empfehlungsdienste bis hin zu Wirkstoffentdeckung und medizinischer Bildanalyse reichen.

Die Schweiz nimmt in der KI-Forschung und ihrer praktischen Anwendung eine Vorreiterrolle ein. Es ist nötig, Richtlinien einzuführen, um Anspruchsgruppen transparent über die Vorteile und Risiken von KI zu informieren und einen regulatorischen Rahmen zu schaffen, der eine sichere,

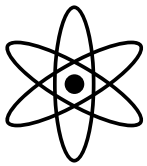
vertrauenswürdige und ethische KI gewährleistet. Darüber hinaus ist der Erwerb der erforderlichen Kenntnisse in Entwicklung und Einsatz von KI-Technologien durch die Arbeitnehmenden entscheidend für die erfolgreiche Einführung von KI in Schweizer Unternehmen.

Ein Blick in die Zukunft

Es wird erwartet, dass die Präsenz von KI in unserem Alltag kontinuierlich zunehmen und in den Bereichen Nachrichtenkonsum, personalisierte Dienstleistungen, intelligente Systeme zu Hause oder am Arbeitsplatz sowie soziale Netzwerke zur Normalität wird. In diesem Sinne ist es schwer vorstellbar, dass irgendeine Branche nicht auf die eine oder andere Weise von KI betroffen sein wird. Unternehmen, die KI-Technologien erfolgreich einsetzen, können davon ausgehen, dass sie auf zwei Ebenen profitieren: erstens durch die Verbesserung der Effizienz interner Prozesse durch KI-gestützte

Automatisierung und zweitens durch die Einbettung von KI in Produkte und Dienstleistungen, um Kundinnen und Kunden wie auch Geschäftspartner besser bedienen zu können. Dementsprechend muss sich das Qualifikationsprofil der Mitarbeitenden ändern und die Industrie muss sich anpassen. Für die Gesellschaft wird im Zuge zunehmender verbraucherorientierter Dienstleistungen mit KI-Unterstützung und mit einem verstärkten Fokus auf die Nutzung personenbezogener Daten das Bedürfnis nach mehr Transparenz in Bezug auf die KI-Technologie zunehmen.

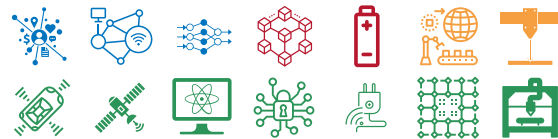
Politik und Unternehmen in der Schweiz können es sich nicht leisten, KI zu ignorieren. KI ist in Bezug auf die Automatisierung von Geschäftsprozessen, die Mensch-Maschine-Interaktion und die Gewinnung wichtiger Erkenntnisse aus Big Data disruptiv. Unternehmen müssen die KI nutzen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Andererseits bringt die KI besondere Herausforderungen mit sich, die bewältigt werden müssen. Politische Anspruchsgruppen müssen einen proaktiven Ansatz verfolgen und Führungsqualitäten demonstrieren, da sich die KI schnell weiterentwickelt und gesellschaftliche Bedenken in Bezug auf Ethik, Datenschutz und Transparenz angegangen werden müssen.



Quantentechnologien

Der Tanz der Quanten wird reif für die grosse Bühne

Bernhard Braunecker (Schweizerische Physikalische Gesellschaft), **Andreas Fuhrer** und **Thilo Stöferle** (IBM Research – Zurich, Schweizerische Physikalische Gesellschaft)



Der Begriff «Quantentechnologie» umfasst generell alle Technologien, die zentral auf Quanteneffekten basieren zum Beispiel quantisierte atomare Energieniveaus, Tunneleffekt, Zustandsüberlagerung oder -verschränkung. Im Zusammenhang mit der zweiten Quantenrevolution wird aber oft nur der Unterbereich gezählt, der sich die gezielte Kontrolle einzelner Quantensysteme zunutze macht, um völlig neuartige Bauelemente oder Methoden zu ermöglichen. Hierzu gehören zum Beispiel Quantencomputing, -kommunikation, -kryptografie, -sensoren und -simulation, deren Entwicklungsstand jedoch recht unterschiedlich ist.

So sieht es heute aus

Die Quantenkryptografie ist schon mit Produkten auf dem Markt, wobei der Schweizer Firma *ID Quantique* eine weltweite Vorreiterrolle zukommt. Quantensensoren sind in kommerziellen Magnetfeld-Sensoren integriert, und auch die Autoindustrie und Medizintechnik arbeiten an zukünftigen Produkten. Die nächste Generation Atomuhren, «Optische Uhren», bieten erheblich verbesserte Genauigkeit. Insbesondere die Informationsverarbeitung mit Quantencomputern zieht viel Aufmerksamkeit auf sich: Sie hat das Potenzial, un-

sere digitalisierte Gesellschaft stark zu verändern, vor allem, wenn es um rechenintensive Problemstellungen geht. Quantencomputer sind im Moment noch störungsanfällig, werden aber schon jetzt kommerziell eingesetzt, um neuartige Quantenalgorithmen auf ihren Nutzen zu prüfen. Generell ist die inhärente Empfindlichkeit gegenüber jedweden äusseren Störeinflüssen, ob elektrischer, magnetischer oder mechanischer Art, eine zentrale Herausforderung und ein Grund für die Komplexität der Technologie. Die Schweiz ist bezüglich der Forschung in den Gebieten der Quanten-

technologien international sehr gut positioniert. Allerdings gilt es, diese Expertise über langfristige Forschungsprogramme weiter zu fördern, um eine «kritische Masse» zu erreichen, Schwerpunktcluster zu bilden und die Brücken zur Industrie auszubauen. Nur so können Schweizer Unternehmen das Marktpotenzial in diesen Gebieten erschliessen.

Ein Blick in die Zukunft

Das Gebiet der Quantentechnologie hat in den letzten Jahren einen wahren Boom erlebt mit signifikanten staatlichen und privatwirtschaftlichen Investitionen. Das hat zu rasanten Fortschritten geführt, und es ist zu erwarten, dass sich diese Entwicklung in den nächsten fünf Jahren noch verstärkt. Immer mehr Lösungen werden Marktreife erlangen, angeführt von Quantenkommunikation über Quantensensorik bis zu Quantencomputing. Gleichzeitig stellt die Kontrolle solcher Systeme extreme Anforderungen an die Präzision und Stabilität der mechanischen, elektrischen und optischen Kontrollsysteme. Das eröffnet eine Vielfalt an Möglichkeiten für Schweizer KMU, Hochtechnologie-Komponenten im Bereich der Fabrikation oder für den Betrieb der Quantentechnologien zu liefern. Die Rahmenbedingungen spielen hier eine zentrale Rolle, um längerfristig international wettbewerbsfähig zu bleiben. So etwa die Ausbildung von Quanteningenieurinnen und Quanteningenieuren, die Förderung von Start-ups und KMU sowie grössere strategische Initiativen in diesem sich schnell verändernden Bereich.



Digitale Landwirtschaft

Digitale Technologien für eine effiziente und nachhaltige Landwirtschaft

Thomas Anken (Agroscope)



Landwirtschaftliche Produktionsprozesse sind geprägt von komplexen Wechselwirkungen zwischen Boden, Klima, Pflanzen, Nutztieren und Menschen. Diese Prozesse können gesteuert werden, indem der Boden möglichst bedarfsgerecht gedüngt, Unkraut mit mechanischen und Pflanzenschutzmitteln reguliert oder Tiere gezielt gefüttert werden. Dabei sollen die natürlichen Ressourcen geschont, die Tiergesundheit sichergestellt, unnötige Inputs vermieden und optimale Erträge erzielt werden. Der Technologietrend «Digitale Landwirtschaft» bezeichnet sämtliche digitalen Technologien, die den landwirtschaftlichen Produktionsprozess unterstützen.

So sieht es heute aus

Die raschen Fortschritte im Bereich der Sensorik ermöglichen es, Umwelt-, Pflanzen-, Tier- und Maschinendaten zu erfassen und die ablaufenden Prozesse immer besser zu verstehen und zu quantifizieren. Dies bildet die Basis für eine Optimierung der Produktion, welche unnötige Kosten und negative Auswirkungen auf Umwelt, Tier und Mensch vermeiden will. Neben einzelnen Sensoren, die beispielsweise die Bodenfeuchte für die Bewässerung erfassen, werden auch neue Produktionsverfahren entwickelt.

Erste Technologien wie der Melkroboter, der in der Schweiz über 800 Mal im Einsatz steht, Kraftfutterautomaten für Milchkühe oder automatische, satellitengesteuerte Lenksysteme für Traktoren sind in der Schweiz schon weit verbreitet. Ebenso nutzen Landwirtinnen und Landwirte Smartphones mit verschiedenen Applikationen. All diese Anwendungen dürfen aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass in der Schweiz noch ein grosses Potenzial für digitale Technologien in der Landwirtschaft brach liegt. Dies ist zum Teil sicherlich durch die kleinen Betriebsstrukturen bedingt, die übersichtlich und einfach zu managen sind und den Einsatz digitaler Technologie weniger forcieren. Gleichzeitig bestehen aber noch viele technische Herausforderungen, um die Zustände von Pflanzen, Böden und Tieren adäquat zu erfassen und diese Daten für die Bewirtschaftung gewinnbringend nutzen zu können.

Ein Blick in die Zukunft

Unbemannte Fahrzeuge sind auf dem Weg zur Einführung in die Praxis. Sie erkennen Unkräuter automatisch und behandeln diese einzelpflanzenspezifisch. Mittels Drohnen und Satellitenbildern ist es möglich, den Ernährungszustand von Pflanzen zu erkennen und diese bedarfsgerecht und lokal zu düngen sowie Traktoren zentimetergenau zu steuern. All diesen Anwendungen ist gemein, dass Sensoren Daten erheben, die verarbeitet werden und schliesslich als Entscheidungsgrundlage zur Steuerung der Produktion dienen und somit das grosse Erfahrungswissen der Landwirtinnen und Landwirte ergänzen. Viele Anwendungen befinden sich noch in der Entwicklung und stehen noch nicht im Praxiseinsatz.

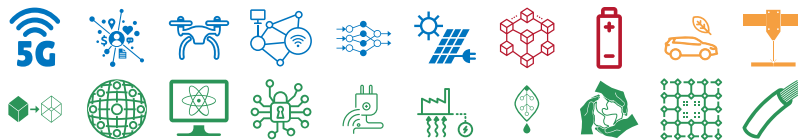
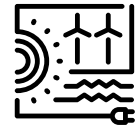
Im Hinblick auf die begrenzten Ressourcen und die steigende Weltbevölkerung ist es zentral, dass Wissen weiter aufgebaut und die Technik laufend verbessert werden. Nur so ist es möglich, die benötigten Nahrungsmittel nachhaltig und effizient zu produzieren.

Ähnlich wie bei der Automobilindustrie spielt die Schweiz im Agrartechnikmarkt keine prägende Rolle. In der Schweiz werden jedoch zahlreiche Bauteile für die digitale Landwirtschaft hergestellt. Dies sind vor allem Sensoren für Maschinen, 3D-Kameras für Melkroboter, Temperatur- und andere Sensoren für Wetterstationen etc. Zudem versuchen verschiedene Start-ups mit innovativen Ideen Bewässerungsanlagen zu automatisieren, Schafe auf den Alpen automatisch zu orten oder einen der ersten Unkrautroboter zu bauen. Da bieten sich also viele kleine und grössere Potenziale für die Schweizer Unternehmen.

Energieversorgung

Nachhaltig, zuverlässig, sicher, bezahlbar

Christian Schaffner (ETH Zürich)



Die Energieversorgung umfasst Elektrizität, Brenn- und Treibstoffe sowie Wärme. Ihr Ziel ist den Energiebedarf jederzeit sicher, zuverlässig, bezahlbar und nachhaltig zu decken.

So sieht es heute aus

Insbesondere der Druck, die klimarelevanten Emissionen zu verringern, verursacht in der Energieversorgung einen Wandel: Weg von den fossilen Primärenergien wie Erdgas und Erdöl hin zu erneuerbaren Quellen (insbesondere Photovoltaik und Wind). In gewissen Anwendungsbereichen ist dies technologisch einfacher zu bewerkstelligen, so bei der Stromversorgung, dem privaten Individualverkehr und der Wärmeversorgung von Gebäuden. Bei anderen gestaltet sich diese Transition schwieriger, etwa im Flug- und Güterverkehr. Technologien zur Speicherung elektrischer Energie, insbesondere Batteriespeicher, werden immer häufiger eingesetzt. Im Mobilitätsbereich wird der Einsatz von synthetischen Treibstoffen und Wasserstoff erforscht und im Gebäudebereich verdrängen Wärmepumpen vermehrt Heizungen, die auf fossilen Energieträgern basieren. Zunehmend werden intelligente Netz- und Systemsteuerungen auf lokaler Ebene getestet und zum Teil erfolgreich umgesetzt.

In der Schweiz gibt es eine rege Forschungstätigkeit im Energiebereich. Erforscht werden Speichertechnologien, synthetische Treibstoffe und intelligente Netzsysteme. Auch in der Grundlagenforschung gibt es hervorragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler mit internationaler Bedeutung. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Gebäudeenergie-technik sehr erfolgreich entwickelt. Dies hat dazu geführt, dass die CO₂-Intensität stark abgenommen hat und wohl auch weiterhin abnehmen wird. Die Mobilität hingegen hinkt der Entwicklung hinterher. Der Ausstoss von Klimagasen nimmt weder absolut noch relativ zur Wegstrecke ab. Der geschlossene Schweizer Markt

bei der Stromversorgung wirkt hemmend: Innovative Lösungen im dezentralen Bereich (in den Verteilnetzen) werden im Gegensatz zum Ausland nur selten eingesetzt. Für die Energieversorgung der Schweiz ist die Dekarbonisierung die grösste Herausforderung: Die Reduktion von CO₂ unter Beibehaltung einer hohen Versorgungssicherheit und zu bezahlbaren Kosten. Insbesondere für die Mobilität ist das eine grosse Herausforderung. Die zusätzliche Elektrifizierung des Wärme- wie auch des Mobilitätsbereichs werden einen Anstieg des Strombedarfs bewirken, der entsprechend abgefangen werden muss. In der Stromversorgung ist eine erhöhte Flexibilität gefragt, sodass hier neue Technologien und intelligente Systeme nötig sind.

Ein Blick in die Zukunft

Sowohl im Hinblick auf die Mobilität als auch im Gebäudebereich lässt sich die Abkehr von fossilen Brennstoffen nur dann zeitnah umsetzen, wenn sich die Regulierungen verschärfen. Im Energiebereich werden Innovationen, die einem Klimaziel dienlich sind, eher Erfolg haben als andere. Gemäss den gegenwärtigen Szenarien werden die Energiepreise nur leicht ansteigen. Das Ziel einer klimaneutralen Schweiz bis 2050 ist ehrgeizig, aber dringend notwendig. Im Stromsektor hängt viel davon ab, ob der Markt in der Schweiz vollständig geöffnet wird. Eine solche Liberalisierung könnte vielen neuen Playern den Einstieg ermöglichen und wichtige Innovationen vorantreiben. Zudem spielt das Verhältnis zur EU eine wichtige Rolle: Nur wenn der Austausch mit unseren Nachbarländern auch in Zukunft flexibel und effizient erfolgen kann, wird die Versorgungssicherheit in hohem Masse und zu relativ günstigen Preisen garantiert werden.



Kreislaufwirtschaft

Geschlossene Material- und Produktkreisläufe

Xaver Edelmann (World Resources Forum)



Die Kreislaufwirtschaft ist ein Prinzip zur Reduktion des Verbrauchs natürlicher Rohstoffe. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass Rohstoffe effizient und so lange wie möglich in ihrer ursprünglichen Qualität genutzt werden. Dazu müssen Material- und Produktkreisläufe geschlossen und Produkte wie Materialien länger im Umlauf gehalten werden. Im Vergleich zum aktuellen, linearen Wirtschaftssystem sinkt der Verbrauch von Primärrohstoffen. Produkte werden langlebiger, und es fällt weniger Abfall an. Dadurch sollen die Umweltbelastung reduziert und die Wertschöpfung gesteigert werden.

So sieht es heute aus

Die *Europäische Kommission* unternimmt laufend Schritte, um Ansätze der Kreislaufwirtschaft zu stärken und die Wirtschaft nachhaltiger zu gestalten. So hat sie 2015 ein entsprechendes Paket verabschiedet. Bei der Etablierung der Kreislaufwirtschaft spielt die Ökodesign-Richtlinie eine zentrale Rolle. Sie ist die rechtliche Grundlage für Mindestanforderungen an Haushaltgeräte. Diese Richtlinie schreibt den maximalen Energieverbrauch vor und verlangt, dass Geräte reparierbar sind.

2016 beschäftigten die für die Kreislaufwirtschaft relevanten Sektoren in der EU über vier Millionen Arbeitnehmende. Der weltweite Markt für Kreislaufwirtschaft sowie Material- und Ressourceneffizienz ist in den letzten fünf Jahren um über zehn Prozent gewachsen. Damit wächst dieser Markt schneller als der Weltmarkt insgesamt. In der Öffentlichkeit werden Impulsprogramme zur Förderung nachhaltiger Wirtschaftsformen auch unter dem Namen «Green New Deal» verhandelt.

Als rohstoffarmes Land verfolgt die Schweiz bereits seit Mitte der 1980er Jahre Ansätze der Kreislaufwirtschaft. So ist es gelungen, gewisse Kreisläufe zumindest teilweise zu schliessen. 2018 wurden von 17,5 Millionen Tonnen Rückbaumaterialien wie Beton, Kies, Sand, Asphalt und Mauerwerk knapp 12 Millionen Tonnen wiederverwertet. Dagegen befanden sich mehr als 5 Millionen Tonnen, insbesondere Mischabbruch, noch nicht in einem geschlos-

senen Kreislauf. Bei den Siedlungsabfällen wird etwas mehr als die Hälfte separat gesammelt und stofflich wiederverwertet. In der Schweiz steht der hohen Recyclingquote jedoch eine gewaltige Abfallmenge gegenüber. In kaum einem anderen Land fällt pro Kopf derart viel Siedlungsabfall an.

Ein Blick in die Zukunft

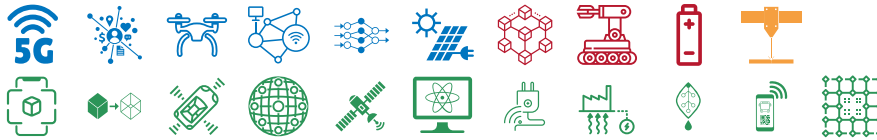
Die Kreislaufwirtschaft erfordert einen neuen Umgang mit Ressourcen. Das Wirtschaftswachstum muss vom Ressourcenverbrauch entkoppelt und dieser muss drastisch reduziert werden. Gleichzeitig muss die Ressourcenproduktivität massiv erhöht werden. Das bedeutet, dass mit weniger Ressourcen mehr produziert werden können muss. Um dieses Ziel zu erreichen, braucht es alternative ökonomische Ansätze. Nur mit Verhaltensänderungen bei Konsumentinnen und Konsumenten sind Fortschritte hin zu einer echten Kreislaufwirtschaft möglich.

Soziale und ökonomische Aspekte der Kreislaufwirtschaft sind noch zu wenig untersucht. Es braucht dazu also weitere Forschung. Sollen die planetaren Grenzen nicht überschritten und die Verpflichtungen des Pariser Abkommen zum Klimaschutz eingehalten werden, ist die Reduktion des Rohstoffverbrauchs unabdingbar. Die Schweiz muss sich dafür engagieren, dass Rohstoffkreisläufe geschlossen werden und nicht nur dem «Greenwashing» dienen. Nur so können die Umweltauswirkungen unserer Wegwerfgesellschaft verringert werden.

Smart Cities

Gesteigerte Lebensqualität und optimierte Ressourceneffizienz

Vicente Carabias (ZHAW) und Andrew Paice (HSLU)



Das Konzept der Smart Cities umfasst verschiedene Bestrebungen, um mit sozialen und technologischen Innovationen die Lebensqualität sowie die Ressourceneffizienz von Städten und urbanen Lebensräumen zu erhöhen. In den letzten zwanzig Jahren haben sich die Definition und Ziele stark verändert. Heute stehen vor allem Verbesserungen für Bürgerinnen und Bürger, die Umwelt, Unternehmen und die Verwaltung durch digitale Transformationen der urbanen Lebenswelt im Zentrum der Anstrengungen.

So sieht es heute aus

Smart Cities umfassen auch verschiedene Technologien, die auf Kommunikationsnetzwerken und der Echtzeitverfügbarkeit von Daten aus dem öffentlichen Raum basieren und mit der Verarbeitung von grossen Datenmengen gekoppelt werden. Dafür müssen derzeit separate öffentliche und private Datenquellen miteinander verknüpft werden. Dadurch erhofft man sich, dass smarte Infrastrukturen effizienter und transparenter sind. So unterstützen sie die Nachhaltigkeitsziele, die Optimierung des Einsatzes von Ressourcen und damit eine verbesserte Lebensqualität. Beispiele solcher Anwendungen sind verbesserte Verkehrsführung, die Koordination zwischen Abteilungen der öffentlichen Verwaltung usw. Die Herausforderungen in der Entwicklung von Smart-City-Anwendungen liegen in der Komplexität solcher Systeme sowie in der Sicherstellung des Datenschutzes und des Datenbesitzes. Eine erfolgreiche Implementierung erfordert eine informierte Zusammenarbeit von Öffentlichkeit, Regierung und Wirtschaft.

International gibt es viele Smart-City-Initiativen, von Pilot- und Leuchtturmprojekten bis hin zu städtischen Transformationsprozessen. Aufgrund der Vielfalt der möglichen Ziele hat jedoch keine Stadt das volle Potenzial erreicht. In denjenigen Rankings, in denen Schweizer Städte mitbeurteilt wurden, gehören diese zu den Top-Anwärterinnen.

Immer mehr Schweizer Städte haben eine Smart-City-Strategie. Dies inspiriert oft auch Nachbargemeinden dazu, ihre eigene Smart-City- oder zumindest eine Digitalisierungsstrategie zu definieren. Von den 84 Städten, die am *Swiss Smart City Survey 2020* teilgenommen haben, behandeln rund 43 Prozent das Thema Smart City aktiv. Alle teilnehmenden Gross-

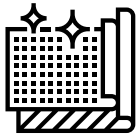
städte (mit über 100'000 Einwohnerinnen und Einwohner) entwickeln sich zu einer Smart City. Hingegen behandelt nur ein knappes Drittel der kleineren Städte und Gemeinden (unter 20'000 Einwohnerinnen und Einwohner) das Thema aktiv. Das Interesse am Thema nimmt auch bei den kleineren und mittelgrossen Städten zu, obschon dies gerade für diese anspruchsvoll ist, vornehmlich aufgrund beschränkter personeller und finanzieller Ressourcen.

Häufige Ansätze sind Anwendungen für E-Government oder die Erreichung von Effizienz- und Nachhaltigkeitszielen. Die Schwerpunkte bei der Entwicklung einer Smart City liegen für die Städte in den Bereichen Environment (46,4 Prozent), Living (43,7 Prozent) und People (42,3 Prozent). In allen Fällen geht es darum, die Stadt für ihre Bürgerinnen und Bürger und für die Wirtschaft zu einem attraktiven Lebens- und Arbeitsort zu machen.

Ein Blick in die Zukunft

Die wesentliche Herausforderung besteht darin, zu definieren, was Smart City für die jeweilige Bevölkerung, für die lokale Wirtschaft und für die Gemeindeverwaltung bedeutet. Davon abgeleitet kann dann bestimmt werden, wie diese Vorteile unter Gewährleistung der Akzeptanz durch alle Beteiligten erreicht werden können.

Staat und Wirtschaft haben Interesse an Smart-City-Anwendungen. So wird das Thema in der Schweiz aktiv bewirtschaftet. Der Weg zur Umsetzung ist jedoch noch lang. Mittelfristig können verschiedene Pilotprojekte und Versuche erwartet werden, da viele Städte und Regionen nach Lösungen suchen, die für sie funktionieren. Die Smart City wird eher partnerschaftlich entstehen, als implementiert werden.



Zukünftige Materialien

Materialien gestalten die Zukunft

Pierangelo Gröning (Empa)



Der Technologietrend Zukünftige Materialien bezeichnet eine unbestimmte Menge von Materialien mit neuen oder deutlich verbesserten physikalischen Eigenschaften. Wichtige Ziele in der Entwicklung neuer Materialien sind die multifunktionale Anwendbarkeit, eine ressourceneffiziente Produktion und Verarbeitung sowie das Schliessen von Wertstoffkreisläufen.

So sieht es heute aus

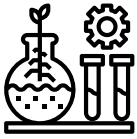
Zentrale Treiber für die Entwicklung neuer Materialien sind die gegenwärtigen ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderungen: etwa der Klimawandel, die Kreislaufwirtschaft und die Digitalisierung. Neue Materialien spielen in der Dekarbonisierung von Industrie und Gesellschaft eine zentrale Rolle. So basieren die Speicherung elektrischer Energie oder die Herstellung synthetischer Treibstoffe und CO₂-Absorber mitunter auf neuen Materialien. Damit sich die Kreislaufwirtschaft umsetzen lässt, müssen Wirtschaftszweige wie die Bauwirtschaft oder die Verpackungsindustrie vermehrt auf recycelbare Materialien setzen. Quantenmaterialien wie Graphen oder topologische Materialien, die an der Oberfläche andere Eigenschaften als im Volumen haben, ermöglichen die Entwicklung neuer elektronischer Komponenten, die auf quantenmechanischen Effekten für die Informationsverarbeitung basieren. Dadurch sinkt der Energiebedarf für die Informationsverarbeitung drastisch. Mögliche Anwendungen sind hochsensible Sensoren, neuromorphe Chips für künstliche Intelligenz oder ultraschnelle Quantencomputer. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil die heutige Computerarchitektur bald an ihre materialbedingten physikalischen Grenzen stossen wird und die fortschreitende Digitalisierung nach immer leistungsfähigeren Computern verlangt.

Die Materialforschung an Schweizer Hochschulen und Forschungsinstituten ist sehr breit aufgestellt und spielt international auf Top-Niveau. Die Zusammenarbeit von öffentlicher Forschung und Industrie ist seit Jahrzehnten gut etabliert und anwendungsorientiert.

Ein Blick in die Zukunft

Kohlenstoff ist ein vielversprechender Grundbaustein von zukünftigen Materialien und wird strategische Bedeutung erlangen. Als Verbundwerkstoff hat Kohlenstoff herausragende mechanische Eigenschaften, als Nanostruktur ist er ein Hoffnungsträger für die Postsiliziumelektronik. Als Biowerkstoff ist Kohlenstoff zudem biologisch abbaubar. Damit vereint Kohlenstoff viele der Anforderungen an ein zukünftiges Material. Produktefertigung und Materialsynthese werden zunehmend integriert bis zum Extremfall, bei dem beide Prozesse buchstäblich miteinander verschmelzen, zum Beispiel im 3D-Metalldruck. Dadurch erhöht sich die Komplexität von Fertigungsprozessen massiv, gilt es doch neben der Einhaltung von Fertigungstoleranzen auch die Qualität des Materials in der Produktherstellung sicherzustellen. Deshalb werden Materialkompetenzen und Prozessverständnis in der modernen Fertigung immer wichtiger. So ist die Entwicklung von neuen Materialien meist auch mit neuen Verarbeitungs- und Prozesstechnologien verbunden. →

Aufgrund der hohen Komplexität werden nur sehr wenige Unternehmen in der Lage sein, die notwendigen Fertigkeiten aufzubauen. Die Schweizer Hochschulen und Forschungsinstitutionen verfügen über die notwendigen Kompetenzen. Innovationen und wirtschaftliche Erfolge werden sich insbesondere dort einstellen, wo die Industrie und die öffentliche Forschung partnerschaftlich zusammenarbeiten. Im Rahmen von Public Private Partnerships, wie in den schweizweiten *Advanced Manufacturing Technology Transfer Centers*, werden Open-Access-Pilot-Produktionsanlagen betrieben. Unternehmen erhalten so die Möglichkeit, sich mit Unterstützung von Hochschulpartnern mit neuen Materialien und deren Verarbeitungstechnologien vertraut zu machen. So gewonnene Erfahrungen kommen sowohl den Unternehmen als auch der Forschung zugute. Der Technologietransfer vom Forschungslabor in die Industrie wird dadurch erleichtert und effizienter. Mit solchen Initiativen können auch die finanziellen Risiken von Unternehmen minimiert werden.



Biotechnologie

Natürliche Prozesse und lebende Organismen im Dienst des Menschen

Hans-Peter Meyer (ExpertInnova AG)



Chemie und Physik waren die Naturwissenschaften des 19. und 20. Jahrhunderts, Biologie ist diejenige des 21. Jahrhunderts. Und die Biotechnologie ist deren praktische Anwendung, die sich natürliche Prozesse und lebende Organismen industriell zu Nutze macht. Die Biotechnologie profitiert enorm von den Fortschritten in der Gentechnik, welche gezielte Veränderungen und Neukombinationen im Erbgut ermöglichen. Die Gentechnik wurde vor gut vierzig Jahren erstmals industriell eingesetzt. Sie erlaubt die Produktion von Molekülen wie Insulin, die ein Mikroorganismus nie produzieren würde. Dank der Gentechnik wurde die Biotechnologie global zu einem Milliardengeschäft und unverzichtbaren Instrument der Produktion und des Umweltschutzes.

So sieht es heute aus

Bei der industriellen, biotechnologischen Produktion von Biotherapeutika, also von grossen Molekülen wie monoklonalen Antikörpern, spielt die Schweiz weltweit in der ersten Liga. Ausserdem kündigten 2017 die globalen Schwergewichte *Biogen*, *CSL Behring* und *Lonza* fast gleichzeitig grosse Investitionen für die Herstellung solcher Moleküle in der Schweiz an. Leider hat die Chemie in der Schweiz die Biotechnologie lange Zeit als Konkurrenz betrachtet, weshalb nach wie vor ein Nachholbedarf bei deren Anwendung für die Produktion von Feinchemikalien, Naturstoffen und komplizierten chemischen Strukturen besteht. Eine weitere Besonderheit der Schweiz ist das seit 2005 geltende Gentech-Moratorium, das den Einsatz von gentechnisch veränderten Pflanzen verbietet und 2017 um weitere vier Jahre verlängert wurde.

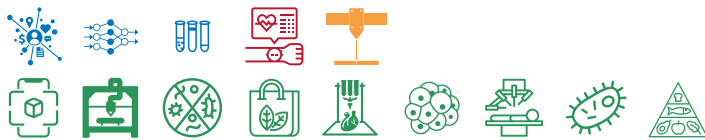
Ein Blick in die Zukunft

In Zukunft werden zwei Trends und deren kombinierte Anwendung die Biotechnologie entscheidend prägen: synthetische Biologie und Digitalisierung. Synthetische Biologie als Anwendungsgebiet der Gentechnik ermöglicht die Konstruktion neuartiger, synthetischer biologischer Systeme, die für die industrielle Produktion optimiert sind. Sie wird die Produktion von organischen Molekülen revolutionieren und dem Aspekt der Nachhaltigkeit Rechnung tragen. Schon seit langem ist die Bioprozesstechnik auf Rechneranwendungen angewiesen, sei es für die massive Verarbeitung komplexer und typischerweise verrauschter Daten oder für die automatisierte Führung von Prozessen mit lebenden Organismen. Die Digitalisierung wird die Bioprozesstechnik in Bezug auf Flexibilität, Qualität und Schnelligkeit auf ein neues Niveau heben. Eine nüchterne Neubeurteilung des Gentech-Moratoriums wird für die Schweiz unumgänglich sein, da es zahlreiche, potenziell attraktive und vor allem nachhaltige biotechnologische Wertschöpfungsketten blockiert.

Präzisionsmedizin

Medizin, individuell zugeschnitten und zur richtigen Zeit am richtigen Ort

Mark Rubin und **Timo Staub** (Universität Bern)



Die Präzisionsmedizin ist ein neues Paradigma der medizinischen Behandlung. Sie geht von dem Umstand aus, dass jeder Mensch einzigartig ist. Im Unterschied zur klassischen Medizin bezieht sie individuelle Merkmale von Patientinnen und Patienten in die Behandlung mit ein. So hängen Therapien nicht nur von Krankheitsbildern, sondern auch von der genetischen Prädisposition, von Umweltfaktoren und Lebensstil ab. Dabei kommen modernste Werkzeuge zum Einsatz, wie die Analyse des individuellen Genoms.

So sieht es heute aus

In der Behandlung von Krebserkrankungen und in der Pharmakologie hat sich die Präzisionsmedizin schon teilweise etabliert. In präzisionsmedizinischen Behandlungen bestimmt mitunter die genetische Disposition die Auswahl und Dosierung von Medikamenten. Schon heute sind grosse Pharmaunternehmen im Bereich der Präzisionsmedizin stark engagiert; sie stellen präzisionsmedizinische Therapien her und offerieren auch entsprechende Diagnostik-Lösungen. Auch kleinere Unternehmen und Start-ups sind aktiv. Die Präzisionsmedizin beruht auf der Auswertung genomischer Daten. Dies führt zu grossen Herausforderungen beim Schutz von Personendaten, entsprechend aufwändig sind die Kontrollmechanismen. Die Gesundheitskosten müssen im Rahmen bleiben, trotzdem sollten alle Bevölkerungsschichten von der Präzisionsmedizin profitieren können. Eine Möglichkeit, die Kosten von präzisionsmedizinischen Behandlungen zu reduzieren, ist das Etablieren einer stratifizierten Medizin, bei der je nach individueller Situation unterschiedliche Standardlösungen zum Einsatz kommen.

Ein Blick in die Zukunft

Die Präzisionsmedizin ermöglicht Therapien, die bis vor wenigen Jahren undenkbar waren. Schon heute finden präzisionsmedizinische Ansätze Anwendung im Standardreperoire medizinischer Therapien. In den nächsten Jahren wird die Präzisionsmedizin weiter an Bedeutung gewinnen.

















Die mit der Präzisionsmedizin erzielten Therapieerfolge tragen zur Langlebigkeit bei. Es braucht gesellschaftliche Debatten, wie damit umgegangen wird, dass Menschen älter werden und länger gesund bleiben.

Die Präzisionsmedizin entwickelt sich an den Schnittstellen zwischen Medizin, Informatik, Data Sciences und Molekularbiologie. Technologische Treiber sind maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz, genomische Pipelines sowie Entwicklungen und Anwendungen im Bereich der Molekularbiologie. Die Präzisionsmedizin ist ein Wachstumsmarkt, in dem sich Grossfirmen und Start-ups gleichermaßen engagieren. Der Bund fördert die Präzisionsmedizin mit Programmen wie dem *Swiss Personalized Health Network (SPHN)*. Forschung und Therapien könnten davon profitieren, wenn das regulatorische Rahmenwerk national besser abgestimmt würde. So sehen die Gesetze (insbesondere das Humanforschungsgesetz HFG) kantonale Bewilligungsmechanismen vor, dazu kommen unterschiedliche Regelungen in den beteiligten Spitälern. Dies macht die Abläufe relativ komplex und bürokratisch, was den Datenaustausch über die Kantonsgrenzen hinweg unnötig erschwert.











Die individuelle Genomik, Proteomik oder Metabolomik haben einen grossen Einfluss auf die Gesundheit von Menschen. Deshalb werden sie in Zukunft nicht nur in die medizinische Behandlung einfließen, sondern auch für die Krankheitsvorbeugung und bei der Erhaltung der Gesundheit eine immer grössere Rolle spielen, etwa in Form von spezialisierten Medikamenten oder als Verhaltensregeln bei erhöhtem Krebs- oder Alzheimerisiko. Um die Vorteile der Präzisionsmedizin vollumfassend nutzen zu können, bedarf es einer «digitalen Kopie des Patienten / der Patientin» mit allen gesundheitsrelevanten Informationen. Gesellschaftlich stellen sich Fragen zum Datenschutz und zur Datensicherheit.

Hier geht es zur Legende mit allen Icons und weiteren Erklärungen →








Digitale Welt

-  5G-Anwendungen **31**
-  Analyse von Big Data **32**
-  Augmented Reality **33**
-  Blockchain **34**
-  Connected Machines **36**
-  Digitaler Zwilling **37**
-  Drohnen **38**
-  Hochautomatisierte Fahrzeuge **39**
-  Internet of Things **40**
-  Kollaborative Robotik **41**
-  Maschinelles Lernen **42**
-  Mobile Roboter **43**
-  Neuartige Internetarchitektur SCION **44**
-  Optical Space Communication **45**
-  Quantencomputing **46**
-  Quantenkryptografie **47**











Energie und Umwelt

-  Alternative Antriebssysteme für Fahrzeuge **49**
-  Dezentrale Energiesysteme **50**
-  Geothermie **51**
-  Künstliche Photosynthese **52**
-  Mobilitätskonzepte **53**
-  Nachhaltige Lebensmittelproduktion **54**
-  Photovoltaik **55**
-  Recycling von seltenen Erden **56**
-  Smart Grids **57**
-  Zukünftige Energiespeicherung **58**



Fertigungsprozesse und Materialien

-  Additive Fertigung – Materialentwicklung **61**
-  Additive Fertigung – Verfahren **62**
-  Antimikrobielle Materialien **63**
-  Bioplastik **64**
-  Funktionale Fasern **65**
-  Photonische Fertigung **66**
-  Wärmeleitende elektrische Isolatoren **67**

Life Sciences

-  3D-Biodruck **69**
-  Alternative Proteinquellen **70**
-  Biokatalyse und Biosynthese **71**
-  Massenkultivierung von Stammzellen **72**
-  Medizinische Wearables **73**
-  Medizinroboter **74**
-  Mikrobiota und Mikrobiome **75**
-  Personalisierte Ernährung **76**
-  Point-of-Care-Diagnostik **78**
-  Synthetische Biologie **79**

Technik und Gesellschaft

-  Datensouveränität **81**
-  Digital Trust **82**

Neu im *Technology Outlook 2021* aufgenommene Technologien sind grau hinterlegt.

Abbildungen im Kapitel «Technologien und Anwendungsgebiete»

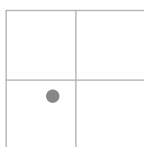
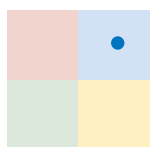


Abbildung links zeigt die Bedeutung der Technologie für die Schweiz und korrespondiert mit Abbildung 5 auf den Seiten 14 und 15.

Abbildung rechts zeigt die relative Häufigkeit von Social-Media-Posts analog zur Abbildung 3 auf Seite 10 (horizontale Achse: Schweiz; vertikale Achse: europäische Vergleichsländer).

satw it's all about
technology



Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW
St. Annagasse 18 | 8001 Zürich | 044 226 50 11 | info@satw.ch | www.satw.ch

