
Technology Outlook 2019

Deutsche Version

Impressum

Autoren

Christophe Ballif, Rebecca Buller, Max Erick Busse-Grawitz, Ulrich Claessen, Andreas Conzelmann, Alessandro Curioni, Lukas Czornomaz, Reinhard Czichy, René Dändliker, Djordje Filipovic, Willy Gehrler, Bernhard Gerster, David Grosspietsch, Daniel Gygax, Gerrit Hagens, Manfred Heuberger, Pavel Hora, Paul Keller, Wolfgang Kröger, Thomas Küchler, Andreas Kunz, Roland Küpfer, Christian Leinenbach, Frank Liebisch, Urs Mäder, Niko Manopulo, Roger Marti, Hans-Peter Meyer, Bradley Nelson, Andrew Paice, Sven Panke, Thomas Puschmann, Michael Raghunath, Peter Richner, Thomas J. Schmidt, Roland Siegwart, Adriaan Spierings, Lars Sommerhäuser, Bernhard Tellenbach, Andrea Vezzini, Erich Windhab

Steering (Wissenschaftlicher Beirat der SATW)

Hans Altherr, Bernhard Braunecker, Robert Frigg, René Hüsler, Peter Seitz, Ulrich W. Suter, Alessandro Tschabold

Projektleitung

Claudia Schärer

Redaktion

Beatrice Huber, Adrian Sulzer

Review

Tony Kaiser

Gestaltung

Andy Braun

Bilder

Fotolia

März 2019

Vorwort

Der Vergleich der Leistung der Schweizer Industrie mit derjenigen unserer globalen Konkurrenz wird häufig undifferenziert als ausserordentlich gut dargestellt. Das verlockt dazu, sich auf den Lorbeeren auszuruhen und Geschäfte, die ohne Investitionen in Forschung und Entwicklung im Moment erfolgreich laufen, als «cash cows» auszunützen. Eingelullt von den Ergebnissen versäumt man dann, für Erneuerung und Innovation zu sorgen. Man verspielt die Vorteile eines profitablen Geschäftsfelds, bei dem oft informiertes, erfahrenes und motiviertes Personal noch zur Verfügung steht, das für Forschung und Entwicklung geeignet ist. Beim genaueren Hinschauen wird aber rasch klar, dass es Erneuerung und Anpassung braucht.

Dem Beobachter der globalen Industrieszene fällt auf: Neuigkeiten werden wichtiger. Der Innovationsdruck auf etablierte Unternehmen wird stärker. Die verfügbare Zeit zwischen Erfindung und Markteintritt wird kürzer. Um überlebensfähig zu bleiben, müssen Firmen sich frühzeitig entscheiden, welche Pfade sie in der Erneuerung ihres Produkteportfolios beschreiten wollen, wie sie im Innovationswettrennen erfolgreich bestehen wollen.

Um früher im Innovationswettbewerb aktiv werden zu können, muss man auch früher informiert sein. Die SATW hatte zu diesem Zweck 2015 als Experiment den ersten Technology Outlook vorgestellt. Er kam gut an, hatte aber auch seine Schwächen und «blinde Flecken». Der Technology Outlook 2017 deckte dann «vernachlässigte», wichtige Gebiete besser ab. Die Erfahrung der vergangenen vier Jahre hat gezeigt, dass für einen Technology Outlook ein Intervall von zwei Jahren den Windungen des sich verändernden industriellen Umfeldes und des jeweils damit gekoppelten Medienrummels entspricht. Sie halten darum jetzt den Technology Outlook 2019 in den Händen. In einem bedeutsamen Schritt hat der Vorstand den Wissenschaftlichen Beirat der SATW zum Eigner des Projekts «Technology Outlook» gemacht. Dies hat dem Inhalt und der Breite des Produktes sicher gut getan. Verglichen mit den vorgängigen Ausgaben hat die Autorenschaft ihre Recherchen vertieft, den Inhalt besser strukturiert und ist quantitativ vorgegangen. Die kritische Würdigung des Materials in den verschiedenen Stadien durch die Qualitätskontrollmechanismen der SATW hat gut funktioniert und die Ausarbeitung des Manuskriptes in seine endgültige Form verdankt viel der Redaktion durch die Geschäftsstelle. Ich bedanke mich herzlich bei allen Mitwirkenden!

Ich wünsche Ihnen namens des Wissenschaftlichen Beirats eine stimulierende Lektüre und hoffe, der Technology Outlook 2019 könne Ihnen behilflich sein.



Ulrich W. Suter | Präsident Wissenschaftlicher Beirat SATW

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Einleitung	6
Bedeutung der Technologien für die Schweiz	8
Internationaler Vergleich	13
Beschreibung der Technologien	20
Die digitale Welt	20
Blockchain	21
Blockchain als Basis für Webdienstleistungen	21
Cybersecurity	22
Kryptografie und Quantencomputing	22
Industrie 4.0	23
Augmented Reality – Industrielle Anwendungen	23
Der digitale Zwilling	24
Vernetzte Maschinen – Connected Machines	25
Künstliche Intelligenz	26
Analyse von Big Data	26
Lernende Maschinen und Neuronale Netzwerke	27
Robotik	28
Drohnen	28
Kollaborative Robotik	29
Energie und Umwelt	30
Energiebewirtschaftung	31
Dezentrale Energiesysteme	31
Smart Grids	32
Zukunfftige Energiespeicherung	33
Erneuerbare Energiequellen	34
Geothermie	34
Photovoltaik	35
Landwirtschaft	36
Alternative Proteinquellen	36
Drohnen in der Präzisionslandwirtschaft	37
Nachhaltige Lebensmittelproduktion	39

Mobilität	40
E-Mobilität: Elektrische Fahrzeuge und Infrastruktur	40
Mobilitätskonzepte	41
Automatisierte Fahrzeuge	42
Smarter Lebensraum	43
Smart Cities	43
Smart Home	45
Fertigungsprozesse und Materialien	46
Additive Fertigung	47
Materialentwicklung für Additive Fertigung	47
Verfahren im Bereich der Additiven Fertigung	48
Zukünftige Materialien	49
Bioplastik	49
Funktionale Fasern	50
Photonik und Lichttechnologie	52
Oberflächenbearbeitung mit Laser	52
Optical Space Communication	54
Photonik als Enablertechnologie	55
Life Sciences	56
Nachhaltige chemische Produktion	57
Biokatalyse und Biosynthese	57
Kontinuierliche Fertigungsverfahren	59
Synthetische Biologie	61
Präzisionsmedizin	62
Operationsroboter	62
Personalisierte Ernährung	63
Point-of-care-Diagnostik	64
Regenerative Medizin	65
3D-Biodruck: Organe aus dem Drucker	65
Massenkultivierung von Stammzellen	66

A large array of solar panels is shown from a low angle, receding into the distance. The sun is low on the horizon, creating a bright, golden glow and casting long, soft shadows across the panels. The sky is filled with scattered, white and yellowish clouds. The overall scene conveys a sense of clean, renewable energy.

Einleitung

Ein Grundauftrag der SATW ist die Früherkennung neuer, möglicherweise disruptiver Technologien, die für die Schweizer Wirtschaft und Gesellschaft in den kommenden drei bis fünf Jahren von Bedeutung sein werden. Dazu erstellt die SATW alle zwei Jahre einen öffentlichen Früherkennungsbericht, der diese Technologien präsentiert und deren Bedeutung bewertet. Die dritte Ausgabe dieses Technology Outlooks wartet mit etlichen Neuerungen auf.

So wurde das Netz zum Erkennen neuer Technologien deutlich breiter und feiner ausgeworfen: Neu werden im Bericht 37 Technologien aus den für die Schweizer Wirtschaft relevantesten Bereichen vorgestellt. Diese Technologieliste entstand in enger Zusammenarbeit mit dem Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFI sowie mehr als 70 Expertinnen und Experten. Bei der Auswahl wurde die Bedeutung der Technologien für die Schweiz und deren technologischer Reifegrad berücksichtigt. So finden sich gewisse Technologien wie Kryptowährungen, Smarte Sensoren und Windenergie nicht im Bericht. Sie entsprechen nicht dem anvisierten Zeithorizont von drei bis fünf Jahren oder sind für die Schweizer Wirtschaft wenig relevant. Die SATW ist sich bewusst, dass es sich bei manchen der beschriebenen Technologien eher um ganze Themengebiete als um Einzeltechnologien handelt. Dies geht auf die Wahrnehmung der technologischen Entwicklungen in Politik und Öffentlichkeit zurück und ist auch in vergleichbaren europäischen Publikationen zu beobachten.

Erstmals wurde der Technology Outlook mit semiquantitativen Angaben hinterlegt. Diese basieren auf dem Wissen unserer Expertinnen und Experten sowie auf umfangreicher Recherche und erlauben es, die relative Bedeutung der einzelnen Technologien für die Schweiz abzuschätzen. «Stars», «Selbstläufer», «Nischen» oder «Hoffnungsträger» – jede Technologie wird aufgrund der Angaben einem von vier Quadranten zugewiesen, die durch die volkswirtschaftliche Bedeutung und die Kompetenz in der Schweiz definiert sind. Es wird interessant sein zu beobachten, wie sich die Positionen der Technologien bis zur vierten Ausgabe des Technology Outlooks in zwei Jahren verändern werden.

Eine weitere Neuerung in diesem Technology Outlook ist der Ländervergleich, den sowohl die SATW als auch das SBFI als wertvoll und wünschenswert erachten. Die Analyse von Posts und Tweets auf den offiziellen sozialen Kanälen europäischer Universitäten zu den beschriebenen Technologien erlaubt einen Vergleich der Schweiz mit ausgewählten europäischen Ländern. Obwohl Technologien wie «Analyse von Big Data» oder «Blockchain» die akademische Diskussion in den meisten Ländern dominieren, gibt es klare länderspezifische Unterschiede. Diese stimmen mit der Wahrnehmung der industriellen Ausrichtung dieser Länder in der Öffentlichkeit überein.

Ein grosser Dank geht an die zahlreichen Autorinnen und Autoren, ohne deren Einsatz und Wissen eine Publikation dieser Ausführlichkeit nicht möglich gewesen wäre. Ihnen danken wir für Ihr Interesse und wünschen eine spannende Lektüre mit interessanten Einblicken und Erkenntnissen.

Bedeutung der Technologien

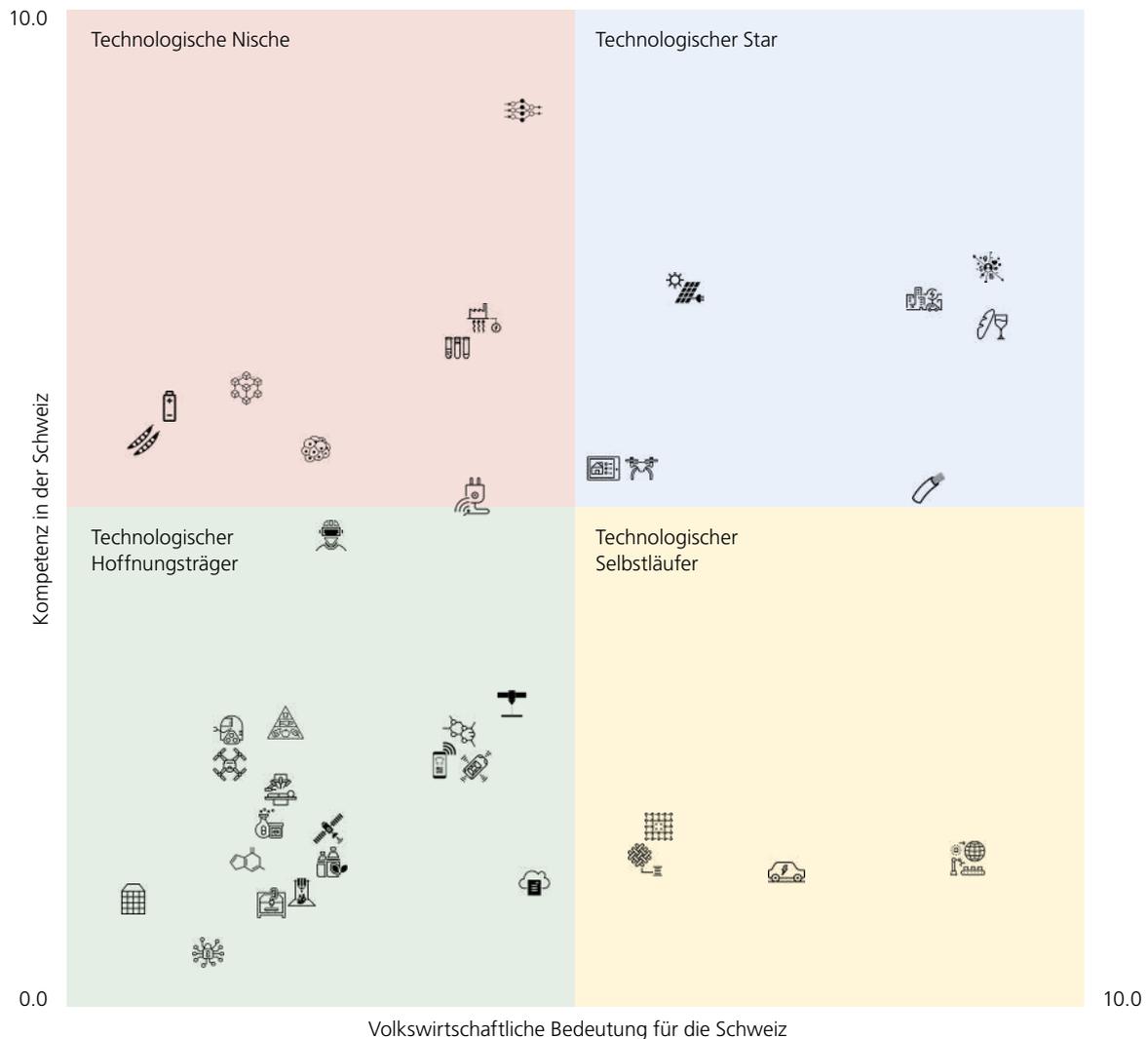


Abbildung 1: Relative Bedeutung der Technologien für die Schweiz

Die horizontale Achse zeigt die volkswirtschaftliche Bedeutung der Technologien für die Schweiz, die vertikale Achse die Kompetenz in der Schweiz.¹

Die Grafik im Stil einer Quadrantendarstellung (Abbildung 1) zeigt für die im Technology Outlook beschriebenen Technologien die volkswirtschaftliche Bedeutung (horizontale Achse) sowie die Kompetenz in der Schweiz (vertikale Achse), die auf der akademischen und industriellen Forschungsintensität beruht. Die Darstellung ist als Momentaufnahme mit Ausblick in die nahe Zukunft zu verstehen, da für die volkswirtschaftliche Bedeutung sowohl der heutige Umsatz als auch das Potenzial für künftigen Umsatz berücksichtigt wurde. Es handelt sich dabei um den Um-

satz mit Produkten oder Dienstleistungen, den in der Schweiz ansässige Unternehmen weltweit erwirtschaften. Ebenfalls berücksichtigt ist der Umsatz, der mit Montage oder Service von importierten Produkten hierzulande erzielt wird. Der Wert auf der vertikalen Achse – die Kompetenz in der Schweiz – bildet die Anzahl der akademischen und industriellen Forschungsgruppen hierzulande ab. In Abbildung 2 sind jeweils die fünf Technologien mit der grössten volkswirtschaftlichen Bedeutung (links) und der grössten Kompetenz in der Schweiz (rechts) abgebildet.

für die Schweiz

Technologische Nische

-  Alternative Proteinquellen
-  Blockchain
-  Dezentrale Energiesysteme
-  Geothermie
-  Lernende Maschinen
-  Massenkultivierung von Stammzellen
-  Point-of-care-Diagnostik
-  Zukünftige Energiespeicherung

Technologischer Hoffnungsträger

-  3D-Biodruck
-  Augmented Reality
-  Automatisierte Fahrzeuge
-  Biokatalyse und Biosynthese
-  Bioplastik
-  Der Digitale Zwilling
-  Drohnen in der Präzisionslandwirtschaft
-  Kollaborative Robotik
-  Kontinuierliche Fertigungsverfahren
-  Kryptografie und Quantencomputing
-  Materialentwicklung für Additive Fertigung
-  Mobilitätskonzepte
-  Oberflächenbearbeitung mit Laser
-  Operationsroboter
-  Optical Space Communication
-  Personalisierte Ernährung
-  Synthetische Biologie
-  Verfahren im Bereich der Additiven Fertigung

Technologischer Star

-  Analyse von Big Data
-  Drohnen
-  Nachhaltige Lebensmittelproduktion
-  Photonik
-  Photovoltaik
-  Smart Cities
-  Smart Home

Technologischer Selbstläufer

-  E-Mobilität
-  Funktionale Fasern
-  Smart Grids
-  Vernetzte Maschinen (Connected Machines)

«Stars», «Selbstläufer», «Nischen» und «Hoffnungsträger»

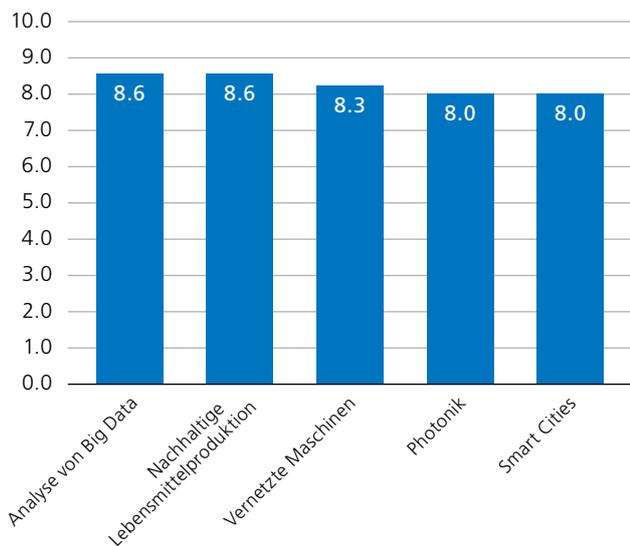
Die Technologien im blau hinterlegten Quadranten oben rechts sind die «Stars». Die Kompetenz in der Schweiz ist hoch, da sich die akademische und industrielle Forschung intensiv damit beschäftigen, und die volkswirtschaftliche Bedeutung dieser Technologien ist gross. Sie bescheren der Schweiz hohe Umsätze und generieren Arbeitsplätze. Somit besteht eine ausgezeichnete Basis für eine positive künftige Weiterentwicklung. Diese Technologien sollten gestärkt, die Chancen für neue Geschäftsfelder genutzt werden. Dies zu tun, verlangt weitere Anstrengungen; die

Unternehmen und Forschungsinstitute, die sich mit Technologien in diesem Quadranten beschäftigen, dürfen sich nicht auf ihren Lorbeeren ausruhen. Sie müssen das erarbeitete Wissen breiter nutzen.

Die Technologien im gelb hinterlegten Quadranten unten rechts sind ein «Glücksfall» für die Schweiz. Obwohl die Kompetenz in der Schweiz eher tief ist, sich also nur wenige Forschungsinstitute mit der Thematik beschäftigen, wird damit ein hoher Umsatz generiert. Diese Technologien sind «Selbstläufer». Es handelt sich um bereits reife, gut etablierte Technologien, die sich momentan nur langsam entwi-

¹ Diese Technologieliste entstand in enger Zusammenarbeit mit dem Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation SBFJ sowie mehr als 70 Expertinnen und Experten. Bei der Auswahl wurde die Bedeutung der Technologien für die Schweiz und deren technologischer Reifegrad berücksichtigt.

Volkswirtschaftliche Bedeutung für die Schweiz



Kompetenz in der Schweiz

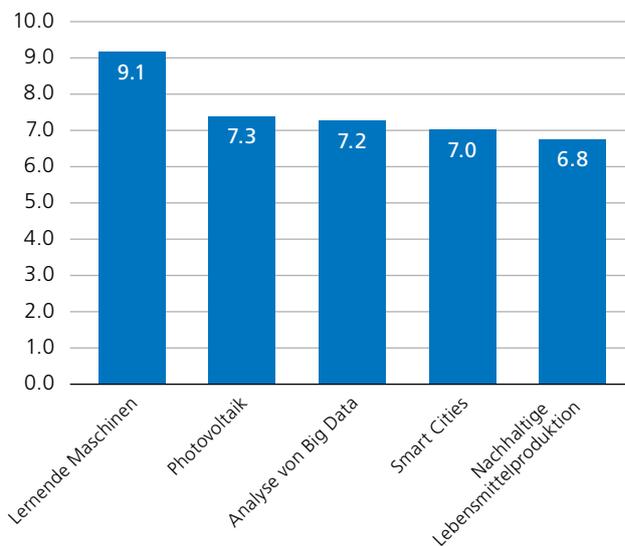


Abbildung 2: Top-5-Technologien für die Schweiz

Die linke Grafik zeigt die fünf volkswirtschaftlich bedeutendsten Technologien für die Schweiz, die rechte Grafik die fünf Technologien mit der höchsten Kompetenz in der Schweiz.²

ckeln. Dieser Zustand könnte sich aber auch ändern. Wichtig ist, dass die weitere Entwicklung dieser Technologien genau beobachtet wird. Investitionen in Aus- und Weiterbildung sowie in Grundlagen- und angewandte Forschung könnten sich auch in Zukunft auszahlen.

Im rot hinterlegten Quadranten oben links befinden sich Technologien, die als «Nischen» angesehen werden können. Investitionen in diese Technologien müssen kritisch hinterfragt werden: Zwar ist die Kompetenz in der Schweiz gemessen an der Forschungsintensität hoch, doch die volkswirtschaftliche Bedeutung eher gering. Es stellen sich Fragen nach dem Return on Investment und dem Zukunftspotenzial. Gewisse Technologien wie «Lernende Maschinen» stehen kurz vor dem Durchbruch von den «Nischen» zu den «Stars», während andere wie «Zukünftige Energiespeicherung» noch weit davon entfernt sind. Die Chancen verbesserter Vermarktung und neuer Geschäftsfelder müssen genutzt werden. Auch ist eine Digitalisierung in den haus-

internen Fertigungsprozessen anzustreben, um die Produktionskosten zu senken und somit Umsatz und Gewinn zu erhöhen.

Im grün hinterlegten Quadranten unten links findet sich die grosse Gruppe der technologischen «Hoffungsträger». Die volkswirtschaftliche Bedeutung ist noch gering, die Kompetenz wegen der eher geringen Forschungsintensität allerdings auch. Der Markt, den die Schweizer Firmen bearbeiten, ist (noch) nicht reif dafür, auch wenn der technologische Reifegrad einzelner Technologien bereits relativ hoch ist. Es finden sich in diesem Quadranten aber auch viele aufkeimende Technologien mit ungewissem Zukunftspotenzial. Es ist deshalb wichtig, die Entwicklung dieser Technologien genau zu verfolgen und zu analysieren sowie das internationale Marktpotenzial zu bestimmen. Zur Förderung dieser Technologien scheinen die Vernetzung der akademischen und industriellen Partner sowie der Aufbau von Austauschplattformen sinnvoll.

² Die fünf Technologien mit den höchsten Werten auf der horizontalen Achse wurden als die fünf volkswirtschaftlich bedeutendsten Technologien für die Schweiz bestimmt, diejenigen mit den fünf höchsten Werten auf der vertikalen Achse als die fünf Technologien mit der höchsten Kompetenz in der Schweiz.

Methodik

Zur Ermittlung der Positionen der einzelnen Technologien in der Quadrantendarstellung wurden für jede Technologie acht Werte abgeschätzt: Umsatz 2017, 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 ausgedrückt mit dem durchschnittlichen h-Index³, Anzahl Firmen in der Schweiz mit F&E-Aktivitäten auf diesem Gebiet, Kompetenz dieser Firmen im internationalen Umfeld. Die Wertebereiche wurden in ein Punktesystem überführt.

Umsatz 2017 (U), basierend auf Schätzungen von Expertinnen und Experten, Branchen- und Geschäftsberichten, statistischen Datenbanken und Internetrecherche:

Wert (in Mio. CHF)	< 10	10–99	100–499	500–999	≥ 1000
Punkte	1	2	3	4	5

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

Wert	ungünstig	neutral	optimal
Punkte	0.8	1	1.2

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

Wert	hemmend	neutral	fördernd
Punkte	0.9	1	1.1

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

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

³ Der h-Index ist eine Kennzahl für das weltweite Ansehen eines Wissenschaftlers bzw. einer Wissenschaftlerin in Fachkreisen. Er basiert auf der Anzahl Zitationen der Publikationen. Ein hoher h-Index ergibt sich, wenn eine grosse Anzahl der Publikationen des Wissenschaftlers häufig in anderen Veröffentlichungen zitiert ist.

Kompetenz der akademischen Forschungsgruppen (K_A), basierend auf dem durchschnittlichen h-Index der Forschungsgruppen in der Schweiz, die auf dem entsprechenden Gebiet aktiv sind⁴:

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), Einschätzung von Expertinnen und Experten:

Wert	gering	mittel	hoch
Punkte	0.8	1	1.2

Überführung der Werte in Positionen auf der horizontalen und vertikalen Achse der Quadrantendarstellung:

Die Position einer Technologie auf der horizontalen Achse (volkswirtschaftliche Bedeutung) wurde mit folgender Formel bestimmt:

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

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 als Modulatoren des Umsatzes. Der Einfluss des Marktpotenzials auf die Entwicklung des Umsatzes wurde als grösser eingeschätzt als derjenige der rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen, deren Einfluss wiederum grösser als derjenige der gesellschaftlichen Akzeptanz. Diese Gewichtung spiegelt sich in der Überführung der Wertebereiche in das Punktesystem wider.

Die Position einer Technologie auf der vertikalen Achse (Kompetenz in der Schweiz) ergibt sich aus folgender 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 Modulator, 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 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 10.0 ist.

⁴ Quelle: ResearchGate <https://www.researchgate.net/>

Internationaler Vergleich

Die Quadrantendarstellung zeigt die relative Bedeutung der einzelnen Technologien für die Schweiz. Sie macht aber keine Aussage über deren Bedeutung für europäische Vergleichsländer. Dazu müssten die Angaben zumindest für die wichtigsten Technologien für alle gewünschten Vergleichsländer erhoben und recherchiert werden. Der Aufwand dafür wäre enorm und nicht realisierbar.

Um dennoch einen Blick über die Landesgrenzen zu werfen und einen internationalen Vergleich zu ermöglichen, wurde ein Produkt der Firma LinkAlong (<https://linkalong.com>) eingesetzt, einem Start-up der EPFL, das auf die intelligente und anwenderspezifische Analyse von Big Data spezialisiert ist. LinkAlong nutzt Social-Media-Kanäle wie Twitter, Instagram und Facebook sowie darin referenzierte Webseiten als Datenbasis: Für den Technology Outlook 2019 wurden die Tweets und Posts der offiziellen Social-Media-Accounts von 1300 europäischen Hochschulen ausgewertet. Um nur Quellen mit hoher Glaubwürdigkeit für die Analyse zu verwenden, wurde der Datensatz bewusst auf die offiziellen Kommunikationskanäle der Hochschulen begrenzt und nicht auf einzelne Hochschulangehörige erweitert. Die Daten vermitteln also einen zeitnahen Eindruck, in welchen Ländern in akademischen Kreisen wie intensiv über welche Technologien diskutiert wird, erlauben aber keine direkte Aussage über deren volkswirtschaftliche Bedeutung.

Methodik

Für Abbildung 3 wurden alle Posts im Zeitraum vom 1. Januar bis 31. Dezember 2018, die eine der 37 im Technology Outlook 2019 vorgestellten Technologien für die Schweiz, Deutschland, Frankreich, Grossbritannien, Italien, die Niederlande, Österreich und Schweden erwähnen, separat gezählt. Die Anzahl der in der Abbildung dargestellten Technologien variiert, da in jedem Land unterschiedlich viele der 37 Technologien erwähnt werden. Die Gesamtzahl der Posts für alle in einem Land erwähnten Technologien wurde als 100% definiert, die Anzahl Posts für eine einzelne Technologie als Prozent des Ganzen ausgedrückt und in einem Kreisdiagramm dargestellt. Jeder Kreissektor steht für eine einzelne Technologie, die Grösse des Kreissektors widerspiegelt die relative Häufigkeit der Erwähnung dieser Technologie für ein Land.

Für Abbildung 4 wurden für die Schweiz, Deutschland, Frankreich, Grossbritannien, Italien, die Niederlande, Österreich und Schweden alle Posts für die im Technology Outlook 2019 vorgestellten Technologien für den Zeitraum vom 1. Januar bis 31. Dezember 2018 separat gezählt. Für jedes Land wurde die Anzahl Posts für die Technologien mit den fünf höchsten Werten als Prozent der gesamten Anzahl Social-Media-Posts für alle im Technology Outlook aufgeführten Technologien berechnet und in einem Netzdiagramm aufgetragen. Die Werte auf der Achse entsprechen dem Prozentsatz einer einzelnen Technologie an allen im Technology Outlook 2019 aufgeführten Technologien. Im Netzdiagramm sind nur diejenigen Technologien aufgeführt, die in einem der acht Länder zu den fünf meistwähnten gehören.

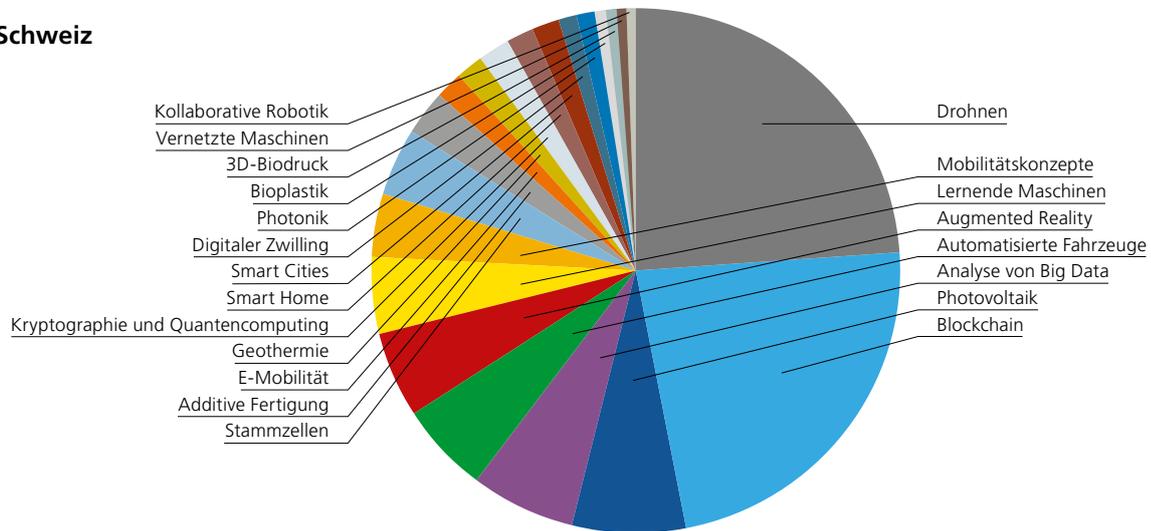
Abbildung 3 zeigt die Erwähnungen der einzelnen Technologien in Social-Media-Kanälen für die Schweiz und sieben ausgesuchte Vergleichsländer im Zeitraum vom 1. Januar bis 31. Dezember 2018. Es ist auffallend, dass in der Schweiz, in Frankreich, Italien und Österreich eine oder zwei Technologien die Social-Media-Posts dominieren: In der Schweiz sind es «Drohnen» und «Blockchain», in Frankreich «Analyse von Big Data» und «Blockchain», in Italien «Analyse von Big Data» sowie in Österreich «Blockchain» und «Analyse von Big Data». In Deutschland, Grossbritannien, den Niederlanden und Schweden produziert jeweils eine Vierer- oder Fünfergruppe die Mehrheit der Posts. Die Zusammensetzung dieser Gruppen ist länder-spezifisch.

«Analyse von Big Data», «Blockchain» und «Augmented Reality» werden in fast allen untersuchten Ländern intensiv auf den Social-Media-Kanälen der Hochschulen diskutiert. Sie scheinen an vielen Universitäten einen Forschungsschwerpunkt darzustellen. Die hohe Anzahl Posts ist aber sicher auch auf die Breite der Begriffe zurückzuführen, handelt es sich doch vor allem bei «Analyse von Big Data» und «Augmented Reality» eher um Themengebiete als um Einzeltechnologien. Daneben gibt es Technologien, die nur in wenigen Ländern erwähnt werden: So etwa «Alternative Proteinquellen» in Deutschland, Frankreich und Italien, «Biokatalyse und Biosynthese» in Deutschland und Italien, «Dezentrale Energiesysteme» in Deutschland und den Niederlanden, «Zukünftige Energiespeicherung» in Deutschland, Frankreich und Italien sowie «Operationsroboter» in Deutschland, Grossbritannien und Italien.

Die Social-Media-Auswertungen offenbaren auch, in welchen Vergleichsländern eine breite Diskussion über jene Technologien geführt wird, die in der Schweiz im grünen Quadranten (unten links) der «Hoffnungsträger» rangieren (Abbildung 1). «Additive Fertigung» ist in den Niederlanden präsent, «Mobilitätskonzepte» in Italien und den Niederlanden sowie «E-Mobilität» in Deutschland. Diese Technologien scheinen in den Vergleichsländern mehr Interesse zu wecken als in der Schweiz.

Es zeigt sich, dass das Thema «E-Mobilität» in allen acht Ländern mit ähnlicher Häufigkeit wie «Automatisierte Fahrzeuge» oder «Mobilitätskonzepte» diskutiert wird. Die Thematik «Smart Cities» wird in einigen Ländern mit ähnlicher Häufigkeit diskutiert wie «E-Mobilität», «Mobilitätskonzepte» oder «Automatisierte Fahrzeuge». Themen, die inhaltlich verwandt sind, werden also auch ähnlich intensiv diskutiert.

Schweiz



Deutschland

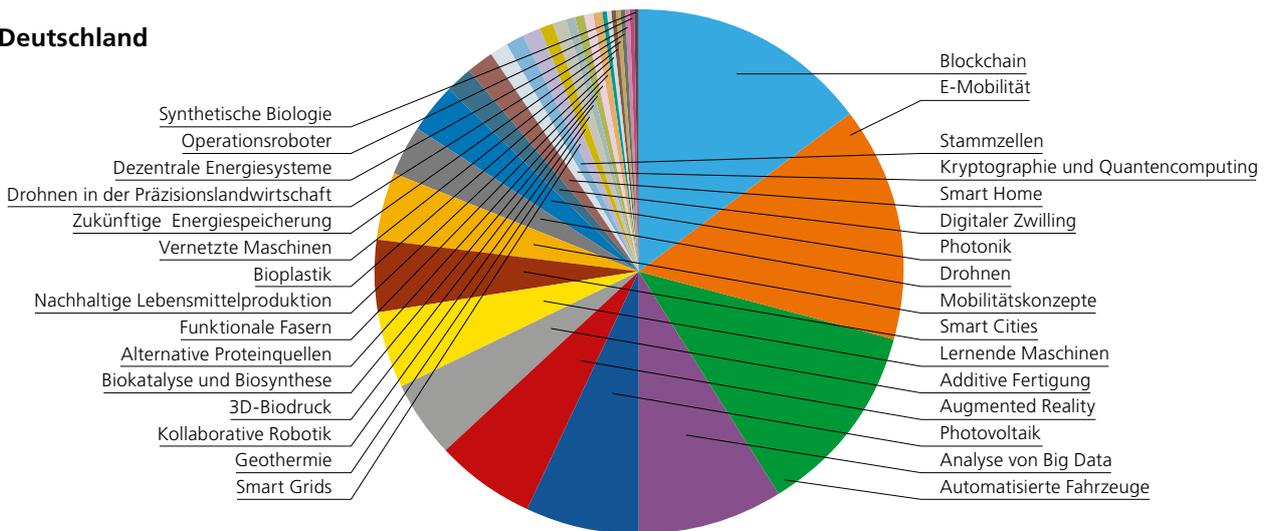
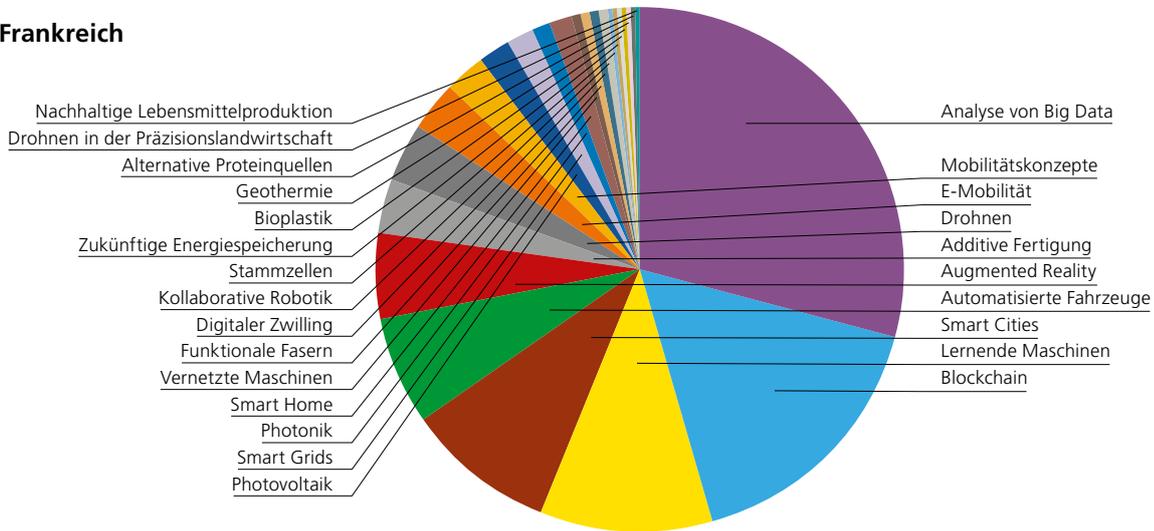


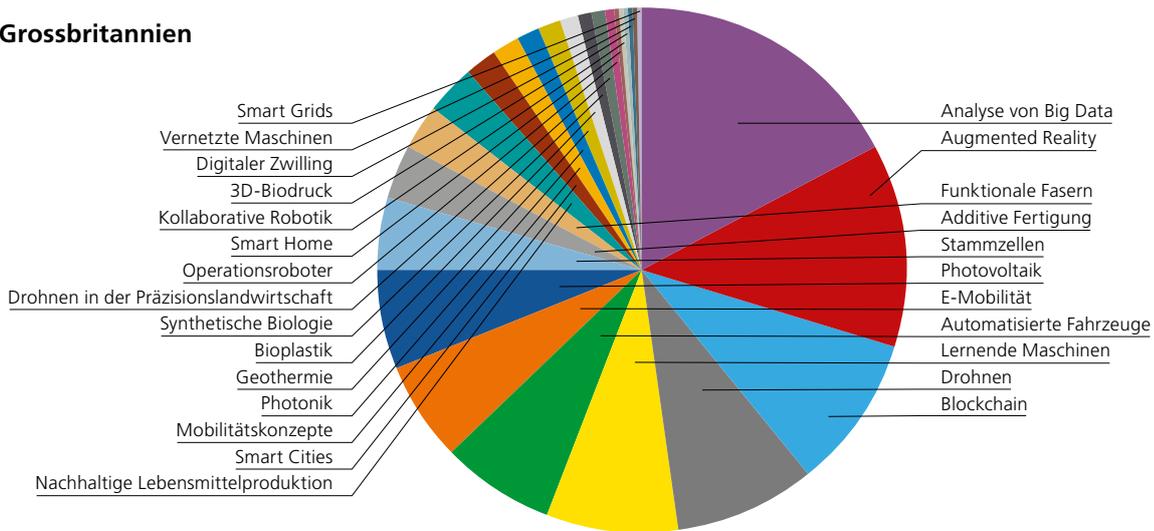
Abbildung 3 zeigt die Erwähnungen der einzelnen Technologien in Social-Media-Kanälen für die Schweiz, vier ihrer Nachbarstaaten und drei ausgesuchte europäische Vergleichsländer im Zeitraum vom 1. Januar bis zum 31. Dezember 2018. Die Sektorengröße widerspiegelt die relative Häufigkeit.



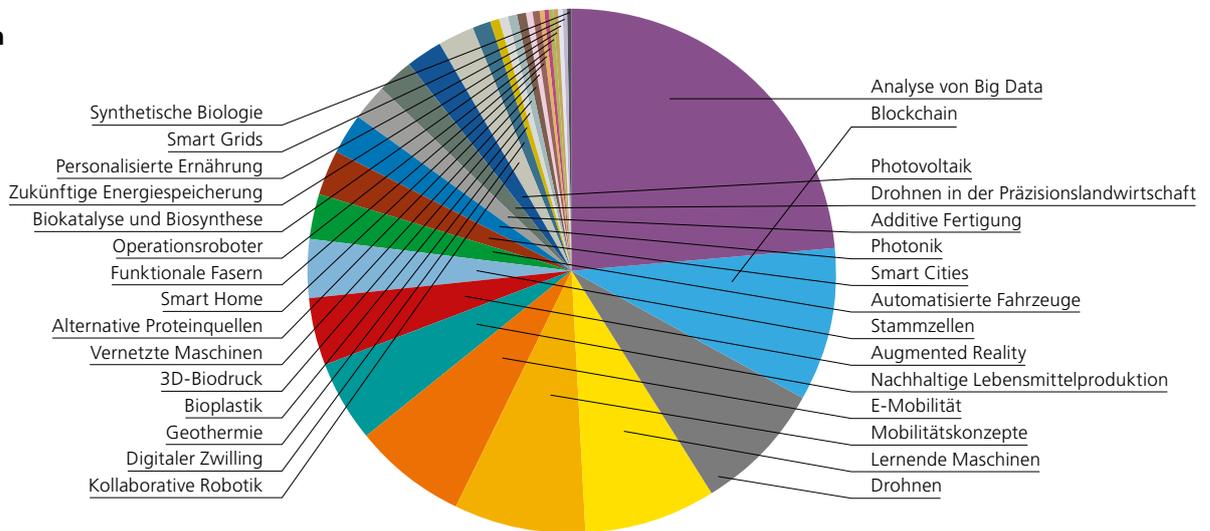
Frankreich



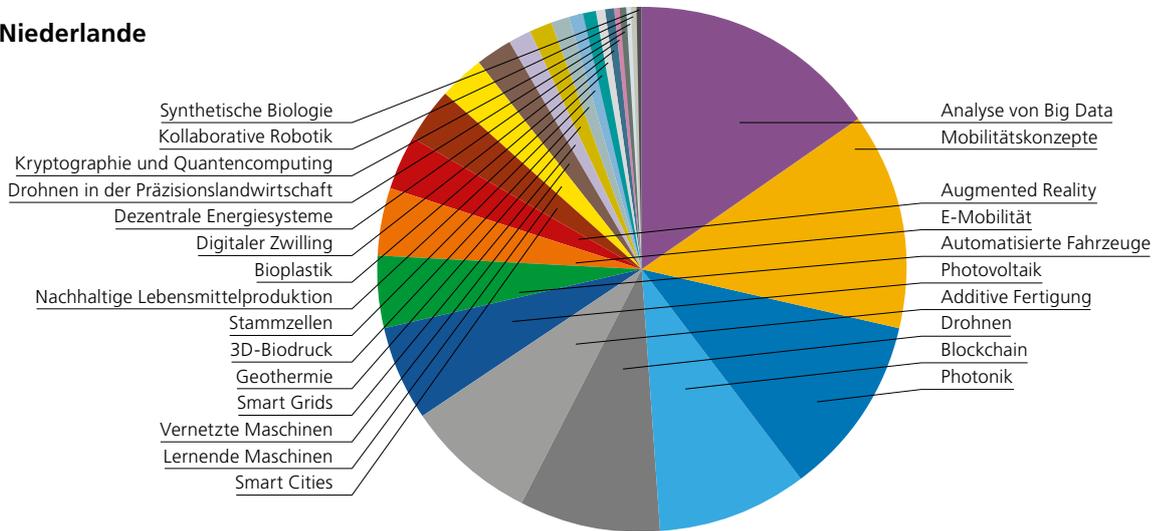
Grossbritannien



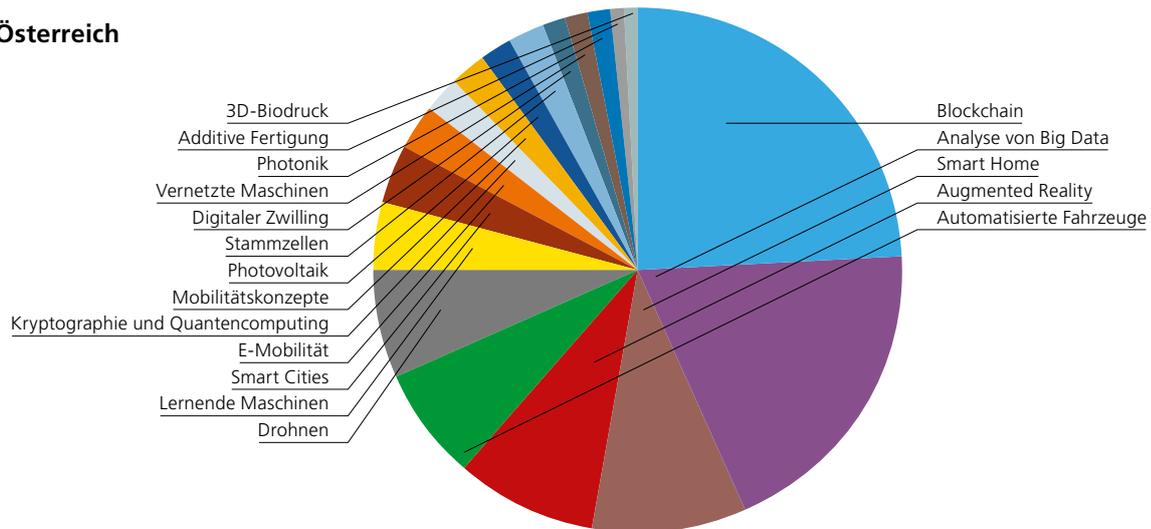
Italien



Niederlande



Österreich



Schweden

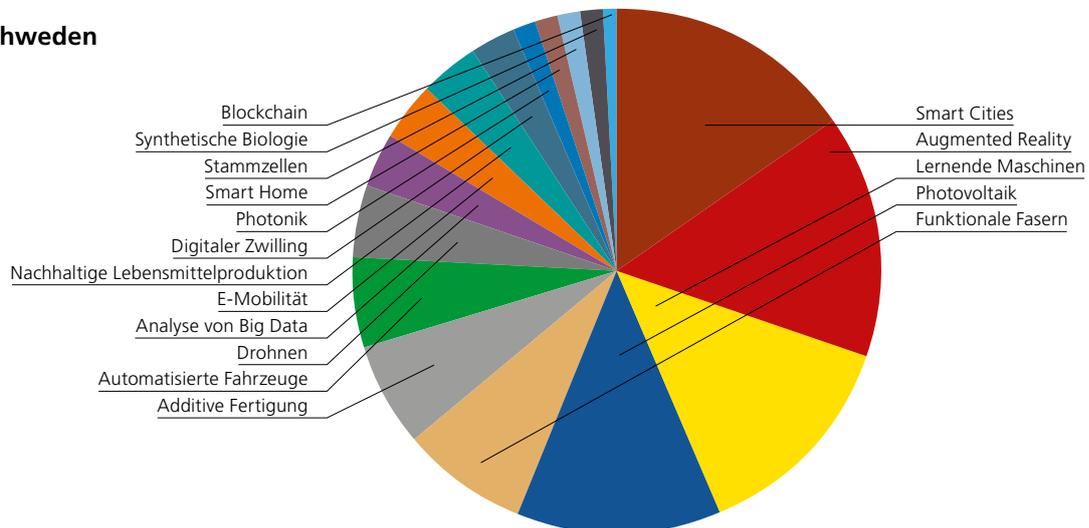


Abbildung 4 zeigt die Top-5-Technologien für die Schweiz und sieben europäische Vergleichsländer im Zeitraum vom 1. Januar bis 31. Dezember 2018. Vergleicht man die Schweiz mit ihren Nachbarstaaten, sind klare Unterschiede ersichtlich. Hierzulande dominieren die Themen «Drohnen» und «Blockchain». Die Schweiz gilt mittlerweile als «Silicon Valley der Drohnen», was diese hohe Anzahl Beiträge untermauert. Trotzdem reicht es für «Drohnen» in der Quadrantendarstellung (Abbildung 1) knapp nicht für eine Top-10-Platzierung bei der Kompetenz in der Schweiz. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass sich die Forschung hauptsächlich auf wenige Hochschulen beschränkt. Diese scheinen im internationalen Umfeld allerdings sehr gut aufgestellt zu sein; anders lässt sich der gute Ruf der Schweiz auf dem Gebiet der Drohnen nicht erklären. An den Schweizer Hochschulen existieren diverse Zentren zum Thema «Blockchain»; sowohl EPFL und ETH Zürich als auch die Universitäten Basel, Luzern und Zürich sind auf dem Gebiet sehr aktiv. Die Medienmitteilung des Bundes vom 14. Dezember 2018 «Bundesrat will Rahmenbedingungen für Blockchain/DLT weiter verbessern»⁵ hat zusätzlich für zahlreiche Posts von diesen Hochschulen geführt. Es folgen mit grossem Abstand «Photovoltaik», «Analyse von Big Data» und «Automatisierte Fahrzeuge». Unter den im Social Web meistdiskutierten Technologien befinden sich also mehrheitlich solche, für welche die Autorinnen und Autoren des Technology Outlooks der Schweiz eine hohe Forschungskompetenz attestieren: Die vier Technologien mit den meisten Posts sind in den oberen beiden Quadranten zu finden (Abbildung 1). Nur «Automatisierte Fahrzeuge» ist im Quadranten der «Hoffnungsträger» positioniert.

In Deutschland hingegen dominieren neben «Blockchain» die Themen «E-Mobilität» und «Automatisierte Fahrzeuge». Dies stimmt mit der Wahrnehmung der industriellen Ausrichtung in der Öffentlichkeit und der hohen Bedeutung der Automobilindustrie für Deutschland überein. Ebenfalls eine hohe Anzahl Beiträge beziehen sich in Deutschland auf «Analyse von Big Data» und «Photovoltaik». In Frankreich

prägen die Technologien «Analyse von Big Data», «Blockchain», «Lernende Maschinen», «Smart Cities» und «Automatisierte Fahrzeuge» die Diskussionen. Auch in Italien und Österreich dominieren «Analyse von Big Data» und «Blockchain» die akademische Diskussion, gefolgt mit grossem Abstand von «Drohnen», «Lernende Maschinen» und «Mobilitätskonzepte» für Italien sowie «Smart Home», «Augmented Reality» und «Automatisierte Fahrzeuge» für Österreich. In Grossbritannien gab es am meisten Tweets und Posts zu «Analyse von Big Data», gefolgt von «Augmented Reality», «Blockchain», «Drohnen» und «Lernende Maschinen». Für die Niederlande und Schweden zeigt sich ein anderes Bild. In den Niederlanden ist die Thematik «Analyse von Big Data» wie in Frankreich, Grossbritannien und Italien ebenfalls an erster Stelle zu finden, auf den Plätzen zwei bis fünf folgen ausser «Blockchain» aber Technologien, die in anderen Vergleichsländern mehrheitlich wenig Beachtung finden: «Mobilitätskonzepte», «Photonik» und «Drohnen». In Schweden unterscheiden sich die Technologien mit den meisten Posts deutlich von denjenigen in den anderen gezeigten europäischen Ländern. «Smart Cities» führt nicht überraschend die Rangliste an: Göteborg wurde 2017 im Global Destination Sustainability Index bereits zum zweiten Mal mit dem Titel «Most sustainable city in the world» ausgezeichnet. Es folgen «Augmented Reality», «Lernende Maschinen», «Photovoltaik» und «Funktionale Fasern», eine Technologie, die in keinem anderen Vergleichsland unter den fünf Technologien mit den meisten Posts landet.

Die Analyse der offiziellen Social-Media-Posts von Hochschulen erlaubt zwar keine direkte Aussage über die volkswirtschaftliche Bedeutung einer Technologie, sie widerspiegelt aber direkt und zeitnah die Forschungsaktivitäten der Hochschulen und erlaubt Rückschlüsse auf die thematischen Schwerpunkte. Mit einer soliden Basis in der akademischen Forschung sollten die Chancen für wirtschaftlichen Erfolg steigen. Der Ansatz ist spannend und vielversprechend, auch wenn die weitere Validierung noch Zeit braucht.

⁵ <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-73398.html>

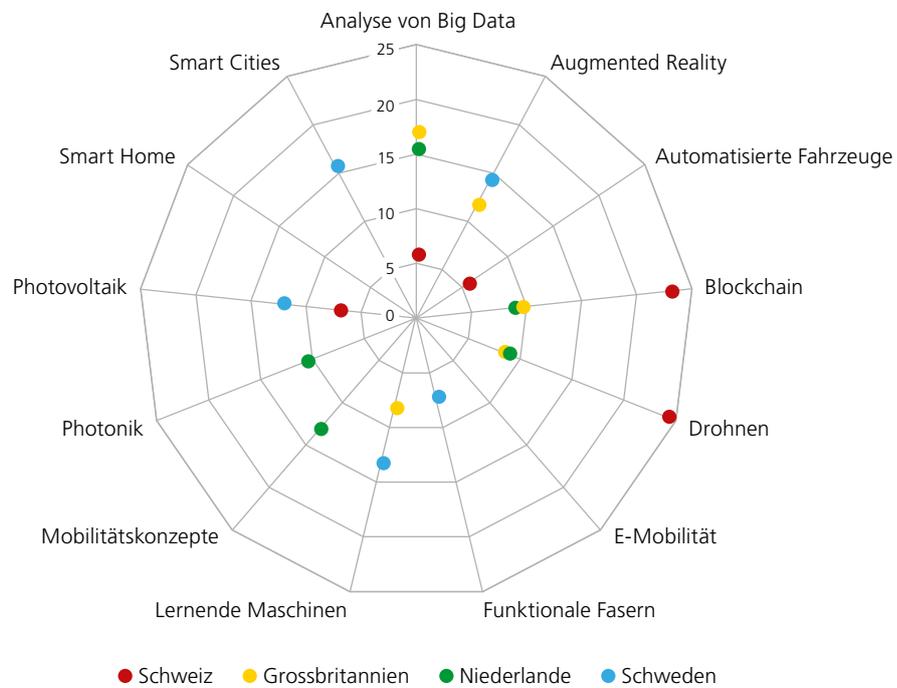
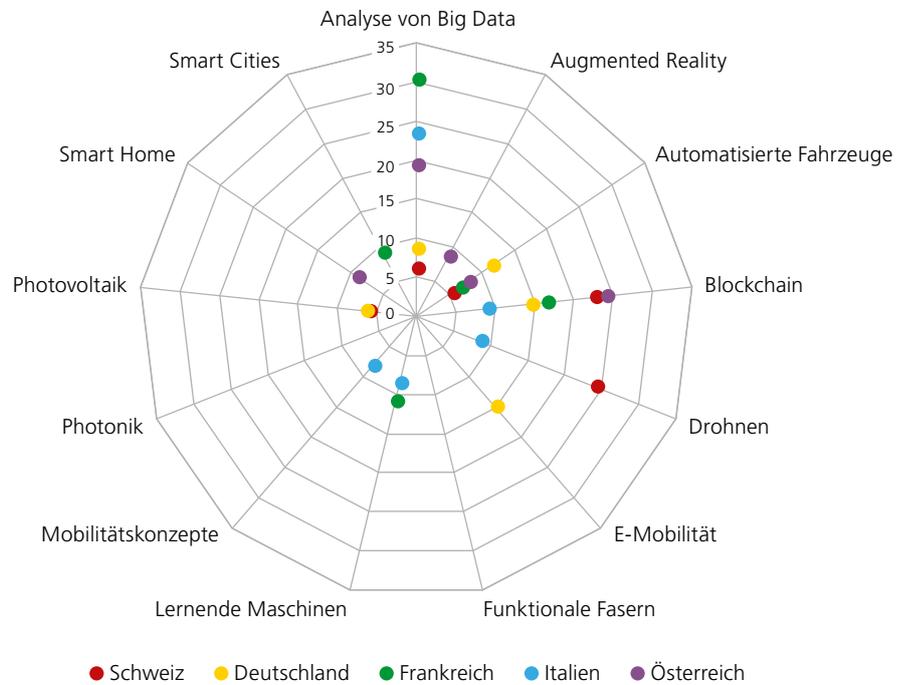


Abbildung 4 zeigt die fünf Technologien mit den meisten Posts für die Schweiz, vier ihrer Nachbarstaaten (Deutschland, Frankreich, Italien und Österreich) und drei ausgesuchte europäische Vergleichsländer (Grossbritannien, Niederlande und Schweden) im Zeitraum vom 1. Januar bis 31. Dezember 2018. Angegeben sind für jedes Land die Anzahl Social-Media-Posts für einzelne Technologien in Prozent der gesamten Anzahl Social-Media-Posts für alle im Technology Outlook aufgeführten Technologien.

Die digitale Welt

Blockchain als Basis für Webdienstleistungen

Thomas Puschmann (Universität Zürich)

Quadrant: technologische Nische



Stand der Dinge international und in der Schweiz

«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 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. Ein bislang ungelöstes Problem des Proof-of-Work-Mechanismus bei permissionless Blockchains und Distributed Ledgers ist der hohe Energieverbrauch. Alternative Konsensusmechanismen zur Validierung von Transaktionen wie etwa Proof-of-Stake befinden sich derzeit noch im Forschungsstadium. Eine über eine reine Datenstruktur hinausgehende Form sind so genannte «Smart Contracts» mit semantisch interpretierbaren bzw. softwarelesbaren Inhalten, die automatische Transaktionen auslösen können.

Verschiedene Studien schätzen das künftige Potenzial von Blockchains und Distributed Ledgers als gross bis sehr gross ein. Das *World Economic Forum WEF* beispielsweise errechnete in einer 2018 publizierten Studie eine weltweite Effizienzsteigerung von ca. 1 Billion USD allein für den Bereich Trade Finance. Weitere Anwendungsgebiete sind etwa Logistik (*Maersk* plant die Optimierung seiner

Containerlogistik), Handel (*IBM* und *Walmart* entwickeln eine Lösung für die Lebensmittelsicherheit), Versicherungen (*B3i* entwickelt eine Smart-Contract-Lösung für Versicherungsverträge), Energiesektor (*Axpo* entwickelt eine Lösung für Peer-to-Peer-Energiemärkte), Verkehr (*Novotrans* speichert Daten zu Lagerbeständen für die Eisenbahnreparatur) oder öffentliche Verwaltung (die Niederlande entwickeln ein Grenzkontrollsystem für Passagierdaten).

Konsequenzen für die Schweiz

Die zuvor genannten Anwendungen sind auch auf die Schweiz übertragbar. Weitere Beispiele hierzulande sind *Modum* (Pharma Supply Chain), *Swiss Prime Site* (Immobilienbewirtschaftung und Vermietung) und *UBS* (Utility Settlement Coin, Trade Finance, etc.). Neben Effizienzsteigerungen eröffnen Blockchains und Distributed Ledgers auch eine Vielzahl neuer Geschäftsfelder. Hierzu gehören neue Dienstleistungen wie die digitale Identität, Softwareentwicklung wie neue Webservices, so genannte «distributed Apps» oder «dApps», und fachbezogene Dienste (z.B. juristische). Deren Realisierung hängt von mindestens drei kritischen Erfolgsfaktoren ab: Verfügbarkeit von Talenten und deren Ausbildung an den Hochschulen, ein gut funktionierendes Ökosystem aus Hochschulen, etablierten Akteuren und Start-ups (mit einem guten Zugang zu Risikokapital) sowie ein flexibler regulatorischer und rechtlicher Rahmen. Die Schweiz hat ein gut funktionierendes Ökosystem, jedoch bei der Ausbildung von Talenten und dem Zugang zu Risikokapital noch Nachholbedarf.

Kryptografie und Quantencomputing

Bernhard Tellenbach (ZHAW)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Wenn es um den Schutz sensibler Informationen und Kommunikationsverbindungen geht, sind sichere kryptografische Methoden, also Verschlüsselungsverfahren, essenziell. Gängig sind heute Verfahren, die auf der Primfaktorzerlegung und der Berechnung diskreter Logarithmen basieren. Dazu gehören insbesondere das weit verbreitete Rivest-Shamir-Adleman-Verfahren (RSA-Verfahren), das z.B. zur Erstellung digitaler Signaturen eingesetzt wird, oder das Diffie-Hellman-Verfahren, das zur Erzeugung eines gemeinsamen Schlüssels zum Schutz einer Kommunikationsverbindung verwendet wird. Die grossen Fortschritte bei der Entwicklung von Quantencomputern stellen eine Herausforderung für diese Verfahren dar, da Quantencomputer die Primfaktorzerlegung und die Berechnung diskreter Logarithmen sehr effizient beherrschen.

Grundsätzlich gibt es zwei Ansätze, um die Bedrohung durch Quantencomputer abzuwenden: Post-Quantum-Kryptografie (PQK) und Quantum Key Distribution (QKD). PQK ist ein Sammelbegriff für kryptografische Verfahren, deren Sicherheit auf mathematischen Problemen beruht, die Quantencomputer nicht signifikant schneller lösen können als herkömmliche Computer. QKD erlaubt den sicheren Austausch eines Schlüssels. Die Sicherheit basiert dabei auf physikalischen Gesetzmässigkeiten bezüglich des Zustandes von Lichtteilchen. Die Rechenleistung und die Fähigkeiten von (Quanten-)Computern spielen dabei keine Rolle.

Für beide Ansätze gibt es erste Lösungen und Produkte, wobei diese noch wenig erprobt sind. Internationale und nationale Organisationen für IT-Sicherheit wie das deutsche Bundesamt *BSI*, die europäische Agentur *ENISA*, die europäische Normenorganisation *ETSI* und die US-amerikanische Behörde *NIST* anerkennen, dass noch viel Forschung, Standardisierung und technische Innovationen nötig sind, bis eine Durchdringung der Märkte möglich ist. Unklar ist auch, bis wann genügend starke Quantencomputer und Verfahren zum Brechen von hierfür anfälligen kryptografischen Systemen zur Verfügung stehen werden. *Gartner* schätzt das Risiko als aktuell wenig hoch, in fünf bis zehn Jahren jedoch als sehr relevant ein. Es ist deshalb wichtig, bei der Entwicklung oder Beschaffung neuer Systeme bereits heute zumindest einen Upgrade-Pfad für die Verwendung von Post-Quanten-Algorithmen vorzusehen. Weil diese nicht mit existierenden kryptografischen Systemen kompatibel sind, dürfte deren Verbreitung nur langsam zunehmen, insbesondere bei Systemen mit langen Lebenszeiten. Wie lange so ein Ersatz dauern kann, zeigen die vielen Systeme im Internet, die weiterhin den seit Jahren als unsicher geltenden RC4-Krypto-Algorithmus unterstützen.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Bedeutung für die Schweizer Forschung und Wirtschaft ist trotz der Technologieführung im QKD-Markt durch *ID Quantique* sowie im Bereich der Forschung durch diverse namhafte Forschungsgruppen und Unternehmen (u.a. *ETH Zürich* und *IBM Research – Zurich*) momentan noch eher gering. Sie dürfte aber in den nächsten fünf Jahren deutlich zunehmen. Dazu ist es wichtig, dass die technologische Führung weiterhin angestrebt und erhalten bleibt.

Augmented Reality – Industrielle Anwendungen

Andreas Kunz (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Augmented Reality – oder besser: Mixed Reality – kombiniert die visuelle Wahrnehmung von realen und virtuellen Objekten. Sie führt zu einer Erweiterung der wahrgenommenen Realität durch technische Geräte. Ziel ist die Darstellung zusätzlicher Information. Die Technologie gewinnt vor allem auch durch den Einbezug der realen Welt zunehmend an Bedeutung. Mixed Reality koppelt die virtuellen Informationen situationsgerecht an die laufenden Produktionsprozesse, z. B. bei Instandhaltung, Kommissionierung oder Prozessüberwachung. Somit werden die virtuellen Objekte immer mehr mit den realen Objekten «verschmolzen», weshalb neuerdings auch der Begriff «XR» (Cross Reality) verwendet wird. Typische Anwendungen finden sich in Ausbildung und Lehre, in Produktentwicklung und Produktion (Industrie 4.0) sowie in der Medizin.

Konsequenzen für die Schweiz

Das Bereitstellen von Information im Sichtfeld der Anwenderinnen und Anwender eröffnet vielfältige Möglichkeiten, sei es im Vertrieb durch das Darstellen von Produktvarianten oder im Service durch die Bereitstellung von Daten für technisches Personal. Die Schweiz ist hier gut aufgestellt, setzen doch grosse und mittlere Unternehmen XR bereits erfolgreich in der Entwicklung und Produktion ein. Die zunehmende Verfügbarkeit der technischen Systeme macht XR vermehrt auch für kleinere Unternehmen interessant. Es ist in den nächsten fünf Jahren ein Zuwachs auch bei diesen Firmen zu erwarten. Schweizer Firmen, die auf dem Gebiet der XR Forschung und Entwicklung betreiben, sind im internationalen Umfeld gut aufgestellt und bieten in ihren jeweiligen Fachbereichen hochspezifische Lösungen an.

Der digitale Zwilling

Pavel Hora und **Niko Manopulo** (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Virtuelle, d.h. von einem Computer simulierte Prozessabbildung gehört heute praktisch bei allen technischen Anwendungen zu den gängigen Hilfsmitteln der Planung, Dimensionierung und Optimierung. Bisher waren mehrheitlich rein deterministische, also bereits vorher bestimmbare, Betrachtungen üblich. Die Abbildung komplexer, verketteter Fertigungsprozesse hingegen stellt sowohl in Bezug auf die Modellgenauigkeit, die Rechenzeiten als auch das Datenmanagement eine grosse Herausforderung dar. Zur Durchführung der Berechnungen werden heute neben breit anwendbaren Programmen (General Purpose) auch immer mehr auf Spezialanwendung ausgegerichtete Simulationstools (Special Purpose) eingesetzt, die einen vereinfachten Aufbau der virtuellen Modelle ermöglichen. Als ein neuer Trend zeichnet sich der direkte Einbezug virtueller Modelle in eine «smarte» Inline-Kontrolle der Prozesse ab. Sowohl auf Basis digital erzeugter Daten als auch durch Auswertung direkter Messdaten werden so genannte «digitale Zwillinge» aufgebaut, die ein Abbild des realen Prozesses darstellen. Sie sind das eigentliche «Gehirn» der intelligenten, selbstkorrigierenden Prozesse. Diese Entwicklungen sind ein wichtiger Baustein neuer Konzepte der Industrie 4.0.

Konsequenzen für die Schweiz

Über eine hohe Simulationskompetenz verfügen vor allem grosse Firmen mit hoch automatisierter, robotergestützter Produktion. Ein herausragendes Beispiel ist die deutsche Automobilindustrie, in der Prozesse der Industrie 4.0 bereits zu einem hohen Grad integriert sind. Bei vielen KMU in der Schweiz ist die Integration dieser Technologien viel weniger ausgeprägt. Sie verfügen weder über die erforderliche Simulationskompetenz noch über eine hinreichende Erfahrung bei der Entwicklung neuer, eigenständiger Softwaretools. Es ist zu erwarten, dass sich diese Firmen zu neuen Netzwerken zusammenschliessen werden, um die Digitalisierung zu beherrschen, da dies unterschiedlichste Kompetenzen voraussetzt. Die erfolgreiche Bewältigung dieser Herausforderung geht einher mit einem hohen Bedarf an entsprechend ausgebildeten Fachkräften, weshalb die Nachfrage nach technisch orientierten Industrie-Informatikern steigen wird. Diese gilt es, in den nächsten Jahren auszubilden.

Vernetzte Maschinen – Connected Machines

Pavel Hora und **Niko Manopulo** (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Selbstläufer



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Unter dem Begriff «Connected Machines» werden akademische sowie industrielle Bestrebungen verstanden, die auf eine durchgehende Digitalisierung von Industriebetrieben zielen, wobei der Datenfluss zwischen verschiedenen Stationen/Operationen vereinheitlicht wird. Diese Art nahtloser intermaschinellem Kommunikation eröffnet ganz neue Optimierungsmöglichkeiten in der Fabrikplanung mit erheblicher Erhöhung der Gesamtprozess-Transparenz. Es ist deshalb zu erwarten, dass sich dieser Trend in den nächsten Jahren kontinuierlich verstärken wird. Neben den positiven Aspekten der smarten «Connected Machines» sind auch ein paar wichtige Herausforderungen zu nennen: So steigt mit der Flexibilisierung der Prozesse oft auch deren Komplexität. Der Einbau von Sensoren und Aktoren erhöht die Anlagekosten sowie den Wartungsaufwand. Der Betrieb setzt ein entsprechend geschultes Personal zur Wartung der Anlagen voraus. Die so erweiterten Anlagen müssen deshalb einen deutlichen Mehrwert erbringen. Folglich werden sich nicht alle Prozesse als geeignet erweisen. Dies kann auch ein Grund sein, warum die Verbreitung der «Connected Machines» bislang eher zögerlich umgesetzt wird, mit Ausnahme der Automatisierung und des Robotereinsatzes in der Fertigung.

Konsequenzen für die Schweiz

Am Beispiel von Fahrzeugen, die über immer mehr Assistenzsysteme verfügen, ist die Entwicklung der Digitalisierung ersichtlich: Ein Auto ohne integriertes Navigationssystem ist bereits heute fast undenkbar. Bald werden es autonome Systeme sein, die zur Standardausstattung gehören werden. Wie aufwändig die Entwicklung solcher Systeme ist, ist aber ebenfalls an den Beispielen aus der Automobilbranche ersichtlich. Der allgemeine Maschinenbau wird dieser Entwicklung folgen. Der Mehrwert für den Anwender wird der Haupttreiber sein. Neue Studien in Deutschland zeigen bei realisierten Industrie-4.0-Anwendungen teilweise nur geringe Produktivitätssteigerungen. Dies ist ein Hinweis, dass das technisch Mögliche sich nicht immer auch als das technisch Sinnvolle erweisen muss. Die Beurteilung über den Grad der Digitalisierung muss somit für jede Anwendung individuell erfolgen. Um die neuen Herausforderungen der «Connected Machines» meistern zu können, ist zu erwarten, dass Firmen mit unterschiedlichen Kompetenzbereichen strategische Partnerschaften eingehen werden. Viele der initialen Projekte werden heute im Rahmen von EU-Projekten gefördert. Schweizer KMU wären deshalb gut beraten, aktiv in den neu entstehenden Netzwerken mitzuwirken. Um die nötige kritische Masse zu erreichen, sind industrieweite Kooperationen notwendig, welche die Umsetzung von Pilotprojekten ermöglichen, die alle Komponenten umfassen.

Analyse von Big Data

Alessandro Curioni und Lukas Czornomaz (IBM Research – Zurich)

Quadrant: technologischer Star



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die zunehmende Verfügbarkeit von Daten führt zu einer Explosion von Big-Data-Analyse-Anwendungen, die wiederum durch die ständig steigende Geschwindigkeit der Netzwerke, die Anzahl der angeschlossenen Geräte und die erhöhte Rechenleistung moderner Systeme begünstigt wird. Heute kommt es zu einer starken Branchenkonsolidierung. So können die exponentiell wachsenden Datenmengen besser und effizienter genutzt und daraus wertvolle Erkenntnisse gewonnen werden. Moderne Systeme können enorme Mengen an strukturierten Daten aufnehmen, verwalten und organisieren. Darüber hinaus eröffnen die jüngsten Fortschritte in der Künstlichen Intelligenz (KI) den Weg zur Verarbeitung unstrukturierter Daten. KI-Technologien ermöglichen eine Vielzahl von Anwendungen durch die Nutzung grosser Datenstrukturen. Sie liefern tiefgehende Erkenntnisse, indem sie aus den Daten und der Interaktion mit den Nutzenden lernen.

Konsequenzen für die Schweiz

In der Schweiz verändert die Big-Data-Analytik derzeit viele Branchen. Beispielsweise wird die Kundenpflege im Bankwesen revolutioniert, die Entscheidungsfindung im Investment Banking verändert und die Betrugserkennung verbessert. Versicherungsunternehmen profitieren von grossen Datenplattformen für die automatisierte Schadenbearbeitung und ihr Geschäftsmodell wird sich durch die personalisierte Risikobewertung verändern. Die Pharmaindustrie wird dadurch revolutioniert, dass es Big-Data-Analyse-Anwendungen jetzt ermöglichen, riesige Mengen von wissenschaftlichen Erkenntnissen der organischen Chemie für die Entdeckung neuer Medikamente heranzuziehen. Die verarbeitende Industrie befin-

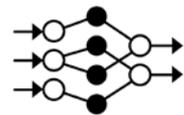
det sich derzeit mit dem Aufkommen intelligenter Fabriken (Industrie 4.0) in einer vierten industriellen Revolution: Grosse Datenmengen und KI-Technologien werden genutzt, um autonome Entscheidungen zu treffen und Produktivität, Qualität und Zuverlässigkeit kontinuierlich zu optimieren.

Big-Data-Analytik-Lösungen sind bereits heute für die Schweiz volkswirtschaftlich bedeutend. Die positiven Auswirkungen auf die Schweizer Wirtschaft könnten verstärkt werden, wenn auch KMU diese im grossen Stil nutzen würden, insbesondere in den Bereichen Elektrotechnik, Einzelhandel, Dienstleistungen, Maschinen und Uhren. Big-Data-Analytik ermöglicht es KMU, besser mit grösseren Marktakteuren zu konkurrieren, neues Wissen zu generieren und somit Technologieführerschaft zu erreichen und zu erhalten. Sie können Kundennachfragen besser befriedigen, indem sie das Markt- und Kundenverhalten analysieren und vorhersagen. Damit KMU das wahre Potenzial grosser Datenanwendungen ausschöpfen können, müssen Datenbereitstellung, -aufnahme, -kennzeichnung und -rekonfiguration vereinfacht werden. Darüber hinaus liegen der Wert und das geschäftliche Potenzial von grossen Datenmengen in deren Qualität und Vertrauenswürdigkeit. Die Bedeutung von Datenschutz und Privatsphäre bietet der Schweiz die Möglichkeit, sich als sicheren Hafen für Daten zu positionieren. Die Schaffung eines günstigen regulatorischen Rahmens und eines offenen Markts für Daten würden die Big-Data-Analytik fördern, indem Datensilos zwischen Unternehmen und Branchen aufgebrochen und die Bewertung und der Austausch von Daten stimuliert werden, während gleichzeitig Datenschutz, Sicherheit und Vertrauen gewährleistet sind.

Lernende Maschinen und Neuronale Netzwerke

Alessandro Curioni und Lukas Czornomaz (IBM Research – Zurich)

Quadrant: technologische Nische



Stand der Dinge international und in der Schweiz

KI-Technologien wie Algorithmen für maschinelles Lernen und künstliche neuronale Netze können trainiert werden, um bestimmte Aufgaben mit einer Effizienz und Genauigkeit auszuführen, die den Menschen ergänzen und sogar übertreffen können. Die beliebtesten KI-Technologien wie Deep-Learning-Netzwerke sind vage durch die Art und Weise inspiriert, wie das menschliche Gehirn lernt. Sie bestehen typischerweise aus Schichten von Knoten (Neuronen), die durch verstellbare Gewichtsverknüpfungen (Synapsen) verbunden sind. Jedes Neuron kann eine Information an eine andere Gruppe Neuronen abgeben, basierend auf dem Zustand des gewichteten Inputs. Diese Gewichtungen passen sich im Laufe des Lernens an. Die drastische Zunahme der in der Cloud und bei Supercomputern verfügbaren Rechenleistung, die Fortschritte in der KI-Forschung sowie die jüngste Konsolidierung rund um grosse Datenplattformen haben KI-Technologien äusserst erfolgreich und in der Öffentlichkeit sichtbar gemacht. Machine-Learning-Methoden verändern zunehmend unseren Alltag: Spracherkennung, Übersetzung in Fremdsprachen, natürliche Sprachinteraktion mit Maschinen und Bild-/Gesichtserkennung haben die Art und Weise verändert, wie Menschen mit anderen Menschen und Unternehmen interagieren. Das disruptive Potenzial dieser KI-Technologien beruht aber auf deren Integration in grosse Datenplattformen. Tatsächlich stehen Machine-Learning-Methoden im Zentrum der Automatisierung von Datenaufnahme und -kennzeichnung sowie Klassifizierung in grossen Datenplattformen. Das wird ihre Akzeptanz steigern und ihren Einsatz in allen Branchen sowie Unternehmen aller Grössen enorm beschleunigen. Disruptive Veränderungen für Banken, Dienstleistungen, Einzelhandel, Fertigung, Pharmaindustrie und Versicherungen sind die Folge davon.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Schweiz war bei der Entwicklung von KI-Technologien führend und ist aufgrund ihres hervorragenden Ökosystems für akademische und industrielle Forschung im Bereich des maschinellen Lernens nach wie vor sehr gut positioniert, sofern Forschungsinvestitionen und das förderliche Geschäfts- und Innovationsumfeld erhalten bleiben. Die Forschung sollte sich künftig auf die Entwicklung stabiler, genauer und widerstandsfähiger Machine-Learning-Methoden konzentrieren, die auf hochdimensionalen realen Daten (z.B. medizinische, industrielle etc.) basieren. Der Schweiz bietet sich die Chance, bei der Definition von Normen und der Zertifizierung von KI-Systemen eine Vorreiterrolle zu übernehmen. Da KI immer häufiger eingesetzt wird, ist es wichtig sicherzustellen, dass diese Modelle ethisch und sicher sind: Sie sollen keine menschlichen Vorurteile wie Alter, Geschlecht, Nationalität oder Religion enthalten, ihre Aufgaben innerhalb definierter Grenzen erfüllen und sicher sein vor bekannten feindlichen Angriffen. Man sollte auch nicht unterschätzen, dass die öffentliche Wahrnehmung von KI-Technologien verbessert werden muss.

Drohnen

Roland Siegart (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Star



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die zivile Drohnentechnologie, also die Entwicklung von zivilen unbemannten Flugobjekten, hat sich in den letzten 15 Jahren rasant entwickelt. Viele der neuen Technologien, von neuartigen Flugkonzepten bis zu den nötigen Kontroll- und Navigationsalgorithmen, haben ihren Ursprung an Schweizer Hochschulen, speziell an der ETH Zürich und EPFL. Dadurch hat sich die Schweiz im Bereich ziviler Drohnen eine internationale Führerschaft aufgebaut; verschiedenste Start-ups wurden gegründet und etablierte Firmen angezogen. Drohnen sind schon lange aus dem militärischen Bereich bekannt. Dank der Verfügbarkeit günstiger Technologien wie IMU (Inertial Measurement Units) zur Stabilisierung der Drohnen im Raum, GPS oder Navigationskameras und der entsprechenden Technologien für eine robuste Regelung und autonome Navigation hat sich aber vor allem die zivile Nutzung sehr schnell weiterentwickelt. Im Bereich von Consumer-Drohnen, der heute von chinesischen Firmen dominiert wird (allen voran *DJI*), werden jährlich weit über eine Million Exemplare verkauft. Ein noch schneller wachsender Bereich sind jedoch professionelle Drohnen, die heute schon eine starke Verbreitung in der Kartografie sowie in der Vermessung und Überwachung aus der Luft gefunden haben. Weiter kommen teilautonome Drohnen immer mehr in der Landwirtschaft zur Überwachung der Felder, bei Katastrophen (Feuer, Naturkatastrophen, Menschensuche) oder für Transportaufgaben zum Einsatz. Während heutige Drohnen vor allem im freien Luftraum operieren, werden zukünftige Drohnen dank neuen Flugkonzepten und fortgeschrittenen Navigationssystemen auch die Fähigkeit haben, in Kontakt mit der Umgebung zu gehen. Dies ermöglicht ganz neue Anwendungen im Bereich der Inspektion von Infrastrukturen, der Reinigung und des Anstrichs von Gebäuden, der Bauwirtschaft und vielem mehr.

Konsequenzen für die Schweiz

Bezüglich Technologie und möglichen Anwendungen sind die Schweizer Hochschulen international federführend, und auch unsere Start-ups sind daran, internationale Führerschaft zu erlangen. In den nächsten Jahren geht es darum, diese Stellung in der Forschung und auch am Markt weiter auszubauen und definitiv zum «Silicon Valley der Drohnen» zu werden. Die Voraussetzungen sind optimal. Dank einer starken Zusammenarbeit zwischen Hochschulen, Start-ups, Zulassungsbehörden (Bundesamt für Zivilluftfahrt *BAZL*), etablierten Partnerfirmen und Endkunden kann die Schweiz diesen spannenden, volkswirtschaftlich relevanten und schnell wachsenden Markt zum Nutzen der Gesellschaft und Wirtschaft nachhaltig erschliessen.

Kollaborative Robotik

Max Erick Busse-Grawitz und **Ulrich Claessen** (maxon motor)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die Fertigung vieler Schweizer KMU ist geprägt von mehrheitlich kleinen Losgrößen sowie einer hohen Produktvarianz und unterliegt einem Dilemma: Werden für die Produktionsaufgaben Menschen eingesetzt, die dank ihrer Geschicklichkeit trotz hohem Stundenlohn oft produktiver sind als Automaten und Roboter – oder werden die Produkte mit erheblichem Aufwand neu entwickelt, damit sie für die Automatisierung und Robotik geeignet sind? In diesem Spannungsfeld verspricht die kollaborative Robotik zumindest teilweise Abhilfe. Kollaborative Roboter (Cobots) sind definiert als Roboter, die den Arbeitsbereich mit Menschen teilen und mit ihnen interagieren können (Definitionen in ISO 10218 und 15066). Um diese Zusammenarbeit gefahrlos ermöglichen zu können, verlangen die Normen Geschwindigkeiten von unter 1,5 m/s und kinetische Energien unter 40 Joule. Anstatt die Abläufe komplett den Robotern zu überlassen, soll der Mensch also weiterhin Tätigkeiten übernehmen, in denen er unschlagbar geschickt ist. Hingegen sollen Roboter einfache Routineabläufe übernehmen. Um die Aufgaben in «kompliziert» und «einfach» aufteilen zu können, ist eine Kooperation zwischen Robotern und Menschen unabdingbar, denn beide Arten von Arbeit sind in der Produktion eng miteinander verwoben.

Die kollaborative Robotik steht noch am Anfang, hat aber definitiv einen wichtigen Platz in der Zukunft. Dies weil immer kürzere Innovationszyklen und kleinere Stückzahlen pro Los eine Flexibilität erfordern, die starre Automationsformen nicht erreichen können. Des Weiteren ermöglicht die Robotik reproduzierbare, ermüdungsfreie Abläufe und damit konstante Qualität. Diese ist in der von hoher Wertschöpfung geprägten Schweizer Industrie besonders wichtig. Um das Potenzial wirtschaftlich ausschöpfen zu können, müssen Roboter erschwinglich sowie einfach konfigurier- und programmierbar sein. Das trifft immer häufiger zu.

Bezüglich des Einsatzes kollaborativer Roboter gibt es noch viel brachliegendes Potenzial. Das liegt an zahlreichen technischen Vorbehalten, aber auch an der Angst vor Jobverlust und Veränderung. Da die Mehrheit der Produkte in elastischen Märkten angeboten wird, erzeugt eine dank Roboterhilfe gestraffte Preisstruktur mehr Arbeitsplätze als sie vernichtet. Die in der Robotik oft als abschreckend empfundenen Investitionskosten sind in der kollaborativen Robotik nicht so hoch, weil viele für starre Roboter nötige Sicherheitskomponenten wegfallen. Kamerasysteme zur Unterstützung werden auch immer erschwinglicher und einfacher einsetzbar. Der zunehmende Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Automation unterstützt diesen Trend. Typische gegenwärtige Anwendungen der kollaborativen Robotik müssen der noch geringen Gewandtheit und der durch Normen limitierten Geschwindigkeit Rechnung tragen. Deshalb kommen kollaborative Roboter heute vor allem beim Zu- und Wegführen von leichten Komponenten und bei einfachen Fügeoperationen zum Einsatz. Das direkte Lernen der kollaborativen Roboter vom Menschen wird für die nächsten fünf Jahre auf eher einfache Teaching-Vorgänge beschränkt bleiben.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Schweiz ist mit ihrem hohen Anteil an industrieller Fertigung und mit ihren hohen Lohnkosten prädestiniert für den Einsatz kollaborativer Roboter. Sie gilt zwar als «Silicon Valley der Flugroboter», hinkt aber bei der Entwicklung von kollaborativen Robotern noch hinterher. Auf diesem Gebiet sind in Europa aktuell Dänemark, Deutschland und Schweden führend. Viele Start-ups bewegen sich im Umfeld grosser Unternehmen. Die Schweiz ist sowohl regulatorisch wie auch bezüglich Bildungslandschaft sehr gut aufgestellt, den Trend aufzunehmen. Dieser wird sich beschleunigen, wenn dank besseren Robotern und vereinfachter Programmierung die Anzahl möglicher Anwendungen in der Produktion steigt.

Energie und Umwelt

Dezentrale Energiesysteme

David Grosspietsch (Technologiefonds und ETH Zürich)

Quadrant: technologische Nische



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Dezentrale Energiesysteme sind Systeme beziehungsweise Zusammenschlüsse von mehreren, mit erneuerbarer Energieproduktion ausgestatteten Gebäuden, die verschiedene Energieträger wie Strom, Wärme oder Wasserstoff kombinieren sowie Technologien zur Energiespeicherung (z.B. Batterien, thermische Speicher) und -umwandlung (z.B. Wärmepumpen, Elektrolyseur) umfassen. Ziel ist, den Grossteil des Energieverbrauchs mit lokaler Produktion zu decken, indem die Flexibilität der eigenen Speicher und die Umwandlung von Energieträgern (Power-to-Heat/-Gas) genutzt wird.

Dezentrale Energiesysteme versprechen trotz hoher Anfangsinvestitionen zahlreiche Vorteile wie die Senkung der Energiekosten durch höhere Eigenverbrauchsquoten oder die Glättung von Leistungsspitzen durch Energiespeicherung und -umwandlung. Dadurch kann die Flexibilität im Niederspannungsnetz steigen und ein Netzausbau allenfalls vermieden werden. Weitere Vorteile können auch die Integration von Strom-, Gas- oder Wasserstoff-basierter Mobilität und das Bereitstellen weiterer Dienstleistungen wie Regelenergie sein. Auch in der Schweiz gibt es bereits mehrere erfolgreiche Beispiele dezentraler Energiesysteme, vom Einfamilienhaus bis zum Industrieareal. Ein anschauliches Beispiel für zukünftige Anwendungsfelder ist das energieautarke Mehrfamilienhaus der *Walter Schmid AG* in Brütten, das seit Mitte 2016 in Betrieb ist. Energetisch vernetzte Nachbarschaften im urbanen Umfeld sind aber ebenso denkbar wie autarke Systeme in abgelegeneren Regionen. Das reibungslose Zusammenspiel verschiedener Technologien, Akteure und Institutionen ist kritisch für eine erfolgreiche grossflächige Einführung dezentraler Energiesysteme.

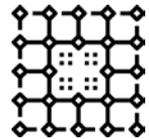
Konsequenzen für die Schweiz

Der Trend zu dezentralen Energiesystemen wird sich künftig durch die globale Entwicklung der Technologiekosten sowie die Kopplung der Sektoren Elektrizität, Industrie, Verkehr und Wärmeversorgung (bzw. Kälte) verstärken. Da der Schweizer Bau- und Energiebereich im internationalen Vergleich als innovativ anzusehen ist, bieten sich der Schweiz wirtschaftlich viele Chancen, insbesondere bei der Entwicklung, Finanzierung, Umsetzung und dem Betrieb solcher Systeme. Die Fähigkeiten zu integrativen Systemlösungen mit zahlreichen technologischen Konfigurationen und einer Vielzahl an Stakeholdern bleiben aber kurz- und mittelfristig eine Herausforderung.

Smart Grids

Roland Küpfer (BKW)

Quadrant: technologische Selbstläufer



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die Wortfolge «Smart Grids» ist in der Energiebranche aktuell die meistgenannte. «Smart Grids», also intelligente Netze, garantieren laut Energiestrategie 2050 das Austarieren der eingespeisten Elektrizität aus traditionellen, aber auch dezentralen erneuerbaren Energiequellen sowie deren dezentralen Verbrauch. Die aus der stark fluktuierenden, wetterabhängigen Produktion eingespeiste Elektrizität bildet die neue Komponente, welche die Spannungs- und Frequenzstabilität der Netze in mittlerer Zukunft fordert. Das liegt daran, dass Einspeiseort und -spitzen der aus vielen dezentralen erneuerbaren Energiequellen produzierten Elektrizität nur kurzfristig bekannt sind. Stromnetze sind aber immer auf Spitzenlast ausgelegt. Müssten alle neuen Energiequellen im Verteilnetz bei Spitzenlast berücksichtigt werden, wäre ein Netzausbau in zweistelliger Milliardenhöhe erforderlich. Deshalb steht die Gestaltung intelligenter Netzsteuerungen im Vordergrund.

Eine Regelsystematik geführt durch Datenverwendung und Kommunikationstechnologie soll diesen Herausforderungen gerecht werden. Intelligente Messsysteme zur Datenaufbereitung sind notwendig, um die Netzstabilität künftig zu garantieren. Ein wichtiger Baustein ist der Einsatz von «Smart Metern». Sie werden die traditionellen Energiezähler im Rahmen der Energiestrategie 2050 ersetzen; bis ins Jahr 2028 wird ein Abdeckungsgrad von 80 Prozent angestrebt. Die Datengewinnung über Smart Meter soll helfen, Netzschwankungen auszugleichen. In der Praxis liest sich das so: Ein Stromüberschuss wird detektiert, das intelligente Netz schaltet zusätzliche Verbraucher wie Boiler ein, um den Überschuss abzuführen. Im Gegenzug wird bei Stromengpässen deren Gewinnung

aus traditionellen Quellen hochgefahren. Der künftig kostengünstigen und sicheren Netzplanung kommt eine hohe Bedeutung zu. Grundlegende Regelungen zur Datenverwendung und -sicherheit sind heute in Erarbeitung, insbesondere die Verwendung von Daten der Lastprofile, die auf das jeweilige Kundenverhalten schliessen lassen. Ebenso wichtig ist die Forschung zu kostengünstiger und hoch wirksamer Stromspeicherung im Umfeld intelligenter Netze, die künftig die Produktgestaltung beeinflussen werden. Geräte, Haustechnologien und Ladestationen für Elektroautos werden zu intelligenten Stromverbrauchern, die mit Smart Grids kommunizieren und somit wichtige Informationen für die Regelung liefern. Eine grosse Herausforderung für die Verteilnetzbetreiber ist der Spagat zwischen der traditionellen Physik der Stromübertragung und den Möglichkeiten, welche die Digitalisierung eröffnet.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Versorgung der Schweizer Bevölkerung mit Energie ist heute hervorragend. Die Energiestrategie 2050 zielt darauf ab, den zunehmenden Stromverbrauch zu dämpfen, die Eigenverantwortung mit Verbrauchskennnissen zu fördern und den Verbrauch zu optimieren. Die Schweiz ist durch ihr technologisches Wissen sehr gut gerüstet, um Smart Grids erfolgreich zu implementieren, auch wenn die Forschungsintensität noch gering ist. Die Komplexität steigt jedoch überproportional durch die Digitalisierung. Zu bewältigen sind die massive Zunahme, der sichere Transport und die notwendige Verschlüsselung der Daten sowie die Regulierung der Netze über die gewonnenen Daten bei hoher Zunahme von privaten Strom-Einspeisungen.

Zukünftige Energiespeicherung

Thomas Justus Schmidt (PSI)

Quadrant: technologische Nische



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Zukünftige Speichertechnologien zielen auf Energiespeicher im grossen Stil, die in der Lage sind, die Diskrepanz zwischen Stromproduktion und -verbrauch saisonal auszugleichen, die durch den Umbau von fossiler und nuklearer Bandenergieversorgung hin zu fluktuierender erneuerbarer Stromversorgung entstehen kann. Aufgrund der Akzeptanz der Energiestrategie 2050 in der Schweizer Bevölkerung (Annahme des Energiegesetzes im Mai 2017 durch die Stimmbürger) ist anzunehmen, dass der beschriebene Umbau auch wirklich erfolgt und dadurch das Übertragungsnetz deutlich belasten würde, sollten bis 2030 keine neue Speichertechnologien zur Verfügung stehen.

Aktuell können die verfügbaren Kurzzeitspeichertechnologien für Wärme und Strom, z.B. Batterien, die Produktions- und Verbrauchsspitzen ausgleichen, jedoch müssen Fragen betreffend Kosten und Zuverlässigkeit geklärt werden, um die Installation von Kurzzeitspeichern attraktiver zu gestalten.

Für die Zukunft sind Langzeitspeichersysteme erforderlich, um die Abhängigkeit von Energieimporten zu verringern und Stromkosten im Winter zu senken. Solche Speichersysteme, wie Power-to-Gas oder Druckluftspeicherkraftwerke, befinden sich in Entwicklungsstadium, werden aber für die Erreichung der Klimaziele unerlässlich sein. Diese Einschätzung trifft neben der Schweiz auch für andere Länder zu, die sich den Klimazielen verpflichtet fühlen.

Konsequenzen für die Schweiz

Es gibt Energiesystem-Szenarien, die auf Langzeitspeicher verzichten können. Allerdings stützen sich diese erstens auf ein Stromnetz in der Schweiz und den Nachbarländern, das auf Spitzenlasten, und zweitens auf ausreichende Stromimporte aus Ländern, die auch im Winter einen Produktionsüberschuss verzeichnen, ausgelegt ist. Die starke Abhängigkeit von der Energiepolitik der Nachbarstaaten, die potenziell hohen Kosten und die Anfälligkeit eines solchen Systems stellen für die Schweiz erhebliche Risiken dar. Langfristige Speichertechnologien mindern die vorgenannten Risiken.

Es wird dringend empfohlen, die im Labormassstab bekannten Langzeitenergiespeicheroptionen weiter zu erforschen, zu bewerten und bis hin zu grosstechnischen Systemen zu entwickeln. Mit den *Swiss Competence Centers for Energy Research SCCERs* und anderen Förderprogrammen hat die Schweiz ein starkes Fundament gelegt, um die notwendige Technologie erfolgreich zu entwickeln. Dazu müssen die Forschungsnetzwerke intakt bleiben und weiterwachsen dürfen. In diesem Sinne ist es als kritisch zu bewerten, dass es derzeit an Geschäftsmodellen im Bereich der Langzeitspeicherung mangelt. Dadurch bleibt es schwierig, Industriepartner zu finden, die bereitwillig in langfristige Entwicklungen investieren und so die Netzwerke am Leben halten können.

Geothermie

Willy Gehrler (SATW und Geothermie Schweiz)

Quadrant: technologische Nische



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Geothermische Energie ist im Untergrund gespeicherte Wärme. Diese stammt aus dem Zerfall natürlicher Radioisotope im Gestein der Erdkruste und aus dem Wärmeaustausch mit dem tieferen Erdinnern. Der Begriff «Geothermie» setzt sich aus dem griechischen «geo» (Erde) und «thermos» (warm) zusammen. Über 99 Prozent der Erde sind heisser als 1000° C. Nur ein Tausendstel der Erdmasse – die obersten 3 Kilometer – ist kühler als 100° C. Somit bietet geothermische Energie CO₂-freie Energiegewinnung – 24 Stunden täglich, 365 Tage im Jahr. Zudem besteht eine praktisch unendliche Verfügbarkeit, da der radioaktive Zerfall im Erdinnern konstant Wärme erzeugt.

In einer Tiefe von 10 bis 20 Metern liegt die Erdtemperatur in Mitteleuropa bei ca. 12° C. Bis zu dieser Tiefe beeinflusst das Klima die Temperatur. In tieferen Schichten wirken geothermische Gesetzmässigkeiten, d.h. alle 33 Meter steigt die Temperatur im Schnitt um ca. 1° C. Die hydrothermale Geothermie nutzt das in Erdschichten vorhandene warme Wasser. Bei der petrothermalen Geothermie hingegen wird kaltes Wasser in den tiefen Untergrund gepumpt. Um dort für das Wasser einen Durchlauf zu schaffen, werden das heisse, kompakte Gestein hydraulisch aufgepresst und damit Risse erzeugt. Das durch diese Risse fließende Wasser erwärmt sich und kann je nach Tiefe unterschiedlich genutzt werden. Bis 440 Meter spricht man von untiefer Geothermie zum Heizen (Wärmepumpen) und Kühlen von Gebäuden inklusive Warmwasseraufbereitung oder als Prozesswärme für Gärtnereien und Schwimmbäder. Mitteltiefe Geothermie (bis 3000 Meter und ca. 100° C) dient zum Heizen von ganzen Quartieren, Bürogebäuden und Industrieunternehmen. Mit tiefer Geothermie (ab 3000 Meter und über 130° C) wird schliesslich Strom erzeugt.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Schweiz hat, gemessen an der Bevölkerung, den grössten prozentualen Anteil an Erdsonden mit Wärmepumpen. Der Trend für neue Anlagen ist seit Jahren stark steigend. Heute wird ca. 5 Prozent der Wärmeenergie mit Erdsonden und Wärmepumpen gewonnen. Über die Substitution von Klimageräten durch Nutzung der unteifen Erdtemperatur von ca. 12° C gibt es noch keine Statistiken. Tiefe hydrothermale und petrothermale Anlagen gibt es bis heute nur im Ausland. In der Schweiz sollen unter anderem folgende Projekte den nächsten Jahren realisiert werden: Haute Sorne, Kanton/Stadt Genf, La Côte, Triengen, Horgen, Avenches. Wir stehen aber weltweit noch am Anfang der Lernkurve. Dank dem neuen Energiegesetz wird in der Schweiz stark in die Forschung investiert. Derzeit arbeiten rund 80 Forscherinnen und Forscher im *Felslabor Grimsel* sowie im *Bedretto Deep Underground Lab*. Kommerzielle Projekte in Basel, St. Gallen und Zürich waren noch nicht erfolgreich. In Genf sind aber erste mitteltiefe Bohrung zur Einspeisung ins Fernwärmenetz im Bau. Weltweit nimmt die Nutzung geothermischer Energie jedoch rasant zu, speziell die Tiefengeothermie zur Stromerzeugung, so z.B. in den USA, den Philippinen, Indonesien, Mexico oder der Türkei, und zur Wärmeerzeugung in China, den USA, Schweden, der Türkei und Japan.

Photovoltaik

Christophe Ballif (EPFL und CSEM)

Quadrant: technologischer Star



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die Photovoltaik (PV) beschäftigt sich mit der direkten Umwandlung von Licht in Elektrizität. Dazu sind Halbleiter, Module und Solarzellen notwendig sowie elektrische Komponenten wie Maximum-Power-Point-Tracker und Wechselrichter. Zur PV zählen aber auch Installationsaspekte wie Montagesysteme und Gebäudeintegration, die Anwendungsbereiche (isolierte Systeme, netzgekoppelt, Mobilität) und andere Aspekte wie Planung, Überwachung, Wartung und Prognose. Im Jahr 2017 wurden weltweit 98 Gigawatt (GW) neue PV-Spitzenleistung installiert. Dank F&E und Massenproduktion wird die PV zur kostengünstigsten Stromquelle. Heute liefern grosse Systeme Strom für unter 4 Euro-Cent pro kWh, also billiger als jedes andere neue Kraftwerk (einschliesslich Kohle). Kleine Systeme erzeugen Strom zum Endkundenstrompreis von typischerweise 8 bis 30 Cents/kWh oder noch günstiger. PV hat das Potenzial, die weltweit grösste Stromquelle zu werden. In Kombination mit Wasser- und Windkraft, manchmal mit einem Hochspannungsgleichstrom-Übertragungsnetz und mit Kurz- und Langzeitspeichern wie Batterien, Wärme, Wasser, Power-to-Gas sowie einer Nachfragesteuerung, kann sie effektiv im Energiesystem eingesetzt werden.

Will man den Klimawandel ernsthaft bekämpfen, müsste die neue Jahresinstallation von PV-Anlagen mit 600 bis 1000 GW weltweit um ein Vielfaches höher sein als heute. Wir stehen somit erst am Anfang der Solar-Ära. Für eine stärkere Verbreitung sind eine weitere Senkung der Komponentenkosten um 20 bis 40 Prozent sowie eine deutliche Steigerung des Wirkungsgrads anzustreben. Dieser beträgt 17,5 Prozent bei einem durchschnittlichen Modul aus kristallinen Siliziumzellen, die 95 Prozent des Marktes abdecken, und sollte in den nächsten zehn Jahren auf 22 bis 24 Prozent erhöht werden. Wird ein so ge-

nannter Multi-Junction-Ansatz angewendet, werden also in den Zellen Halbleiter verschiedener Materialien kombiniert, sollte ein Modulwirkungsgrad von 25 bis 30 Prozent möglich sein. Dank einer stark verlängerten Lebensdauer von deutlich über 25 Jahren und dank kundenspezifischer und lokaler Fertigung dürfte es zu einer stärkeren Durchdringung im Gebäudesektor kommen. Die Anwendungen der PV im Bereich Mobilität, z.B. auf Autodächern, werden deutlich erweitert. Alle diese Verbesserungen werden die PV noch billiger machen und mehr Mittel für das Strommanagement bereitstellen, was weitere Anstrengungen zur Verbesserung der Technologien rechtfertigt.

Konsequenzen für die Schweiz

In der Schweiz decken 2 GW installierte PV 3 Prozent des jährlichen Strombedarfs ab (geschätzter Stand Mitte 2018). Durch eine leichte Erhöhung der Installationsrate (von 250–300 MW/Jahr in den letzten Jahren) auf 400–450 MW/Jahr kann bis 2040 eine jährliche Produktion von 12 TWh erreicht werden, was dem minimalen Beitrag der PV zur Energiestrategie 2050 (20 Prozent des Stroms) entspricht. Dies ist aber nur ein Bruchteil des technischen Potenzials hierzulande. Es gibt in der Schweiz zahlreiche Forschungsinstitute und Unternehmen, die entlang der PV-Wertschöpfungskette arbeiten, und viele PV-Systeme weltweit beinhalten Elemente aus Schweizer Produktion. Sowohl die Schweizer Forschungsinstitute als auch der Schweizer Hightech-PV-Sektor verfügen über eine führende technologische Position. Der grosse Druck der chinesischen Industrie erfordert von hiesigen Unternehmen permanente Innovationen, um den Marktanteil zu halten. Zudem sind sie gezwungen, vermehrt Produkte und Dienstleistungen mit höherer Wertschöpfung zu entwickeln. Dazu gehören spezielle Inselanlagen, gebäudeintegrierte PV-Produkte, Messlösungen, Software und Mobilitätsanwendungen, um Nischenmärkte in der Schweiz und in Europa zu erobern.

Alternative Proteinquellen

Erich Windhab (ETH Zürich)

Quadrant: technologische Nische



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Neue Proteinquellen aus Insekten und Mikroalgen haben in den letzten drei bis fünf Jahren neben traditionellen Rohstoffquellen wie Getreide, Hülsenfrüchte und Wurzelknollen vermehrt an Bedeutung gewonnen. Die Bewertung der Nachhaltigkeit solcher neuen Rohstoffquellen bedarf umfassender Lebenszyklusanalysen (LCA). Diese sind allerdings erst dann sinnvoll, wenn Gewinnungs- und Verarbeitungsverfahren, detaillierte Produktcharakteristika sowie erste Reaktionen zu deren Wertschätzung durch Lebensmittelkonsumentinnen und -konsumenten vorliegen.

Parallel hat sich bei einigen konventionellen Rohstoffen, speziell bei Proteinen aus Hülsenfrüchten und Ölsamen, ein interessanter Nachhaltigkeitstrend entwickelt. Dieser basiert auf der «Flexitarier-Bewegung», die gerade in der Generation der «Millennials» zunehmend Unterstützung gewinnt. Diese ernähren sich vor allem vegetarisch oder vegan und essen nur wenig Fleisch. Deshalb erfahren texturierte Pflanzenproteine als Fleischanaloge steigendes Marktinteresse. Entsprechende Produkte, gegebenenfalls ergänzt mit Nahrungsfasern, verfügen über einen nachhaltigen ökologischen Fussabdruck und dürften künftig stärker nachgefragt werden. Hinzu kommt, dass solche Proteine vielfach auch aus Nebenströmen anderer Lebensmittelproduktionen (rück-)gewonnen werden können.

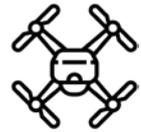
Konsequenzen für die Schweiz

Protein-Texturierungstechnologien wie Hochdruck-Nassextension, Multiscale 3D-Printing oder Multijet Powder Fusion dürften sich in den kommenden Jahren stark entwickeln. Für die resultierenden Produkte, die allenfalls mit nutritiv relevanten Fasern angereichert werden können, werden hohe Zuwachsraten erwartet. Die Schweiz ist forschungstechnisch gut aufgestellt, um diesen Trend erfolgreich aufzunehmen.

Drohnen in der Präzisionslandwirtschaft

Frank Liebisch (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Automatisierte präzise Abläufe in der Landwirtschaft werden zunehmend auch in der Schweiz nachgefragt, um Kosten zu senken und Ressourcen effizienter zu nutzen. Die Nutzung elektronischer und maschineller Hilfsmittel in Kombination zur Steigerung der landwirtschaftlichen Effizienz kann man unter dem Begriff «Precision Farming» zusammenfassen. So lassen sich oft Erträge sichern, Umsätze steigern und nachteilige Umwelteinflüsse, z. B. durch Pflanzenschutzmittelverluste, reduzieren. Diese Reduzierung wird vermehrt durch die Bevölkerung gefordert. Roboter und Drohnen werden zukünftig eine wichtige Rolle spielen, da sie für Spezialaufgaben optimiert werden und somit Arbeitseinsätze auf dem Feld zeitlich und räumlich effizienter gestalten können.

Drohnen werden heute in der Landwirtschaft meist für Monitoring und zu Applikationszwecken verwendet. Drohnenmonitoring stellt bereits heute aktuelle, hochaufgelöste Informationen und Bilder aus z. T. schlecht zugänglichen Situationen (z. B. Wiesen, Baumkronen) zur Verfügung, die vor allem für Beratung und Kartierung im Ackerbau benutzt werden. Die Rehkitzrettung mit Hilfe von Wärmebildkameras ist ein Beispiel dafür. Die Weiterverwendung von Kartenmaterial zur teilflächenspezifischen Feldbearbeitung, wie sie in benachbarten europäischen Ländern zum Teil grossflächig praktiziert wird, findet in der Schweiz hingegen noch nicht statt. Mögliche Ursachen sind sehr niedrige Düngerpreise (z.B. Stickstoff), offizielle Düngerempfehlungen ohne technologische Massnahmen zur teilflächenspezifischen Düngung oder gesetzliche Regelungen. Drohnen zum Ausbringen oder Verteilen von Agrarhilfsstoffen werden mehrheitlich im Pflanzenschutz angewendet. Ein erfolgreiches Beispiel sind die Kugeln, welche Trichogramma-Schlupfwespen enthalten und gegen den Maiszünsler eingesetzt werden,

also biologische Schädlingsbekämpfung mit antagonistischen Insekten. Dies ist mittlerweile eine Standardmethode in der Schweiz und der EU und hat aufgrund der robusten Automation eine hohe Effizienzsteigerung bewirkt. Die Verteilung von flüssigen Pflanzenschutzmitteln hingegen unterliegt strengeren gesetzlichen Auflagen und ist ungleich schwieriger durchzuführen. Sie befindet sich technisch und rechtlich noch in der Entwicklungsphase. Für den Weinbau, besonders in steilen Hanglagen, gibt es aber Anwendungsentwicklungen für Drohnen in der Schweiz, die international wegweisend sind. Es ist anzunehmen, dass diese Technologien an Bedeutung gewinnen werden und auch in anderen Bereichen wie im Obst- oder Gemüsebau, aber auch für präventive Präzisionsapplikation im Ackerbau angewendet werden.

Der Standort Schweiz spielt für die Entwicklung von Drohnen-technologie weltweit eine Schlüsselrolle. Dies betrifft vor allem die Entwicklung von Sensortechnik, Drohnensteuerung und Datenverarbeitung, wo hierzulande international Standards gesetzt werden. Auch wenn die Anwendung von Drohnen in der Schweizer Landwirtschaft aktuell noch gering ist, birgt die Technologie gerade hier für die vielfältige und stark strukturierte Landwirtschaft ein hohes Potenzial. Drohnenbasierte Technologie ist oft flexibler und teilweise auch günstiger als z.B. traktor-basierte Systeme.

Konsequenzen für die Schweiz

Zur Entwicklung von Drohnentechnologie für die Landwirtschaft herrschen in der Schweiz tendenziell gute Bedingungen, da Know-how in fast allen relevanten Bereichen von Grundlagen- bis anwendungsorientierter Forschung vorhanden ist. Es gilt hier insbesondere die Vernetzung zur Praxis zu suchen, Lösungen auf den Landwirtschaftsbetrieben zu fördern und die Nutzerfreundlichkeit für die Betriebe zu verbessern. Hierfür können geeignete Instrumente der Forschungsförderung und des Technologietransfers nützlich sein. Die Integration dieser Technologien in aktuelle landwirtschaftliche Prozesse wird sich tendenziell langsam vollziehen. Im Vergleich

zum Ausland sind relativ niedrige Dünger- und Rohstoffpreise und wenig an Produktionseffizienz gebundene Agrarsubventionen nachteilige Faktoren. Zudem ändert sich im Moment der gesetzliche Rahmen für die Nutzung von Drohnen. Schliesslich spielen Drohnen in der Ausbildung von Landwirtinnen und Landwirten, Beraterinnen und Beratern sowie zum Teil auch Ingenieurinnen und Ingenieuren der Agrarwissenschaften und verwandten Themen nahezu keine Rolle. Hier gilt es klare und positive Rahmenbedingungen zu schaffen und Kapazitäten aufzubauen, um in fünf bis zehn Jahren auch in der Landwirtschaft die technologische Vorreiterrolle im Bereich Drohnentechnologie einzunehmen.

Nachhaltige Lebensmittelproduktion

Erich Windhab (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Star



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die Agenda 2030 der UN setzt mit ihren 17 Nachhaltigkeits-Entwicklungszielen (Sustainable Development Goals, SDG) klare Zeichen hinsichtlich eines «Nachhaltigen Lebensmittel-Systems». Insbesondere die SDG 2 und 12 adressieren dies (SDG 2: Den Hunger beenden, Ernährungssicherheit und eine bessere Ernährung erreichen und eine nachhaltige Landwirtschaft fördern; SDG 12: Nachhaltige Konsum- und Produktionsmuster sicherstellen). In der Umsetzung für die industrienaher europäische Forschung im Bereich Lebensmittel wurden daraus sechs strategische Ziele abgeleitet (siehe u.a. *EIT Food* und *Food 2030 Programme*). Mit der Verabschiedung der Agenda 2030 wurde ein neuer globaler Referenzrahmen geschaffen, an dem sich die nachhaltige Entwicklung der Schweiz orientiert. Eine erste Bestandsaufnahme zeigt, dass die Agenda 2030 und ihre Ziele in der Schweiz gut verankert sind, aber auch wo noch Herausforderungen liegen, um die SDG bis 2030 zu erreichen.

Konsequenzen für die Schweiz

Für die Lebensmittelforschung entlang der gesamten Wertschöpfungskette und die insbesondere mittels lebensmitteltechnologischer Entwicklungen voranzutreibenden SDG 2 und 12 besteht für die Schweiz Handlungsbedarf. Zentrale Herausforderungen sind: (1) Steigender Ressourcenverbrauch, der weit über den planetaren Belastbarkeitsgrenzen liegt und die Umweltbelastung in die Zulieferländer verschiebt; (2) Stickstoffbelastung und Verlust an Biodiversität durch hohen Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Antibiotika, die noch nicht den Umweltzielen der Landwirtschaft entsprechen; (3) Fehl- und Mangelernährung, was Krankheiten wie Diabetes, Fettleibigkeit oder Herz-Kreislaufbeschwerden begünstigt, die rund 80 Prozent der Schweizer Gesundheitskosten verursachen. Die Foresight-Studie des *World Food System Center* an der *ETH Zürich* hat für die Nachhaltigkeit des Lebensmittelsystems massgebliche Teilaspekte identifiziert, bei denen lebensmitteltechnologische Massnahmen zur Problemlösung beitragen können:

- Energie- und Nährstoffnutzungseffizienzen entlang der Wertschöpfungskette
- Reduktion von Lebensmittelabfällen und Verlusten in der Wertschöpfungskette
- nachhaltige Ernährungsgewohnheiten
- Antibiotikaresistenz
- Folgenabschätzung von lokaler vs. globaler Lebensmittelproduktion

Nahezu alle der rund 2200 Unternehmen der Schweizer Lebensmittelbranche (98 Prozent KMU) adressieren Nachhaltigkeitsaspekte in ihren Zielsetzungen. Sie repräsentieren mit rund 62'000 direkt Beschäftigten und jährlich rund 25 Mrd. CHF Umsatz 5,3 Prozent des Schweizer BIP.

E-Mobilität: Elektrische Fahrzeuge und Infrastruktur

Andrea Vezzini (BFH)

Quadrant: technologischer Selbstläufer



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die Einhaltung der Klimaziele des Pariser Übereinkommens erfordert den Übergang des auf fossilen Treibstoffen basierenden Transportsystems zu einem nachhaltigen System mit minimalem CO₂-Ausstoss und Primärenergiebedarf sowie nahezu schadstofffreien Emissionen. In der Schweiz wird ein Drittel der gesamten Treibhausgasemissionen durch den Verkehr verursacht. Betrachtet man nur die CO₂-Emissionen durch Brenn- und Treibstoffe, betrug der Anteil des Verkehrs 2017 mit 15 Mio. Tonnen sogar 44 Prozent. Möglich machen soll diesen Übergang die E-Mobilität, welche sich auf das Erfüllen von Mobilitätsbedürfnissen unter Nachhaltigkeitsaspekten fokussiert und dafür Fahrzeuge mit Elektroantrieb und Energiespeicher vorsieht. Eine ausführliche Studie des *SCCER Mobility* zeigt auf, dass eine mittel- bis langfristige Entkarbonisierung der Mobilität nur durch Technologieentwicklungen zu erreichen ist, die auf Antriebselektrifizierung basieren. Die beiden konkurrierenden Elektrifizierungspfade für die Zukunft sind batterieelektrische Fahrzeuge und Brennstoffzellenfahrzeuge, die mit Wasserstoff als Energieträger betrieben werden. Dabei werden der schnelle Aufbau von CO₂-freier Stromerzeugung für den Mobilitätssektor sowie der Aufbau einer effizienten Ladeinfrastruktur entscheidende Faktoren sein. Weitere internationale Trends in der Mobilität sind die zunehmende Urbanisierung (Megacities) und Digitalisierung (Autonomes Fahren) sowie der neue Zeitgeist (Sharing Economy).

Konsequenzen für die Schweiz

Kurz- und mittelfristig wird es wichtig sein, die Infrastruktur für die Elektrifizierung der Mobilität bereitzustellen. Sollte der Anteil der batterieelektrischen Fahrzeuge an den Neufahrzeugen in den nächsten fünf Jahren so stark zunehmen wie prognostiziert und 2025 zwischen 10 und 20 Prozent betragen, muss die entsprechende Ladeinfrastruktur aufgebaut werden. Hier kann die Schweizer Wirtschaft im Energie-, Finanz- und Technologiesektor eine entscheidende Rolle spielen. Europaweit zeigen traditionelle Automobilunternehmen verstärktes Interesse am Aufbau eigener Netzwerke von Schnellladestationen. Der Gesetzgeber sollte hier frühzeitig die Weichen stellen. Die Schweizer Automobilindustrie ist traditionell eine Zulieferindustrie. Rund zwei Drittel des Umsatzes gehen auf Teile- und Materiallieferung zurück. Langfristig dürfte die Produktion von Teilen für Verbrennungsmotoren zurückgehen und durch Komponenten für die E-Mobilität ersetzt werden. Dies eröffnet Chancen für neue Marktteilnehmer.

Mobilitätskonzepte

Thomas Küchler (Schweizerische Südostbahn AG)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Der Megatrend bei der Entwicklung neuer Mobilitätskonzepte ist die Automatisierung der Fahrzeuge auf Strasse und Schiene. Bei Strassenfahrzeugen ist davon auszugehen, dass die Automatisierung sukzessive vorangetrieben wird, von der heutigen Teilautomatisierung bis zur Vollautomatisierung nach 2030. Bei Schienenfahrzeugen sind aktuell grosse Anstrengungen sichtbar, mit digitalen Technologien die Kapazitäten signifikant zu erhöhen. Ein weiterer starker Trend ist die Entwicklung und Bereitstellung neuer Angebotslösungen auf der Basis bestehender Fahrzeugtechnologien. In den meisten Fällen werden diese als Ersatz des eigenen Fahrzeugs oder als Ergänzung zum öffentlichen Verkehr konzipiert, im Sinne der «letzten Meile». Zu diesem Trend befindet sich im Status der Forschung der Ansatz, mit vollautomatisierten Strassenfahrzeugen neue On-Demand-Angebote zu entwickeln. Ein dritter Trend geht in Richtung Verknüpfung aller Mobilitätsangebote zu einer durchgängigen, mehrgliedrigen Reisekette im Sinne einfach nutzbarer Transportdienstleistungen von Tür zu Tür. Aktuell ist weiter zu beobachten, dass Dienstleister ausserhalb der Mobilität ihre Produkte und Angebote mit Mobilitätsdienstleistungen ergänzen wollen. Die Entwicklungen werden meistens mit sektorieller Ausrichtung und Zielsetzung vorangetrieben. Die Potenziale der multimodalen Mobilität werden nur sehr untergeordnet berücksichtigt.

Konsequenzen für die Schweiz

Aktuell sind in der Mobilität zusammenfassend zwei Herausforderungen erkennbar: Einerseits wird sich die Art und Weise, wie wir Mobilität nutzen, stark verändern. Andererseits werden sich die strikten Grenzen zwischen den Mobilitätsträgern, z.B. zwischen Individual- und öffentlichem Verkehr, verwischen. Offen ist, welche Anforderungen sich dadurch für Infrastrukturen und Raumentwicklung ergeben. Die Verfügbarkeit der Mobilitätsdaten ist dabei eine zentrale Frage. Im Gegensatz zum öffentlichen Verkehr sind diese beim Individualverkehr sehr dezentralisiert, vielfach privatisiert und für Dritte nicht zugänglich. Eine sinnvolle Kombination der Datenquellen ist für Entwicklung und Steuerung der künftigen Mobilität sowie für intelligente Lösungen der Kapazitätsprobleme allerdings unabdingbar.

Automatisierte Fahrzeuge

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

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Automatisierte – oder auch sehr weitgehend assistierte – Mobilität ist ein Top-Technologiethema, das als Teil der digitalen Transformation viele Bereiche betrifft. Bereits heute verfügen Fahrzeuge mit immer leistungsfähigeren Fahrassistenten technisch über die Fähigkeit, gewisse Fahraufgaben selber ausführen zu können (Stufe 3 der Norm SAE J3016 der *SAE International*). Dies als Vorstufe für eine hohe Automatisierung, in der das Fahrzeug selbständig von A nach B fährt, aber immer noch Lenkrad und Pedale aufweist (Stufe 4 nach SAE J3016). Vollautomatisierte Fahrzeuge ohne Lenkrad und Pedale (Stufe 5 nach SAE J3016), die nicht nur auf definierten Routen oder begrenzten Strassennetzen fahren können, erfordern auf technischer, aber auch legislativer Ebene noch erhebliche Fortschritte, weshalb sie hier nicht diskutiert werden.

Bereits der Weg zu Stufe 4 und der früheste Einsatz solcher Fahrzeuge werden kontrovers diskutiert. Anstatt einer langsam fortschreitenden Entwicklung scheinen «Quantensprünge» in absehbarer Zeit möglich, wahrscheinlich mit bahnbrechendem Einsatz von Lastwagen- und Taxi-Flotten. Die Entwicklung von Fahrzeugen ohne begrenztes Einsatzspektrum ist nicht zu verwechseln mit dem Einsatz autonomer Taxis und Busse in Randbereichen und anderen begrenzten Gebieten der Städte. In der Schweiz sind auf geringer Komplexitätsstufe, d.h. auf vortrainierten Strecken und Strassennetzen, bereits in Sion, Fribourg sowie Neuhausen kleine Pendelbusse im Testbetrieb, weitere werden folgen. In Singapur ist allerdings schon eine ganze Flotte autonomer Taxis unterwegs, und Waymo hat erstmals die Erlaubnis erhalten, in Kalifornien Taxis ohne Begleitperson zu betreiben. Diese Pilotprojekte

stellen viel geringere Anforderungen an die Umgebungswahrnehmung, Interpretation und Entscheidungsfähigkeit der Systeme, als es bei flächiger und allgemeiner Fahrzeugnutzung auf Stufe 4 notwendig wäre.

Der Trend zu automatisierter Mobilität ist von grosser Bedeutung, nicht zuletzt aufgrund grosser, teils unrealistisch hoher Erwartungen wie besserer Auslastung der Strassen und Fahrzeuge, Ermöglichung neuer Mobilitätskonzepte und Businessmodelle, Kostensenkungen vor allem im Logistikbereich, neuer Mobilitätsangebote für Jung und Alt sowie Zeitgewinne infolge Wegfalls von lästigen Fahraufgaben. Aber auch Skepsis und Ängste grassieren, machen die Technologie und deren Akzeptanz verwundbar und mahnen zu behutsamen Vorgehen: Die Zuverlässigkeit und ausreichende Validierung der computergesteuerten Systeme werden angezweifelt, der Schutz gigantischer anfallender Datenmengen ist problematisiert, und Fragen hinsichtlich Kontrollierbarkeit, Haftung sowie Zulassungs- und Einführungspraxis kommen auf. Software, die zusammen mit entsprechender Sensorik und weiterer Hardware, z.B. neue Mikro-Chips, Fahrerinnen und Fahrer weitgehend überflüssig machen, sind bereits im Entwicklungs- und Erprobungsstadium. Dies schliesst die nötigen Algorithmen von maschinellem Lernen und Mustererkennung ein, also künstlicher Intelligenz. Zur erfolgreichen Einführung ist das Gesamtsystem zu optimieren und in übergeordnete Mobilitätskonzepte einzubinden, wobei beispielsweise bei dem Sensorsystem Kostenminimierung und Sicherheit gegeneinander abzuwägen sind. Das Nebeneinander von durch Menschen gesteuerten und automatisierten Fahrzeugen («Mischverkehr») ist ein nicht zu unterschätzender Problembereich, den es zu regeln gilt; nicht zuletzt sind Zulassungsfragen zu klären.

Konsequenzen für die Schweiz

Automatisierte Systeme sind ein Schwerpunkt in Forschung und Entwicklung an EPFL und ETH Zürich, diversen Fachhochschulen sowie bei führenden Automobilherstellern und grossen Systemzulieferern. Mit zunehmender Tendenz beschäftigen sich aber auch viele innovative KMU damit. Die Schweiz als hoch entwickeltes Land mit hoher Verkehrsdichte wird von automatisierten/autonomen Verkehrssystemen für den Personen- und Güter-

transport profitieren und ist gut aufgestellt, um sich an deren Erprobung und Einführung aktiv zu beteiligen. Auch wenn die Schweiz über keine Automobilindustrie verfügt, bieten sich für die Automobilzulieferindustrie, für grössere Unternehmen (Logistik, Personen- und Gütertransport, Versicherungen) sowie für KMU (Sensorik, System- und Softwareentwickler) dank passender Expertise und Leistungsausweise neue Betätigungsfelder und Geschäftschancen.

Smarter Lebensraum

Smart Cities

Andrew Paice (Hochschule Luzern)

Quadrant: technologischer Star



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Technologiewandel und Digitalisierung stellen Städte vor grosse Herausforderungen. Dies gilt besonders für Dienstleistungen im Rahmen der Bereitstellung von Ressourcen (Wasser, Strom oder Licht) und der Infrastruktur z.B. für Mobilität oder Abfallentsorgung, betrifft aber auch die direkte Interaktion der Bürgerinnen und Bürger mit der Stadtverwaltung. All diese Bereiche können durch digitale Technologien revolutioniert werden. Kerntechnologien wie Big-Data-Analytik oder das Internet der Dinge (IoT) stehen zur Verfügung und können zur Optimierung des Stadtverkehrs eingesetzt werden. Kostengünstige, drahtlose Kommunikation, z.B. Long Range Wide Area Network (LoRaWAN), und die einfache Nutzbarkeit von Sen-

soren mit langer Akkulaufzeit sowie Cloud-basierte Datenmanagement- und Analysesoftware erlauben es, eine stadtweite smarte Umgebung zu schaffen. International haben mehrere Gemeinden und Städte diese technischen Möglichkeiten genutzt, um Aspekte einer Smart-City-Vision umzusetzen. Lichtmanagement ist oft ein erster Schritt, gefolgt von Parkleitsystemen und Verkehrsmanagement. In der Zwischenzeit werden smarte Sensoren in das Versorgungsnetz integriert, um ein intelligentes Management der Netzwerke zu ermöglichen. Das Aufkommen der künstlichen Intelligenz macht viele neue Anwendungen möglich, schafft aber auch neue Risiken, wie das «Profiling» einzelner Bürgerinnen und Bürger oder Gebäude.

Obwohl die Technologien weitgehend verfügbar sind, ist die Schaffung einer Smart City aufgrund der Systemkomplexität und der Vielfalt an Anwendungsmöglichkeiten eine grosse Herausforderung. Typischerweise werden Machbarkeit und Nutzen für die Beteiligten im Rahmen von Pilotprojekten nachgewiesen. Es gibt aber erhebliche Probleme in Bezug auf Datensicherheit und -schutz, die gelöst werden müssen, bevor die öffentliche Akzeptanz gewährleistet ist.

Konsequenzen für die Schweiz

In der Schweiz besteht ein starkes Interesse an Smart Cities. St. Gallen hat bereits 2015 Pilotprojekte initiiert. Basel hat eine Strategie entwickelt und verfolgt einen breiten Ansatz mit einer Kombination aus Demonstrations- und Forschungsprojekten. Andere Städte wie Genf oder Zürich entwickeln entweder eine Strategie oder starten einzelne Pilotprojekte, die oft mit internationalen Forschungsprojekten verbunden sind. Beispiele sind ein Beleuchtungsprojekt in Winterthur, ein Living Lab zur Erforschung sozialer Aspekte in Bellinzona oder intelligente Parkleitsysteme und Mobilität in Genf. Interessanterweise sind die Stadtwerke oft Treiber von Smart-City-Technologien. Sie sehen darin die Möglichkeit, Kosten zu senken und dienstleistungs-basierte Geschäftsmodelle zu entwickeln. Daneben gibt es Interessengruppen wie *Smart City Hub Switzerland* oder *CityZen*, und das Bundesamt für Energie verfügt über ein auf Energie ausgerichtetes «Forschungsprogramm Gebäude und Städte».

Die wichtigsten technologischen Treiber für die Einführung von Smart Cities sind die Ausbreitungsraten der IoT-Netzwerktechnologien und Kommunikationsnetze wie 5G. Das wirtschaftliche Potenzial von Smart Cities ist riesig und wird durch eine mögliche Konvergenz mit Smart-Home- und Smart-Building-Technologien noch weiter erhöht. Wichtige Hindernisse sind die Kosten und die (politischen) Entscheidungsprozesse, die Komplexität der Integration aller Aspekte in ein funktionierendes System und schliesslich die Suche nach überzeugenden Vorteilen, welche die Akzeptanz bei allen Beteiligten fördern. In diesem hochkomplexen Umfeld wird eine zentrale Entscheidung für Städte die Wahl der Technologiepartner sein: Gibt man etablierten, aber oft internationalen Partnern den Vorzug oder wählt man lokale Partner? Letztere können zwar Flexibilität gewährleisten, gegebenenfalls aber keine betriebliche Kontinuität. Für Schweizer Start-ups und KMU gibt es viele Möglichkeiten, technologische Unterstützung und innovative Dienstleistungsmodelle anzubieten. Ihre Herausforderung besteht darin, das Vertrauen der Stadt zu gewinnen und dann ein nachhaltiges Unternehmen zu gründen, um die nötige Kontinuität zu gewährleisten. Die Herausforderung der Stadt wird darin bestehen, eine digitale Identität zu schaffen und die Smart-City-Initiativen zum Wohle ihrer Bürgerinnen und Bürger voranzutreiben. In den nächsten fünf bis zehn Jahren ist mit einem starken Wachstum bei der Einführung von Smart-City- und Dienstleistungsinnovationen zu rechnen.

Smart Home

Peter Richner (Empa)

Quadrant: technologischer Star



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Schlagworte wie «Smart Home» oder «Smart Building» sind nicht exakt definiert, zielen jedoch auf das informations- und sensortechnisch aufgerüstete, vernetzte Zuhause. Entwicklungen wie das Internet of Things oder cloudbasierte Dienste haben Potenzial für Anwendungen im Gebäudebereich. Passive Systeme und intelligente Planung können ebenfalls dazu beitragen, ein Gebäude smart zu machen. Smarte Lösungen müssen jedoch möglichst ohne Mitwirkung der Nutzer die gewünschte Leistung erbringen. Ein gutes Beispiel sind Algorithmen für die Steuerung von Heizung und Klima, die laufend aktualisierte Prognosen für die Nutzungsart des Gebäudes und für das Wetter berücksichtigen. Weitere Anwendungsgebiete sind Überwachungssysteme, die älteren Menschen ein selbstbestimmtes Leben in ihren eigenen vier Wänden länger ermöglichen. Smarte Lösungen in den Bereichen behindertengerechter Bauten, Brandschutz, Energie, Erdbbensicherheit und Komfort sind in einer modernen, technologischen Gesellschaft enorm wichtig. Das grösste Potenzial liegt in der intelligenten Reaktion auf kurz-, mittel- und langfristige Veränderungen der Nutzung und/oder Umweltbedingungen.

Konsequenzen für die Schweiz

Das Potenzial für smarte Lösungen beim Gebäudebau und -betrieb ist in einer modernen, technologischen Gesellschaft enorm. Die Herausforderung ist die praktische Umsetzung der neuen Konzepte. Bei Lösungen, die stark mit dem Rest des Gebäudes verknüpft sind, muss deren Integration von der Planung über die Realisierung bis zum Betrieb sichergestellt werden. Die dazu notwendige Interaktion der eher traditionell ausgerichteten Baubranche mit neuen Akteuren, die stark durch Informationstechnologie geprägt sind, ist anspruchsvoll. Handelt es sich um reine Add-on-Lösungen, also Erweiterungspakete oder Zusatzprogramme wie etwa sprachgesteuerte Haushaltgeräte, sind die Akzeptanz der Nutzer sowie die Schaffung von spürbarem Mehrwert ausschlaggebend. Akademische und industrielle Forschung in der Schweiz sind gut aufgestellt und sehr aktiv, weshalb sie den Trend erfolgreich aufnehmen können.



Fertigungsprozesse und Materialien

Materialentwicklung für Additive Fertigung

Christian Leinenbach, Lars Sommerhäuser (Empa) und Adriaan Spierings (inspire)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Materialentwicklung für additive Fertigung (Additive Manufacturing, AM) umfasst Kunststoffe, Metalle, Keramiken und Verbundwerkstoffe, die aufgrund ihrer Zusammensetzung optimal auf die Prozessbedingungen in einem additiven Fertigungsverfahren abgestimmt sind und die dadurch neue Produkte mit besserer Performance ermöglichen. Dabei werden zwei Ziele verfolgt: Einerseits soll das Portfolio an Materialien vergrößert werden, die sich für additive Prozesse eignen. Andererseits sollen mit additiven Verfahren neue Materialien erzeugt werden, die mit herkömmlichen Fertigungsverfahren nicht herstellbar sind. So können beispielsweise aufgrund der speziellen Bedingungen in der additiven Prozessierung instabile Zustände in Metallen eingefroren werden, es können unterschiedliche Materialien im Herstellungsprozess kombiniert oder Materialeigenschaften lokal verändert werden.

Es ist deshalb ein stark zunehmender Trend, spezifische Materialien für additive Fertigungsverfahren herzustellen. Diese machen es möglich, Bauteile zu fertigen, die neue Funktionen oder bessere Eigenschaften haben als solche, die konventionell hergestellt wurden. Nur mit für die Prozesse optimierten Materialien kann das ganze Potenzial der additiven Fertigung in der Industrie genutzt werden.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Schweiz ist mit ihrer Expertise im Bereich der Materialforschung und Technologieentwicklung gut aufgestellt. Auf der Forschungsseite spielen hier die Institutionen des ETH-Bereichs, Forschungsorganisationen wie *inspire* sowie einige Fachhochschulen eine wichtige Rolle. Aber auch auf Seiten der Industrie findet man in der Schweiz verschiedene Unternehmen, die über die notwendigen Kompetenzen verfügen, solche Materialien und die zugehörigen Prozesse zu entwickeln. Während die additive Fertigung in den vergangenen Jahren vor allem durch Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus – insbesondere in Deutschland und in den USA – vorangetrieben wurde, wird in Zukunft ein stärkerer Fokus auf den Materialien und Prozessen liegen. In diesem Gebiet, das aktuell noch in den Kinderschuhen steckt, sich aber rasch entwickelt, bietet sich der Schweiz die Chance, international zu einem Technologieführer zu werden. Jedoch müssen – ähnlich wie in anderen europäischen Ländern oder in den USA – auch in der Schweiz hierfür geeignete Instrumente der Forschungsförderung und des Technologietransfers zur Verfügung gestellt werden.

Verfahren im Bereich der Additiven Fertigung

Lars Sommerhäuser (Empa) und Adriaan Spierings (inspire)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die Verfahren im Bereich der additiven Fertigung (Additive Manufacturing, AM) umfassen die gesamte Bandbreite an aktuell verfügbaren oder noch in Entwicklung stehenden AM-Prozessen, also auch verschiedene vor- oder nachgelagerte Prozesse, die zur Herstellung von einsatzbereiten Komponenten und Produkten notwendig sind. Beispiele für AM-Prozesse sind pulverbasierte Technologien wie das Selective Laser Sintering (SLS) und das Selective Laser Melting (SLM) für Kunststoff- und Metallteile, Verfahren zur Verarbeitung von Filament wie das Fused Deposition Modeling (FDM) für Kunststoffe sowie fluidbasierte Verfahren wie die Stereolithographie (SLA). Beispiele für vielversprechende neue Verfahren, die sich aktuell noch in der Entwicklungsphase befinden, sind das Drucken von Metallbauteilen mittels Binder Jetting (BJ), Technologien zur additiven Herstellung grosser Strukturen im Meterbereich sowie neue Mikro- und Nanoanwendungen.

Ein übergeordneter Trend ist die Industrialisierung additiver Fertigungsverfahren. Dies bedeutet insbesondere die stärkere Automatisierung und Integration in konventionelle Produktionsprozessketten, die Sicherstellung der Prozess- und Produktqualität sowie die Reduzierung der Herstellungskosten. Die Bedeutung dieses Trends ist nicht zu unterschätzen. Additiv gefertigte Anwendungen und Bauteile haben ein erhebliches Innovationspotenzial, das kostengünstig und qualitativ hochwertig umgesetzt werden muss. Anwendungsnahe Beispiele mit Bedeutung für die Schweiz sind die Kunststoffindustrie, der Leichtbau (Flugzeug-, Raumfahrtindustrie), der Maschinenbau, die Medizinaltechnik und die Turbinenindustrie. Bereiche also, die zur herausragenden Position der Schweiz im internationalen Innovationsranking beitragen.

Konsequenzen für die Schweiz

Im internationalen Vergleich – insbesondere gegenüber Deutschland, Grossbritannien, den USA und China – hat sich die Schweizer Industrie- sowie Forschungsförderungslandschaft in der Entwicklung industrieller AM-Prozesse eher zurückgehalten. Der Trend der stärkeren Industrialisierung ist jedoch von hoher Bedeutung, da er neue Ideen und Know-how in der Weiterentwicklung und Implementierung von Technologien sowie innovative Qualitätssicherungskonzepte erfordert. Dies sind Bereiche, in denen die Schweiz ihre traditionellen Stärken ausspielen kann. Sie hat bei der Entwicklung neuer AM-Technologien, bei der stärkeren Industrialisierung der additiven Fertigung sowie bei der Qualifizierung der AM-Technologien für spezielle Anwendungen die Chance, ihre Kompetenzen in einem stark wachsenden Markt einzubringen. Sie kann und soll auch mithelfen, AM-Technologien auf das nächste Level hinsichtlich Qualität und Kosten zu bringen. Das Meistern dieser Herausforderungen wird die Schweizer Forschung und Industrie sicherlich für die kommenden fünf bis acht Jahre beschäftigen. Um diese Aufgaben erfolgreich anzugehen, ist ein grundsätzliches Bekenntnis der Politik zur Förderung der Fertigungstechnik in der Schweiz von zentraler Bedeutung. Zudem sind geeignete Förderstrukturen, -programme und -schwerpunkte notwendig.

Bioplastik

Urs Mäder (SATW), **Roger Marti** (HES-SO Fribourg) und **Hans-Peter Meyer** (Expertinova AG)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Biokunststoffe stammen aus erneuerbarer Biomasse. Sie sollten nicht mit bioabbaubaren Kunststoffen verwechselt werden, denn Biokunststoffe sind nicht a priori so konzipiert, dass sie auch biologisch abbaubar sind.

Neben so genannten Drop-in-Materialien – biobasierten Kunststoffen, die chemisch identisch mit Kunststoffen aus fossilen Rohstoffen sind – gibt es vermehrt auch neuartige Monomere respektive Polymere, die auf nachwachsenden Rohstoffen basieren. Sie ersetzen immer häufiger klassische, erdölbasierte Produkte. Ein Beispiel ist Polyethylenterephthalat (PET), das vollständig aus pflanzlichen Rohstoffen hergestellt werden kann. Ein Baustein dafür, die Terephthalonsäure, ist eine Basischemikalie für viele biobasierte Kunststoffe und kann in einem mehrstufigen Prozess aus pflanzlichen Abfallprodukten hergestellt werden. Im Vergleich zum ähnlichen PET verfügt PET über bessere Barriere-Eigenschaften gegenüber Sauerstoff und CO₂, was es für die Verpackungsindustrie interessant macht. Hochwertige und funktionale Biopolymere werden vermehrt für spezielle Anwendungen beispielsweise in der Biomedizin, für den 3D-Druck von neuen Organen sowie in der Verpackungsindustrie eingesetzt.

Biobasierte Kunststoffe kommen in nächster Zukunft vermehrt auf den Markt, aber ihr Anteil am stetig wachsenden Gesamtmarkt bleibt unverändert tief bei wenigen Prozent. Einerseits ist ein regulatorischer Steuermechanismus notwendig, um das zu ändern. Andererseits ist auch mehr Forschung wünschenswert, um die Einführung speziell in der Verpackungsindustrie zu begleiten. Als Paradebeispiel hierzu kann das EU-Projekt *BioSmart* mit der *Hochschule für Technik und Architektur Freiburg* als Partner dienen, das smarte, biobasierte und kompostierbare Verpackungen entwickeln will. Weitere interessante Monomere basierend auf natürlichen Ressourcen sind noch im Forschungsstadium. An funktionalen Biopolymeren wird aktiv geforscht, speziell an Hightech-Anwendungen, die mit der Umwelt interagieren, respektive auf externe Einflüsse reagieren. Eine spannende Entwicklung sind hier Polyhydroxyalkanoate, die in Struktur und Eigenschaft für spezifische Anwendungen massgeschneidert werden können.

Konsequenzen für die Schweiz

Anwendungen von Biopolymeren in der Medizintechnik sowie im Formulierungs- und Verpackungsbereich sind Chancen für die Schweizer Industrie. Aber auch die Automobilindustrie und die Landwirtschaft sollen in Betracht gezogen werden. Die forschenden und industriellen Partner und regulatorische Organe sollten zusammengebracht werden, um die wesentlichen Probleme und Lösungen zu formulieren. Auch muss die Öffentlichkeit in Bezug auf biobasierte und/oder bioabbaubare Kunststoffe sensibilisiert werden.

Funktionale Fasern

Manfred Heuberger (Empa), **Paul Keller** (Avery Dennison Materials Europe) und **Urs Mäder** (SATW)

Quadrant: technologischer Selbstläufer



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Funktionale Fasern werden schon für eine Vielzahl von praktischen Anwendungen breit eingesetzt. Vor allem für die Herstellung von Funktionsbekleidung im Sport- und Freizeitbereich und als Dämm-, Verbund- und Verstärkungsmaterial in der Bau- und Papierindustrie. Andere Anwendungen, die noch in der Erprobung sind oder bereits in der Praxis umgesetzt werden, sind unter anderem:

- Fasern mit mikrobieller Wirkung (durch Absorption oder Abgabe von antibakteriellen Wirkstoffen)
- superabsorbierende Fasern mit hoher Wasseraufnahmefähigkeit für medizinische und kosmetische Produkte
- Fasern mit gesteuerter Wasseraufnahme und -abgabe für Lebensmittelverpackungen
- Fasern zur selektiven Entfernung von Schwermetall aus Abwasser

In vielen technischen Anwendungen werden den Fasern beim Spinnprozess Zusätze beigemischt, um neuartige Eigenschaften zu erreichen, oder es wird eine Appretur aufgebracht. Zusätzlich kann beim Herstellungsprozess auch die Struktur der Fasern verändert werden: Neben konventionellen Rundfasern können hohle, flache oder anders geformte Fasern hergestellt werden.

Durch die Kombination von neuartigen Herstellungsmethoden und neuen Materialien wie Nanopartikeln könnten funktionelle Fasern mit bisher unerreichten Eigenschaften entwickelt werden. Diese Möglichkeiten sollten genauer untersucht, auf ihr Potenzial geprüft und bei Bedarf gefördert werden. Mögliche Anwendungen mit Potenzial sind:

- Verbundfasern aus einer Kombination verschiedener Materialien mit speziellen Oberflächeneigenschaften. Es kann sich dabei z.B. um eine Zweikomponentenfaser mit einer Aussenhülle handeln, welche bei einer tieferen Temperatur als der Kern schmilzt und mit dem Umgebungsmaterial (Matrix) zerfliesst.
- Fasern mit Nanopartikeln wie Silber für neuartige Textilien mit Schutzwirkung gegen mechanische oder elektromagnetische Einflüsse wie Elektrizität, Strahlung oder Wärme.
- Fasern mit mikroverkapselten Flüssig-Wirkstoffen oder mit Flüssigkern
- bioabbaubare Fasern als Ersatz für synthetische Vliese in Haushalt, Kosmetik, Landwirtschaft
- körperverträgliche Fasern für medizinische Anwendungen, z.B. als Gefässersatz oder in der Wundheilung bei grossflächigen Brandverletzungen oder für die dosierte Abgabe von Medikamenten über die Haut oder im Körper

Ein wichtiger Technologietrend ist zurzeit die Entwicklung einer neuen Generation von flammgeschützten Fasern mit hohen mechanischen Eigenschaften wie Zugfestigkeit. Sowohl in den USA als auch der EU laufen Bemühungen, bromierte und halogenisierte Flammschutzmittel aus verschiedenen Produkten zu verbannen, speziell aus Plastik und Textilien. Aus der Forschung der letzten rund 10 Jahre sind neue phosphorhaltige organische Verbindungen hervorgegangen, die umweltschonend und trotzdem sehr potent sind. Sie können insbesondere in so kleinen Mengen eingesetzt werden, dass die mechanischen Eigenschaften von Fasern weitgehend erhalten bleiben. Es wird erwartet, dass dieser Technologietrend in den nächsten fünf Jahren neuartige Fasern aus unterschiedlichen Polymeren mit verbesserten Flammschutzeigenschaften hervorbringen wird.

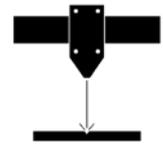
Konsequenzen für die Schweiz

Da die Schweiz in der Forschung dieser Flammschutzmittel an vorderster Front mitarbeitet, hat die hiesige Industrie eine Poleposition für die Sicherung von Rechten des geistigen Eigentums und der Erweiterung bzw. Neuerschließung von Märkten mit hoher Wertschöpfung. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass diese Entwicklungen auch in anderen polymerverarbeitenden Zweigen stimulierend wirken können (Compoundierung, Folien, Spritzguss).

Oberflächenbearbeitung mit Laser

Andreas Conzelmann (TRUMPF Schweiz AG)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Der Begriff Oberflächenbearbeitung umfasst eine Vielzahl von Verfahren, welche die Eigenschaften des Materials verändern oder die Oberfläche strukturieren, um Markierungen aufzubringen. Für die Oberflächenbearbeitung kommen typischerweise Laserstrahlquellen mit mittleren Ausgangsleistungen zum Einsatz. Diese Laser operieren im Dauerstrichbetrieb, gepulsten Betrieb (Mikro- bzw. Nanosekundenpulse) oder ultrakurzgepulsten Betrieb (Piko- bzw. Femtosekundenpulse). Die Entwicklung von Laserstrahlquellen mit hohen Ausgangsleistungen bzw. mit ultrakurzen Femtosekundenpulsen hat in Kombination mit der Verfügbarkeit von entsprechenden Optiken, Strahlführungen und Sensoren in den letzten fünf Jahren neue Prozesse ermöglicht sowie bei bestehenden die Qualität erhöht und die Prozessdauer verkürzt. Die Photonik war der entscheidende Wegbereiter für die erfolgreiche Industrialisierung vieler innovativer Produkte in den letzten Jahren. Der Weltmarkt für Laserstrahlquellen zur Oberflächenbearbeitung betrug 2017 rund 2 Mrd. USD, was rund 20 Prozent des gesamten Lasermarkts entspricht.

Die Bearbeitung von Oberflächen ist für nahezu alle Branchen relevant, beispielweise für Automobilbau, Batterietechnik, Bildschirme, Elektronik, Kommunikation, Luft- und Raumfahrttechnik, Medizintechnik, Nahrungsmittel, Sicherheitstechnik, Uhren und Schmuck, Unterhaltungselektronik oder Verteidigungstechnik. Die wichtigsten Treiber der Oberflächenbearbeitung sind:

- Bedarf an neuen Produktionsverfahren mit hoher Energie- und Leistungsdichte
- steigende Anforderungen an Funktionalität oder Verschleissfestigkeit von Oberflächen aufgrund von Produktivitätssteigerungen
- Bedarf an Rückverfolgbarkeit von Teilen und Produkten entlang der gesamten Prozess- und Logistikkette durch Codes oder Text
- neue Regularien im Bereich Luft-, Raumfahrt- sowie Medizintechnik und weiteren Branchen, die Kennzeichnungen von hoher Resistenz und entlang der gesamten Prozesskette vorschreiben

Neue Verfahren in der Oberflächenbearbeitung sind beispielsweise Kristallisationsprozesse zur Herstellung von OLED- oder LCD-Displays, das Ablösen flexibler Displays von Trägermaterialien oder die Bearbeitung von gehärteten Gläsern. Lasermarkierungen mit herkömmlichen Nanosekunden-Lasern führen in der Regel zu Gefügeveränderungen in Edelstählen mit der Gefahr der Korrosion. Die Verwendung von Ultrakurzpulslasern hat hingegen zu einem Technologiesprung und äusserst korrosionsbeständigen Markierungen geführt. Durch die kurzen Zeitskalen, in denen ein Piko- oder Femtosekundenlaserpuls mit einem Material wechselwirkt, lassen sich aussergewöhnliche Oberflächenstrukturen schaffen. Diese können beispielsweise absorptions- oder emissionssteigernde Eigenschaften besitzen oder einen elektrochemischen Prozess katalytisch unterstützen. Riesige Fortschritte bei der Beschichtung unter-

schiedlichster Materialien mit Sub-Nanometer-Präzision erlauben die Herstellung neuer Verbindungen und Schichten. In Kombination mit optisch aktiven Materialien und speziellen Wellenleiterstrukturen lassen sich intelligente und aktive optische Bauelemente, Sensoren oder Schalter erzeugen. Geeignete Mikrostrukturierung erlaubt die Anwendung von innovativen Fügetechniken, um beispielsweise die thermischen oder tribologischen Eigenschaften des Materials zu beeinflussen.

Die Megatrends Digitalisierung, Globalisierung, Individualisierung und Sicherheit werden zu steigenden Anforderungen bzgl. Rückverfolgbarkeit von Baugruppen, Produkten und Teilen entlang der gesamten Prozess- und Logistikkette führen. Weitere Trends wie Konnektivität, Mobilität und Neo-Ökologie werden dazu führen, dass die Oberflächenstrukturierung von Metallen, Halbleitern und Polymeren, das Abtragen von Schichten sowie Display-Produktionsverfahren wichtiger werden. Im Bereich Elektromobilität werden künftig tausende Laser zur Entlackung von Drähten für die Herstellung von Elektromotoren eingesetzt werden.

Konsequenzen für die Schweiz

Der Schweizer Markt für Photonik, der im Wesentlichen Laserstrahlquellen und -systeme sowie optische Komponenten, Beschichtungen und Sensoren umfasst, hat ein Volumen von ca. 4 Mrd. CHF. Davon entfallen ca. 400 Mio. CHF auf Laser und Lasersysteme zur Oberflächenbearbeitung bei einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 8 Prozent und einer Exportquote von über 90 Prozent. Der Anteil photonischer Komponenten in allen Produkten, welche die MEM-Industrie in der Schweiz entwickelt und produziert, wird gemäss Expertenschätzungen von heute 40 Prozent in den nächsten zehn Jahren auf über 60 Prozent ansteigen. Diese Zahlen zeigen, dass die Schweizer Industrie wesentlich zum weltweiten Photonikmarkt beiträgt. Der Anteil am Bruttoinlandsprodukt ist signifikant und wird künftig weiter steigen. Um weiterhin einen Spitzenplatz im Bereich Oberflächenbearbeitung einzunehmen, müssen sich die Schweizer Hochschulen neben der Grundlagenforschung vermehrt auf Enabler-technologien wie die Photonik konzentrieren. Fast alle der rund 20 Schweizer Hochschulinstitute der Photonik-Forschung haben sich deshalb dem *Nationalen Thematischen Netzwerk (NTN) Swisss photonics* angeschlossen. Sie unterstützen ihre Forschungsaktivitäten mit einem Bildungsangebot auf Bachelor-, Master- und Doktoratsebene. Seit vier Jahren werden auch spezialisierte Photonik-Studiengänge angeboten.

Optical Space Communication

Reinhard Czichy (Synopta)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Optical Space Communication bezeichnet die Übertragung von Daten zwischen Satelliten im Weltraum oder zur Erde mittels optischer Verbindungen im freien Raum. Dabei werden Laser im nahen infraroten Spektralbereich eingesetzt. Die Trägerfrequenz dieser Datenübertragungssysteme – und damit auch die zur Verfügung stehende Übertragungsbandbreite – ist um Grössenordnungen höher als bei Systemen mit Radiofrequenz. Diese Technologie erschliesst also völlig neue Bandbreiten-Ressourcen.

Die experimentelle Erprobung von Optical Space Communication mit hohen Datenraten (> 1 Gigabit/s) zwischen Satelliten in niedrigen Erdumlaufbahnen begann in Europa 2007. Die Europäische Raumfahrtagentur ESA nahm 2016 den ersten Satelliten mit einem optischen Terminal für operationelle Nutzung im geostationären Orbit in Betrieb. Weitere derartige Satelliten sollen ab 2019 im Rahmen des Programms *European Data Relay Satellite (EDRS)* als Relay-Stationen in Betrieb gehen und die optische Datenübertragung von Erdbeobachtungssatelliten aus ermöglichen. Aufgrund der erfolgreichen Demonstration dieser Technologie im Weltraum werden international derzeit Pläne für kommerzielle Satelliten-Konstellationen mit optischen Verbindungen entwickelt, die auf mobile Dienste mit sehr hohen Datenraten und globaler Abde-

ckung ausgelegt sind. Diese Konstellationen verfügen über optische Datenverbindungen zwischen den Satelliten sowie mit Stationen am Boden. Dank des ständig steigenden Bedarfs an Übertragungskapazität und dem Trend zu verbesserten mobilen Diensten wird sich Optical Space Communication in allen Segmenten in den nächsten Jahren rasant weiterentwickeln. Dies umfasst den Systembereich (Aufbau/Betrieb von Satellitennetzwerken), die Geräte- und Komponentenentwicklung (optische Terminals für Satelliten und Bodenstationen), aber auch die Entwicklung von Anwendungen und Dienstleistungen.

Konsequenzen für die Schweiz

Optical Space Communication bündelt eine Vielzahl komplexer Technologien, die in der Schweiz vorhanden sind. Sie stimuliert innovative Anwendungen und fördert den industriellen wie auch den Dienstleistungssektor im Bereich Telekommunikation. Die Schweizer Forschung und Industrie hat sich mit ihren relevanten Fähigkeiten von Anfang an erfolgreich bei der Entwicklung in diesem Feld beteiligt und hat damit eine gute Ausgangslage geschaffen. Zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der internationalen Konkurrenz und zur Entwicklung marktfähiger Produkte ist allerdings auch weiterhin ein starkes Engagement des Bundes notwendig, das eine langfristige strategische Planung in diesem Gebiet reflektiert.

Photonik als Enablertechnologie

René Dändliker (SATW)

Quadrant: technologischer Star



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Photonik verbindet zwei Bereiche der Physik: Optik und Elektronik. Photonik ist Basis für die Entwicklung bedeutender technischer und industrieller Anwendungen. Sie zählt laut EU-Kommission zu den sechs «Key Enabling Technologies». Photonik-Technologien sind Wegbereiter in Gebieten wie Bildverarbeitung, Displays, Lichtquellen (Laser, LED), Medizintechnik und Life Sciences, optische Komponenten und Systeme, Kommunikationstechnik, Photovoltaik, Produktionstechnik und Messtechnik, Informationstechnik sowie Sicherheits- und Verteidigungstechnik. Die Schweizer Industrie (insbesondere KMU) ist bereits in vielen dieser Arbeitsgebiete tätig. Sie weisen ein anhaltendes jährliches Wachstum von 6 bis 8 Prozent aus.

Photonische Messtechnologien erlauben berührungsfreie Prozessüberwachungen, in Echtzeit. Dies sind entscheidende Elemente für Industrie 4.0 und das Internet der Dinge. Auch bei der Erfassung und Verarbeitung von Big Data ergeben sich neue Anwendungsfelder für optische Verbindungen und Netzwerke (optische Fasern, integrierte Optik). Anwendungen wie die Erzeugung dreidimensionaler Raumdaten in Echtzeit basieren auf mehrdimensionaler Daten- und Bilderfassung mit hochauflösenden Kameras oder optischen Scannern (Lidar) und resultieren in extrem grossen Datenmengen, die mit intelligenten Algorithmen in Echtzeit verarbeitet werden müssen. Zudem bieten neue Darstellungsmethoden wie Virtual Reality und Augmented Reality interessante Möglichkeiten für die Schweizer Photonik-Industrie mit ihrem weltweit einzigartigen Wissen in der Herstellung von miniaturisierten optischen Komponenten und Systemen. Photonik hat heute dieselbe Bedeutung wie die Elektronik in der Mitte des 20. Jahrhunderts.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Schweizer Industrie ist bereits mit vielen Produkten auf dem Markt, die Photonik-Technologien verwenden. Industrie und Wissenschaft hierzulande verfügen über eine gute Ausgangslage. Allerdings ist die internationale Konkurrenz gross und die Innovationsförderung photonischer Technologien wird im Ausland seit Jahren auf sehr hohem Niveau mit klar sichtbarer Wirkung betrieben (vor allem in Deutschland, aber auch in China, Korea und den USA). Entsprechende Förderprogramme fehlen in der Schweiz. Allerdings sind die hiesigen Hochschulen auf dem Gebiet sehr aktiv: Mit Grundlagenforschung an Universitäten, ETH Zürich und EPFL, mit Projekten im Rahmen des Schweizerischer Nationalfonds SNF und insbesondere der Nationalen Forschungsschwerpunkte (NFS) sowie mit angewandter und industrieorientierter Forschung an den Fachhochschulen, meist mit kurzfristigen Innosuisse-Projekten und Industriemandaten. KMU sind als wesentliche Stütze der Schweizer Industrie zwar erfolgreiche Innovatoren, wegen der heute fehlenden finanziellen Förderung der photonischen Technologien geraten sie gegenüber ausländischen Wettbewerbern aber zunehmend ins Hintertreffen.

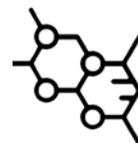


Life Sciences

Biokatalyse und Biosynthese

Rebecca Buller (ZHAW)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Der öffentliche Druck auf die chemische Industrie wird sich in Zukunft deutlich erhöhen: Es gilt nicht nur ökonomische Zielsetzungen in der langfristigen Unternehmensplanung zu berücksichtigen, sondern auch gesellschaftliche und ökologische Vorgaben in der Produktion zu erfüllen. Der wissenschaftliche und technologische Fortschritt der letzten Dekade hat die Biokatalyse und Biosynthese, also die Anwendung von Enzymen und Mikroorganismen in der synthetischen Chemie, als praktikable und umweltfreundliche Ergänzung zur traditionellen organischen Chemie etabliert. Enzyme werden zum Beispiel zur Herstellung von chiralen, also nicht mit ihrem Spiegelbild zur Deckung zu bringenden Molekülen verwendet und, wo immer möglich, zur Vermeidung des Einsatzes von Schutzgruppen. Die Anwendung von Biokatalysatoren erlaubt es so, Prozessrouten zu verkürzen und auf diese Weise Kosten zu senken. Die Verwendung von günstigen Rohstoffen oder (landwirtschaftlichen) Abfallprodukten in biosynthetischen Prozessen ist eine zusätzliche Möglichkeit der Wertschöpfung. Biokatalytische Prozessschritte werden in der Herstellung pharmazeutischer Blockbuster-Moleküle angewendet und biosynthetische Ansätze werden genutzt, um Feinchemikalien wie Aromen, Duftstoffe und Nutraceuticals, aber auch Massenchemikalien aus nachhaltigen Rohstoffen herzustellen.

Ein zukünftiges Anwendungsfeld ist die Entwicklung neuartiger Chemikalien. Die Verbesserung des technologischen Reifegrads einer erweiterten Zahl von Enzymfamilien wird es der chemischen Industrie erlauben, zur organischen Chemie komplementäre Reaktionen durchzuführen und so die Palette der produzierbaren Moleküle zu ergänzen. Neben der industriellen Etablierung wenig erforschter Enzymfamilien können zu diesem Zweck beispielsweise Enzyme zum Einsatz kommen, die mittels computergestütztem Design hergestellt werden, oder solche, deren Reaktionsspektrum durch die Einbindung künstlicher Kofaktoren erweitert worden sind.

Biokatalyse dürfte zukünftig auch in der angestrebten Unabhängigkeit von fossilen Energiestoffen eine bedeutende Rolle spielen. Die Besorgnis über den Klimawandel sowie die Volatilität der Kosten fossiler Energie sind zu globalen Antriebskräften geworden, um Biomasse als Ressource für die Produktion zu nutzen. Eine effiziente Weiterentwicklung der biobasierten Wirtschaft beruht jedoch weitgehend auf der Etablierung eines umfassenden biokatalytischen und biosynthetischen Werkzeugkastens, der es erlaubt, verfügbare Biomasse in eine Vielzahl benötigter Produkte umzuwandeln.

Konsequenzen für die Schweiz

In der Schweiz widmen grosse Pharmaunternehmen, Feinchemieunternehmen und die Geruchs- und Geschmacksstoffindustrie bedeutende Teile ihrer enzymbasierten Forschung der Prozessentwicklung. Auch Auftragsfertigungsunternehmen wie *CordenPharma Schweiz*, *RohnerChem* und *Siegfried* sind immer mehr daran interessiert, ihre Expertise in chemischer Synthese mit biokatalytischen Kompetenzen zu erweitern, da eine Know-how-Entwicklung auf dem Gebiet der Biokatalyse als entscheidender Faktor für zukünftige Kundenakquirierung gilt. Es profitieren jedoch vor allem Grossunternehmen aktiv von dem, was die Biokatalyse zu bieten hat. KMU nutzen das Potenzial dieses aufstrebenden

Feldes noch nicht vollständig. Hauptgründe für diesen Unterschied sind vor allem weiche Faktoren wie die limitierte Verfügbarkeit von geschultem Personal und die begrenzte F&E-Kapazität in kleineren Unternehmen. Um die Position der Schweiz in diesem Hightech-Sektor zu stärken, ist daher der Dialog zwischen Wissenschaft und Wirtschaft entscheidend. Das vom Bund finanzierte Netzwerkprogramm *Innovation in Biocatalysis*, Teil der projektgebundenen Beiträge 2017–2020, fördert diesen Austausch und trägt zur Bildung einer dynamischen Biokatalyse-Community in der Schweiz bei. Weitere solche Programme werden benötigt, damit die Biokatalyse und die Biosynthese ihr volles industrielles Potenzial entfalten können.

Kontinuierliche Fertigungsverfahren

Djordje Filipovic (Novartis)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Pharmazeutische Produkte werden traditionellerweise im Chargen-Modus produziert, was auch heute noch die dominierende Produktionsmethode darstellt: Definierte Materialien werden für eine definierte Zeit «bearbeitet» und dann als Produktionseinheit (Charge) freigegeben. Üblicherweise kommen mehrere separate, aufeinanderfolgende Prozesse zur Anwendung. Deren Produkte werden off-line analysiert und für den nachfolgenden Schritt freigegeben. In letzter Zeit hat «Continuous Manufacturing» vermehrt Bedeutung erlangt. Die Materialien durchlaufen alle Prozessstufen in einem Fluss, wobei kontinuierlich Ausgangs- und Zusatzstoffe zugegeben sowie die Endprodukte entnommen und freigegeben werden. Die Freigabe erfolgt auf Grund von On-Line- und In-Line-Prozessanalytik und Kontrollalgorithmen in Echtzeit.

Der kontinuierliche Ansatz bietet im Vergleich zum Chargen-Verfahren mehrere Vorteile: sicherere und kostengünstigere Produktion auf hochspezifischen und stark individualisierten Systemen, kürzere Produkteinführungszeit, kleinere und somit umweltfreundlichere Produktionsanlagen, geringere Anforderungen an Skalierung und Wartung sowie die Möglichkeit der «Autooptimierung». Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist die integrierte Qualitätskontrolle in Echtzeit, eine Grundvoraussetzung für Continuous Manufacturing. Entsprechende Produktionsanlagen stellen flexible Plattformen dar: Neue Prozesse können auf vorhandenen Continuous-Manufacturing-Linien schneller entwickelt werden, da sich dieselben Linien für Prozessentwicklung und Produktion verwenden lassen. Somit werden Kosten und Zeitbedarf für Skalierung massiv reduziert. Darüber hinaus vergrössert sich der chemische Lösungsraum: Weil die Reaktionsvolumina kleiner sind, können zum Beispiel «riskantere» exotherme Reaktionsschritte angewendet oder auch höhere Drucke appli-

ziert werden, was wiederum die Synthese neuartiger Moleküle ermöglicht. Ebenso kann das Produktionsvolumen je nach Bedarf stufenlos variiert werden. Darüber hinaus sind diese Plattformen besser geeignet für die Implementierung massgeschneiderter medikamentöser Patientelösungen.

Eine Haupthürde für die Einführung von Continuous-Manufacturing-Konzepten war das Fehlen der regulatorischen Rahmenkonzepte für dieses neue Produktionsparadigma. Unter der Führung der US-amerikanischen Arzneimittelbehörde *FDA* wurden in den letzten Jahren viele Ungewissheiten ausgeräumt, was zu einer starken Unterstützung für die Erforschung dieser Möglichkeiten führte. Darüber hinaus haben auch viele Ausrüstungshersteller grosse Schritte in Richtung Entwicklung von Continuous-Manufacturing-Konzepten unternommen. Zusätzlich werden nun Lösungen zur Prozessüberwachung und -analyse sowie integrierte Plattformen für Prozesskontrolle von mehreren Unternehmen angeboten. Kürzlich sind auch neue Hersteller in den Markt eingetreten, was zu kompetitiveren und besseren Lösungen für die Industrie führt.

Grosse Pharmaunternehmen sind wegweisend in der Umsetzung dieses neuen Paradigmas. Aber auch KMU haben begonnen, die Möglichkeiten und Vorteile von Continuous Manufacturing zu evaluieren. In der Zwischenzeit haben auch erste Produkte, die für Continuous Manufacturing entwickelt worden sind, regulatorische Zulassungen erhalten, z.B. Orkambi von *Vertex Pharmaceuticals*. Kürzlich wurde auch erstmals ein Wechsel von der Charge- zur Continuous-Methode zugelassen. Es kommt auch vermehrt zu engen Kollaborationen zwischen akademischen Institutionen und der Industrie, wie im *Novartis-MIT Center for Continuous Manufacturing*.

Konsequenzen für die Schweiz

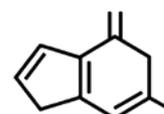
Die Schweiz ist grundsätzlich gut aufgestellt, obwohl die Anwendung primär auf grosse Produzenten beschränkt ist. Hauptaspekte, die es zu berücksichtigen gilt, sind Konzeptentwicklung, Ausrüstung und Automation. Die Zusammenarbeit mit Hochschulen bezüglich Konzeptentwicklung ist verbesserungsfähig und scheitert oft an Fragen des geistigen Eigentums. Gelegenheiten zur Zusammenarbeit gibt es auch mit Nischenanbietern bei der

Entwicklung und Anwendung technischer Ausrüstung mit anschliessender Vermarktung durch den Industriepartner. Eine Erweiterung der Aktivitäten dürfte für die Schweiz von Bedeutung sein, weil der beginnende Paradigmenwechsel nur durch weitere Innovationsschritte beschleunigt werden kann. Dies bietet auch Gelegenheiten für kleinere akademische und privatwirtschaftliche Akteure.

Synthetische Biologie

Sven Panke (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Unter «synthetischer Biologie» werden üblicherweise Aktivitäten zusammengefasst, die aus der Biotechnologie eine «echte» Ingenieursdisziplin machen wollen. Es geht also um Verfahren, welche die Anwendung biologischer Systeme wie Zellen oder Gewebe auf Probleme der Chemie, Diagnostik oder Medizin nach klassischen ingenieurwissenschaftlichen Methoden ermöglichen. Dahinter steckt die Annahme, dass so der Bau von Prototypzellen erheblich beschleunigt werden kann, dass komplexere neue Eigenschaften in Zellen eingebaut und die Erfolgswahrscheinlichkeit solcher Aktivitäten stark erhöht werden können. Solche Methoden sind zum Beispiel die mathematischen Simulationen biologischer Prototypen vor deren Konstruktion, die Einführung von Standards bei der Verwendung biologischer Bauteile und Messmethoden oder die Trennung von Design und Ausführung. Der letztere Punkt bezieht sich insbesondere auf die sich rasch entwickelnde Möglichkeit, Erbmoleküle in bisher ungeahnter Länge (bis hin zu ganzen Chromosomen in einzelnen Organismen) chemisch synthetisieren zu lassen. Dadurch verwenden Bioingenieurinnen und -ingenieure mehr und mehr Zeit auf das Planen von Prototypen und lassen die aufwändige biologische Programmierung anderswo erledigen. In der Tat lässt sich beobachten, dass die biologischen Eigenschaften, die von Bioingenieurinnen und -ingenieuren kontrolliert, modifiziert oder gar völlig neu konstruiert werden, immer komplexer werden. Somit geraten permanent neue Anwendungsmöglichkeiten für synthetische Biologie in den Fokus, besonders in den Bereichen der chemischen Produktion, Diagnostik, Medizin und Pharmazie. Die Anwendungen sind vielfältig:

Konstruktion von Genschaltkreisen, stark verbesserte Diagnostik und Therapie von Krankheiten wie Gicht, Diabetes und sogar Krebs, nachhaltigere Produktion von immer komplexeren Chemikalien oder gar völlig neuartige Überlegungen in Bereichen wie biologisch produzierte Hochleistungsmaterialien.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Schweiz spielt in der jungen Disziplin der synthetischen Biologie eine Schlüsselrolle. Insbesondere die ETH Zürich hat mit dem Department für Biosysteme in Basel einen Hotspot für diese neue Disziplin aufgebaut, der von der Vernetzung mit der starken Pharmaindustrie profitiert und bei medizinischen Anwendungen und Simulationen weltweit führend ist. Aber auch andere Institutionen spielen eine prominente Rolle, basierend auf der Tradition einer exzellenten Schweizer Biotechnologie. Verschiedene Start-ups sind aus der ETH und anderen Institutionen hervorgegangen. Auch wenn die Schweiz im Bereich Ausbildung und Umsetzung sehr gut aufgestellt ist, muss sie der Weiterentwicklung Sorge tragen. Die Anforderungen an die Infrastruktur entwickeln sich rasant und es ist zu erwarten, dass der Wirtschaftsraum Schweiz schnell zu klein sein wird, um eine vollständige Infrastruktur zu gewährleisten. In Europa wird die synthetische Biologie nur in Grossbritannien mit ähnlicher Energie wie in der Schweiz vorangetrieben. Die Nachbarländer der Schweiz sind erheblich weniger weit fortgeschritten. Neue Entwicklungen in der Synthese von grossen Erbmolekülen, langfristig wahrscheinlich zentral für nachhaltigen Erfolg in der synthetischen Biologie, sind fast ausschliesslich auf die USA beschränkt.

Operationsroboter

Bradley Nelson (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Die Medizinrobotik ist ein gutes Beispiel für die zunehmende Einführung immer fortschrittlicherer Technologien im Gesundheitswesen. Menschliche Fähigkeiten und computergestützte Technologien werden kombiniert, um die Qualität medizinischer Behandlungen zu verbessern. Künstliche Intelligenz wird in die Diagnose einbezogen, klinische Ergebnisse werden im Detail analysiert und intelligente Medizinprodukte werden eingesetzt, um therapeutische Verbesserungen zu erzielen. Der Begriff Medizinrobotik beinhaltet nicht nur chirurgische Eingriffe, sondern umfasst auch Therapien, Abgabe von Medikamenten und Physiotherapie. Der bemerkenswerteste kommerzielle Erfolg in diesem Bereich ist das Da-Vinci-Operationssystem von *Intuitive Surgical*. Seit 2000 wurden damit mehr als drei Millionen chirurgische Eingriffe durchgeführt und die Marktkapitalisierung des Unternehmens erreicht inzwischen rund 60 Mrd. USD. Die Medizinroboterindustrie insgesamt ist für ihre hohen Gewinnmargen bekannt. Allerdings gilt es zu bedenken, dass verbesserte klinische Ergebnisse nicht in randomisierten kontrollierten Studien nachgewiesen wurden. Das hat sich bisher jedoch nicht negativ ausgewirkt. Verschiedene wichtige Gesundheitsakteure sind jüngst in den Markt eingetreten, darunter *Johnson & Johnson* und *Medtronic*. Neue, komplexe Technologien, die direkt mit der physischen Welt interagieren, benötigen Jahre oder sogar Jahrzehnte, um zu reifen. Sobald sie etabliert sind, können sie jedoch ein langfristiger wirtschaftlicher Treiber von grosser Bedeutung sein. Ihr breiter wirtschaftlicher Nutzen besteht darin, dass sie zur Entstehung einer Reihe von hochpräzisen Industrien als Schlüssellieferanten führen.

Konsequenzen für die Schweiz

Wie überall auf der Welt wird auch in der Schweiz eine bessere medizinische Versorgung zu niedrigeren Kosten gefordert. Diese widersprüchlichen Anforderungen manifestieren sich derzeit unter anderem in sinkenden Kostenrückstellungen für häufig durchgeführte Behandlungen, was einer der hauptsächlichen Beweggründe für Roboterlösungen ist. So hat sich beispielsweise die Nachfrage nach Injektion in den Glaskörper zur Behandlung von Netzhauterkrankungen in den letzten zehn Jahren stark erhöht, während die Kostenrückstattung von 630 CHF pro Injektion im Jahr 2017 auf 150 CHF im Jahr 2018 sank. Die Augenchirurgen sind nicht bereit, die Behandlungsqualität zu riskieren, und die Krankenhäuser sind weniger motiviert, das Verfahren durchzuführen, obwohl es das Fortschreiten der Erblindung für 10 Prozent der Bevölkerung stoppt. Die naheliegende Lösung ist der Einsatz von robotisierten Verfahren, die es hochqualifizierten Ärztinnen und Ärzten ermöglichen, mehr Eingriffe mit der gewohnten Qualität, aber zu geringeren Kosten durchzuführen. Ähnliches gilt auch für eine Reihe anderer medizinischer Verfahren, z.B. Echokardiographie und Katheterablation. Allerdings sind die Hürden für die Robotisierung dieser Verfahren sowohl aus forschungs- als auch industrieller Sicht hoch.

Die Schweiz hat die Medizinrobotik nur zögerlich als wichtigen Treiber identifiziert trotz klarer Trends bei der Anzahl roboterunterstützter Eingriffe, der hohen Rentabilität dieser Branche und der Aussicht auf einen langfristigen wirtschaftlichen Nutzen. Durch verstärkte Investitionen in die Medizinrobotik sowohl aus staatlicher Forschung als auch aus der Industrie kann die Schweiz sowohl medizinisch als auch wirtschaftlich profitieren. Die Alternative wäre die zunehmende Auslagerung unserer Gesundheitsversorgung ins Silicon Valley und nach Asien.

Personalisierte Ernährung

Erich Windhab (ETH Zürich)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Personalisierte Ernährung soll den individuellen Bedürfnissen der Konsumentinnen und Konsumenten hinsichtlich Präferenz, Akzeptanz sowie ernährungs- und gesundheitsrelevanten Aspekten gerecht werden. Individuelle gesundheitsrelevante Bedürfnisse können auch immer detaillierter ermittelt werden. Dafür sorgen Fortschritte bei der individuellen Entschlüsselung des Erbguts mit Zuordnung bestimmter Unverträglichkeiten oder Risiken, persönliche Kontrollmöglichkeiten mittels heimdiagnostischer Hilfsmittel (z.B. mit «Wearables» für physiologische Messungen), die zu erwartende Entschlüsselung der Zusammensetzung der Darmflora sowie Erkenntnisse zur Signalleitung entlang der Darm-Hirn-Achse. Allerdings wird die industrielle Fertigung dieser Differenzierung kaum entsprechen können. Damit wird eine weitergehende Personalisierung in der Lebensmittelwertschöpfungskette konsequenterweise in unmittelbarer Nähe zur Nahrungszubereitung und -aufnahme (Küchen, Catering, Restaurants) stattfinden. Folglich geht der technologische Trend in Richtung Prozess- und Geräteentwicklungen für Küchen unter Betonung von Möglichkeiten zur «Co-Kreation»: Die industrielle Produktion bereitet modulare Basis-komponenten vor, welche die Konsumentinnen und Konsumenten durch Co-Kreation vor dem Verzehr mit hoher Convenience individuell aufbereiten bzw. kombinieren. Das führt zu neuen Anforderungen an aufeinander abgestimmte Technologien der industriellen Fertigung und Küchentechnik («Kitchen of the future») sowie an Verpackungs-, Lagerungs- und Retail-Formate.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Schweiz hat eine breite Firmenrepräsentanz entlang der Lebensmittelwertschöpfungskette hinsichtlich industrieller Fertigungstechnologien. Hinzu kommen Konsumentinnen und Konsumenten mit ausgeprägter Präferenz für Qualität und Individualität und der Bereitschaft, sich diese etwas kosten zu lassen. Damit sind die Rahmenbedingungen für eine industrielle Vorreiterrolle in den kommenden rund fünf Jahren sehr gut.

Point-of-care-Diagnostik

Daniel Gygax (FHNW)

Quadrant: technologische Nische



Stand der Dinge international und in der Schweiz

In-vitro-Diagnostika sind Medizinprodukte, die zur Diagnose von Krankheiten und zur Überwachung therapeutischer Massnahmen in Zentrallabors von Spitälern oder spezialisierten privatrechtlichen Labors eingesetzt werden. Gegenstand dieser Analysen sind Biomoleküle wie Eiweisse und Fette, menschliche Zellen und Mikroorganismen. Die zu analysierenden Proben stammen aus Blut, Speichel, Urin oder anderem biologischen Material. Diese Art der Erhebung von diagnostischen Daten ist hochprofessionell organisiert und liefert Daten von höchster Qualität. Nachteilig ist, dass die Patientinnen und Patienten zur Probeentnahme im Spital oder beim Hausarzt sein müssen.

Die Point-of-care-Diagnostik (POC-Diagnostik) ist ein Teilgebiet der In-vitro-Diagnostik. Sie soll die Durchführung eines Tests näher an die Patientinnen und Patienten bringen. Die bekannteste Anwendung ist die Überwachung und Behandlung von Blutzucker bei an Diabetes erkrankten Personen. Selbstkontrolle oder Selbsttests setzen ein einfaches und robustes Testsystem voraus, das in Zukunft mit mobilen Gesundheitsdiensten (mHealth, Telemedizin) verknüpft wird. Der grosse Vorteil ist die Verkürzung der Zeit zwischen Testdurchführung und therapeutischen Massnahmen, da die Messungen in Zukunft in Apotheken, durch die Spitex und in Alters- und Pflegeheimen möglich sind. Voraussetzung ist die Einbindung in ein übergeordnetes mHealth-Konzept. Aus technischer Sicht besteht ein Messgerät im Wesentlichen aus drei unterschiedlichen Modulen: Biosensor, Signalwandler und Signalprozessor. Ziel ist die Darstellung der Daten in einer benutzerfreundlichen Form. Heutige Geräte lassen bereits zu, dass die Daten tabellarisch oder grafisch über die Zeit dargestellt werden. Abweichungen von den Sollwerten sind einfach zu identifizieren. Solche aufbereiteten Daten können zur Interpretation direkt an den Hausarzt, die

Klinik, *eedoctors* oder andere telemedizinische Anbieter wie *Medgate* weitergeleitet werden. Neben diesen rein technischen Aspekten gilt es bei der Entwicklung von POC-Diagnostik Folgendes zu berücksichtigen: Erkennung von genetisch bedingten Krankheitsanfälligkeiten, Diagnose und Überwachung von Krankheiten und Krankheitsverläufen, patientengerechte Handhabbarkeit der Geräte sowie die Kosten.

Konsequenzen für die Schweiz

Rund 430'000 Personen arbeiteten 2016 im Gesundheitswesen oder in der Pharmaindustrie, womit jeder zwölfte Beschäftigte in diesen Branchen angestellt war. Die pharmazeutisch-diagnostische Industrie gehört zu den Branchen mit hohem Innovationsgrad und hoher Wertschöpfung. Der Exportanteil der Produkte beträgt über 40 Prozent. Neben *Roche* als globalem Anbieter von Diagnostika gibt es in der Schweiz eine Reihe von KMU, die Geräte, IT-Lösungen, labormedizinische Dienstleistungen oder Reagenzien anbieten. Im Zuge des digitalen Wandels eröffnet sich für die POC-Diagnostik die Chance, durch die Verknüpfung mit mHealth eine ortsunabhängige Überwachung des Gesundheitszustands von Patientinnen und Patienten zu gewährleisten. Dadurch steigt deren Autonomie und Verantwortung sowie die Effektivität und Produktivität der Behandlung. Für die Schweiz ist die Herstellung von integrierten Produkten basierend auf interdisziplinären Kompetenzen (Gerätebau, Informationstechnologie, Life Sciences, angewandte Psychologie, Schulung, Vermarktung und Vertrieb) eine Chance, um im globalen Wettbewerb mit neuartigen Behandlungsmodalitäten bestehen zu können.

3D-Biodruck: Organe aus dem Drucker

Michael Raghunath (ZHAW)

Quadrant: technologischer Hoffnungsträger



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Im Bereich Tissue Engineering hat sich 3D-Bioprinting – die additive Fertigung von Geweben und Organen – als vielversprechende Zukunftstechnologie etabliert. 3D-Bioprinting unterscheidet sich vom einfachen Drucken von Biomaterialien, denn hier werden lebende Zellen entweder gezielt auf gedruckten Strukturen abgesetzt oder in einem Biomaterial, der so genannten Biotinte, auf eine Unterlage in räumlicher Anordnung gedruckt. Auf diese Weise können künstliche Gewebe schichtweise aufgebaut werden; sie sind daher komplexer als solche, die mit den Standardverfahren – ungerichtetes Aufsäen von Zellen auf ein Trägermaterial – hergestellt werden. Komplexere Gewebemodelle bilden die physiologische Aktivität menschlichen Gewebes besser ab. Dies ist für die Pharmaindustrie zunehmend wichtig, da sie so prädiktive In-vitro-Tests verbessern und Tierversuche reduzieren kann. In der EU sind Tierversuche zum Testen von Kosmetika und deren Inhaltsstoffe mittlerweile verboten. Hier sind biologisch relevante, künstliche Haut- und Augengewebe von grosser Bedeutung. In der regenerativen Medizin erlaubt 3D-Bioprinting, vaskuläre Strukturen in ein Gewebekonstrukt zu integrieren, was sonst unmöglich ist.

Konsequenzen für die Schweiz

Die Schweiz ist in allen Bereichen, die von der 3D-Bioprinting-Technologie profitieren können, stark aufgestellt, nämlich in der Pharma- und Kosmetikindustrie sowie der klinischen Medizin. Darüber hinaus hat die Schweiz zahlreiche Firmen, die sich mit für 3D-Bioprinting relevanten Aspekten beschäftigen: Automatisierung (Elektronik, Steuerungssoftware), Maschinenteile (Druckdüsen, Ventile, Roboterarme) und Zellkultur (Medien, Plastik). Die Schweiz kann international gut mithalten, wenn sie diese Entwicklung durch die Integration der Technologie in bestehende industrielle und medizinische Prozesse sowie eine Vernetzung relevanter Industrie- und Forschungspartner fördert. Asiatische Länder wie Korea und Singapur haben bereits nationale Strategien auf diesem Gebiet entwickelt und in den USA verfolgt *BioFabUSA* als öffentlich-private Partnerschaft seit 2016 mit einem Gesamtfördervolumen von 300 Mio. USD das Ziel, Projekte im Bereich des bioadditiven Manufacturing zu fördern. Obwohl die Schweiz mit *regenHU* einen Weltmarktführer im Bioprinting-Bereich hat, gibt es derzeit keine vergleichbare nationale Strategie, die auf globale Technologieführerschaft zielt. Gegenwärtige Fördergefässe für «Additive Manufacturing» klammern den Bereich Biofabrikation/Bioadditive Manufacturing mit lebenden Zellen aus. Es braucht nationale Forschungsprogramme und -initiativen auf Ebene der stark anwendungsorientierten Grundlagenforschung in der Schweiz, um international kompetitiv zu bleiben.

Massenkultivierung von Stammzellen

Gerrit Hagens (HES-SO Valais-Wallis)

Quadrant: technologische Nische



Stand der Dinge international und in der Schweiz

Mit den Fortschritten in der Organ- und Gewebetransplantation sind der Organmangel und eine steigende Nachfrage nach Spenderinnen und Spendern wichtige Hindernisse geworden – und bis heute geblieben. Die Wissenschaft hat deshalb mit der Entwicklung von Alternativen begonnen und Therapien auf der Grundlage menschlicher Stammzellen (human stem cells, HSCs) vorgeschlagen. Heute ist allgemein anerkannt, dass der Einsatz von HSCs bei biotechnologischen, pharmazeutischen sowie medizinischen Anwendungen wie Zelltherapie, Tissue Engineering oder regenerativer Medizin vielversprechend ist. HSCs können sich selbst erneuern und in spezialisierte Zellen differenzieren. Sie werden durch ihren Ursprung und ihren Grad der Spezialisierungsfähigkeit definiert: Pluripotente Stammzellen (PSCs) sind zur unbegrenzten Selbsterneuerung und Differenzierung in einen der über 200 Zelltypen des Körpers fähig. Es gibt zwei Quellen von PSCs: embryonale Stammzellen (ESCs) und induzierte pluripotente Stammzellen (iPSCs). Daneben gibt es auch multipotente Stammzellen, die aus Quellen wie mesenchymalen Stammzellen isoliert wurden und sich im Gegensatz zu PSCs nur in eine begrenzte Anzahl Zelltypen differenzieren lassen. Angesichts der Vielzahl von F&E- und Industrieanwendungen ist es selbstverständlich, dass die Nachfrage nach Stammzellen ständig steigt. Es werden vielfältige Anstrengungen unternommen, um Stammzellen in grossem Massstab zu kultivieren sowie effizient und homogen in die gewünschten Zelltypen zu differenzieren. Die meisten Labors vermehren Stammzellen auf ebenen Oberflächen in einer zweidimensionalen Kultur, einer so genannten Monoschicht. Die Produktion grosser Zellzahlen erfolgt durch Multiplikation der Kulturschalen: eine sehr aufwändige, teure und extrem arbeitsintensive Methode.

Konsequenzen für die Schweiz

Die grosse Herausforderung für Hersteller von Stammzellen besteht darin, gesetzeskonforme und kostengünstige Grossproduktionsprozesse zu entwickeln. Solche Prozesse erfordern automatisierte, kontrollierte und skalierbare Produktionssysteme. Der aktuelle Trend geht weg von zweidimensionalen Kultursystemen hin zu Systemen mit Suspensionskulturen (3D-Kulturen), die in Einweg-Bioreaktoren unter kontrollierten Bedingungen wachsen. Solche Systeme sind die Grundvoraussetzung für bezahlbare Stammzellen-basierte Therapien und erfordern die Zusammenarbeit zwischen biomedizinischen Forscherinnen und Forschern sowie Ingenieurinnen und Ingenieuren. Der globale Markt für Stammzellen wächst und wird bis 2022 schätzungsweise 5 bis 10 Milliarden USD erreichen. Bezüglich der grossangelegten Stammzellen-Produktion stehen wir aber erst am Anfang. In der Schweiz werden an öffentlichen und privaten Forschungsinstitutionen Forscherinnen und Forscher sowie Ingenieurinnen und Ingenieure ausgebildet, die an vorderster Front stehen. Die Schweiz ist somit gut positioniert, um bei der Entwicklung der gewünschten Produktionsprozesse in Bioreaktoren eine wichtige Rolle zu spielen.

Abkürzungen

BFH Berner Fachhochschule

CSEM Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique

FHNW Fachhochschule Nordwestschweiz

HES-SO Haute Ecole Spécialisée de Suisse occidentale

PSI Paul Scherrer Institut

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften



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