
Technology Outlook 2017

Deutsche Version

Impressum

Projektleitung

René Dändliker | Claudia Schärer

Autoren

Konstantinos Boulouchos | Bernhard Braunecker | Mathias Bucher | Ulrich Claessen | Achim Ecker | Xaver Edelmann | Elgar Fleisch | Robert Frigg | Johannes Gassner | Anton Gunzinger | Daniel Gyax | Bernhard Hämmerli | Christoph Harder | Rita Hofmann | Pavel Hora | Rolf Hügli | Matthias Kaiserswerth | Wolfgang Kröger | Urs Mäder | Peter Seitz | Roland Siegwart | Adriaan Spierings | Erich Windhab

Redaktion

Christine D'Anna-Huber | Beatrice Huber

Review

Urs von Stockar | Andreas Zuberbühler

Bilder

Fotolia

April 2017

Definitionen und Begriffserklärungen

Sensorik

Sensorik befasst sich mit der Messung von Veränderungen in umweltbezogenen, biologischen und technischen Systemen. Sensoren sind Messelemente, die spezifisch auf einen physikalischen oder chemischen Reiz reagieren und diesen in ein entsprechendes – meist elektrisches oder optisches – Signal umwandeln.

Aktorik

Die Aktorik (auch Aktuatorik) befasst sich mit der Umwandlung von Steuersignalen in physikalische Grössen wie mechanische Bewegung, Verformung, Kraft, Druck oder Temperatur. Die Aktorik spielt eine grosse Rolle in vielen technischen Disziplinen wie der Antriebstechnik, der Regelungstechnik, der Automatisierungstechnik, der Mechatronik und vielen Fertigungstechnologien.

Industrie 4.0

Industrie 4.0 oder die vierte industrielle Revolution bezeichnet die Verzahnung der industriellen Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik. Zentral ist die Anwendung der Internettechnologien zur Kommunikation zwischen Menschen, Maschinen und Produkten. Viel zitiertes Beispiel ist die Produktionsmaschine, die mit Sensoren rechtzeitig erkennt, dass ein Werkzeug ausgewechselt werden muss, den Bestand im Lager abfragt und das benötigte Ersatzteil bei Bedarf selbstständig beim Lieferanten bestellt.

Künstliche Intelligenz

Mit Künstlicher Intelligenz wird versucht, Computer mit einem ähnlichen Wahrnehmungs- und Problemlösungsverhalten auszustatten wie man es von der menschlichen Intelligenz kennt: Wir Menschen sind kreativ, intuitiv, instinktiv und lernen aus Erfahrung und Fehlern. Dank Künstlicher Intelligenz kann ein Computer auch die Ursache eines Problems «erkennen». Er kann seine bisherigen Erfahrungen analysieren, mehrere mögliche Lösungen in Betracht ziehen und auf Grund seiner Erfahrungen die geeignetste auswählen und daraus lernen. So entsteht eine Generation von Maschinen, die komplexe kognitive Aufgaben lösen können: Sie lesen Texte, verstehen Sprache, analysieren ihre Umgebung, interpretieren Bilder, verstehen Zusammenhänge und ziehen daraus selbstständig Schlüsse.

Cloud

Cloud Computing erlaubt es, bei Bedarf jederzeit und überall bequem über das Internet auf einen geteilten Pool von konfigurierbaren Rechnerressourcen (zum Beispiel Netze, Server, Speichersysteme, Anwendungen und Dienste) zuzugreifen, die schnell, mit minimalem Managementaufwand und geringer Serviceanbieter-Interaktion zur Verfügung gestellt werden.

Additive Fertigung

Additive Fertigungsverfahren bauen anhand eines 3D-Modells Bauteile schichtweise aus einem formlosen Stoff auf. Durch die virtuelle Zerlegung eines dreidimensionalen Bauteils in viele zweidimensionale «Scheiben» hat die Komplexität des Bauteils nur einen sehr geringen Einfluss auf die Herstellbarkeit und die Fertigungskosten. Je nach Verfahren eignen sich additive Fertigungstechnologien für Anschauungsobjekte, Funktionsprototypen oder Bauteile in Serienanwendung. Die Vorteile liegen in der grossen Gestaltungsfreiheit und in der Möglichkeit, individualisierte Produkte herzustellen.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
Executive Summary	4
Einleitung	7
Die digitale Welt	9
Die vierte industrielle Revolution	9
Künstliche Intelligenz	14
Robotik	17
Energie- und Mobilitätssysteme für die Zukunft	20
Blockchain und Bitcoins	21
Fertigungsverfahren	23
Neuartige Technologien	23
Additive Fertigung	24
Prozessoptimierung	25
Weitere Technologien	27
Photonik und Optik	27
Biotechnologie	27
Lebensmitteltechnologie	28
Medizintechnik	29
Umweltverträgliche Verpackungen	31
Wirtschaft und Gesellschaft im Umbruch	33
Referenzen	34
Definitionen und Begriffserklärungen	Klappen

Vorwort

Vor ziemlich genau zwei Jahren haben wir den ersten SATW Technology Outlook herausgegeben. Das war ein Experiment – es kam gut an, und wir waren mit dem Ergebnis zufrieden. Aber, wie jeder Autor aus Erfahrung weiss, wenn man dann ein Jahr später das Produkt in die Hand nimmt, fallen einem sofort Schwächen und Auslassungen auf. Dazu kommt die Einsicht, ein Blick in die nähere technische und wissenschaftliche Zukunft sei definitionsgemäss kurzlebig. Es wird dann leicht, sich selbst und andere zu überzeugen, eine Neuauflage zu beginnen. Das Redaktionsteam für den Technology Outlook hat seine Netze feinmaschiger gemacht und noch weiter ausgeworfen als beim ersten Mal, und Sie haben nun das Produkt in Händen, den SATW Technology Outlook 2017.

Auffallend an dem neuen Technology Outlook ist die starke Präsenz der «Digitalen Welt», die der immer engeren Vernetzung und Verquickung von informatischer und physischer Realität, von virtueller und realer Welt entspringt. Es ist offensichtlich, wie schnell diese Prozesse ablaufen und welche Dominanz die Digitale Welt in unserem täglichen Leben, bei Arbeit und im Privaten errungen hat. Das Internet der Dinge, Cyber-Kriminalität, künstliche Intelligenz, Robotik und Blockchain-Technologie sind alle schon in Anfängen präsent, Nutzen und mögliche Schäden aber noch kaum bewusst. Es ist leicht zu verstehen, dass diese Situation nicht nur Begeisterung, sondern auch (begründete) Ängste in der Bevölkerung auslöst.

Ähnlich hoch an Bedeutung sind Fertigungsverfahren. Die Schweiz hat ihre gute wirtschaftliche Position zu einem grossen Teil der Herstellung von Teilen bester Qualität zu vernünftigen Preisen zu verdanken. Die MEM-Industrie, die mit Abstand grösste industrielle Arbeitgeberin, hat den Frankenschock vor zwei Jahren mehrheitlich verkraften können. Aber die Notwendigkeit, der sich rasch ändernden industriellen Praxis technisch die Stirn bieten zu müssen, ist offensichtlich und verlangt nicht nur agile Industrielle und lernwillige Arbeitende, sondern auch eine flexible und pragmatische Politik. Es zeigen sich hier grundlegend neue Methoden, zum Beispiel Additive Fertigung, welche besonders für Kleinserien interessant sind. Sie ermöglichen, auch ohne grosse Ersatzteillager über lange Zeit Ersatzteile nachzuliefern zu können.

Schliesslich ortet der Bericht auch ein knappes Dutzend neuer, aussichtsreicher Technologien, die alle von hoher industrieller und volkswirtschaftlicher Bedeutung sind. Und er endet mit der für einen Technology Outlook ungewöhnlichen Ermahnung, Plastikverpackungen wo immer möglich zu vermeiden oder mindestens mehrfach verwendbar zu machen, sowie einem zu Vorsicht und Umsicht mahnenden Blick in die fernere Zukunft einer kleinen Industrienation.

Ulrich W. Suter | Präsident SATW

Executive Summary

Digitale Welt

Die Digitalisierung unseres Alltags, aber auch der Wirtschaft und der Industrie, ist stark fortgeschritten; die wachsende Kapazität und Geschwindigkeit bei der Datenverarbeitung und der Datenübertragung treiben sie weiter voran. Das zeigt sich auch im vorliegenden Technology Outlook: Die Hälfte aller Beiträge betreffen Zukunftsaspekte der digitalen Welt.

Vernetzung und Industrie 4.0: Die schon heute allgegenwärtigen digitalen Netzwerke zur elektronischen Datenerfassung und zur digitalen Steuerung von Maschinen, Geräten und Systemen bilden die ideale Grundlage für eine immer engmaschigere Vernetzung. Der Begriff Industrie 4.0 (oder vierte industrielle Revolution) meint die Verzahnung der industriellen Produktion mit modernster Informations- und Kommunikationstechnik: Menschen, Maschinen, Anlagen und Produkte kommunizieren mit- und untereinander. Mit dem Internet der Dinge verschmelzen die digitale und die physische Welt zu Produkten und Dienstleistungen. In dieser neuen hybriden Welt haben Schweizer Unternehmen in nahezu allen Branchen grossen Nachholbedarf. Sensorherstellern muss es gelingen, drei Schlüsselkompetenzen zu vereinen: Sensorik, eine intelligente Datenverarbeitung nahe beim Sensor (smarte Sensoren) sowie Datenaggregation und -handhabung in der Cloud. Trotz standardisierter Basistechnologie für Hard- und Software ist klar, dass Industrie-4.0-Konzepte aufgabenspezifisch sein müssen und normierte Einheitslösungen zu kurz greifen. In der Schweiz ist ein umfangreiches praxisorientiertes Wissen bereits vorhanden, weil der Preisdruck viele Unternehmen schon vor Jahren zu einem konsequenten Digitalisierungskurs gezwungen hat und zahlreiche KMU als Zulieferer in die vernetzte Produktion von Grossfirmen integriert wurden. Doch die Entwicklung von cyber-physischen Produktionssystemen setzt auch die digitale Beherrschung der involvierten Prozesse voraus.

Künstliche Intelligenz: Algorithmen, Infrastruktur, Rechenleistung und Speicher sind schon so weit fortgeschritten, dass sich künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen in die Praxis umsetzen lassen. Mit der Entwicklung von Netzen aus künstlichen Nervenzellen nach biologischem Vorbild (Neural Networks) wird das maschinelle Lernen revolutioniert: Insbesondere auf dem Gebiet der Bild- und Spracherkennung konnten seit etwa drei Jahren enorme Fortschritte verzeichnet werden. Die Anwendungsmöglichkeiten sind, von der Analyse von Satellitenaufnahmen über Drohnen, bildgebende Verfahren in der Medizin bis hin zu Robotik und selbstfahrenden Autos, extrem vielfältig. In der Schweiz mit ihrer langen Tradition im Dienstleistungssektor zeichnen sich Banken, Versicherungen und touristische Angebote nach wie vor durch ihre hohe Qualität und Vertrauenswürdigkeit aus, doch die digitalen Geschäftsmodelle werden auch an diesen Branchen nicht spurlos vorbeigehen.

Robotik: Damit sie präzise arbeiten, werden traditionelle Robotersysteme (Industrieroboter) steif und positionsgeregelt betrieben. Das erfordert eine abgeschlossene Umgebung, da solche Systeme auf ein unstrukturiertes Umfeld unzureichend reagieren. Heute hingegen werden flexible und intelligente Roboter entwickelt, die kein Sicherheitsrisiko für den Menschen darstellen und Hand in Hand mit ihm zusammenarbeiten können, in der Industrie genauso wie in der Medizin oder im Privatbereich. Serviceroboter unterstützen den Menschen bei der Arbeit oder zu Hause. Flugroboter bewähren sich in der Landwirtschaft und bei Search-and-Rescue-Missionen. Diese neuen Roboter müssen ihre Umgebung in ihrer ganzen Komplexität wahrnehmen und verstehen können. Die Schweizer Forschungs- und Industrielandschaft verfügt über die notwendigen Kompetenzen, um auf diesem Gebiet eine führende Rolle zu spielen – davon zeugen nicht zuletzt die vielen Start-ups, die im Umfeld der technischen Hochschulen (ETH Zürich und EPFL in Lausanne) entstehen.

Fertigungsverfahren

Puls laser eröffnen neue Möglichkeiten bei der präzisen Oberflächenbearbeitung von metallischen, keramischen und Kunststoffmaterialien. Der Einsatz von leistungsstarken Lasern zur Feinbearbeitung von Oberflächen im Submikrometerbereich und beim 3D-Druck war bisher nur teilweise erfolgreich. Neuartige hochintegrierte Systeme, die auf der Grundlage von Lasern mit extrem kurzen Pulszeiten entwickelt wurden und Mehr-Wellenlängen-Interferometer als Messmittel hinzuziehen, schaffen hier Abhilfe.

Die fortwährende Entwicklung neuer Materialien und die Tendenz, insbesondere in der Fahrzeug- und Luftfahrtindustrie Schrauben und Nieten durch Kleben zu ersetzen, erfordern die Entwicklung von neuen Füge-techniken und **multifunktionalen Klebstoffen**. Die additive Fertigung ist eine innovative Produktionstechnologie, welche die gesamte Wertschöpfungskette vom Design bis zum fertigen Produkt grundlegend verändert. Die Schweizer Maschinenindustrie ist in der Präzisionsmechanik weltweit noch immer top – die additive Fertigung bietet ihr nun die Chance, ihre führende Position weiter auszubauen. Die **Prozessanalysetechnik** dient der Analyse, Kontrolle und Optimierung von Herstellungsprozessen in der chemischen Industrie. Sie bezweckt eine Verbesserung der Produktqualität durch standardisierte Kontrollen und die Dokumentation der kritischen Grössen während der Produktion.

Weitere Technologien

Die **Photonik** verbindet zwei Gebiete der Physik: die Optik und die Elektronik. Die Photonik hat sich zunächst vor allem aus der optischen Nachrichtentechnik entwickelt – Glasfasern dienen als Übertragungsmedium und Laserdioden als modulierbare Lichtquellen. Durch die Weiterentwicklung der optischen Grundlagen und der optoelektronischen Bauelemente (Photodetektoren, LED und Laserdioden) hat sich der Anwendungsbereich der Photonik massiv erweitert. Die Schweiz ist auf dem Gebiet der Photonik stark und zwar sowohl in der akademischen Forschung als auch in der Photonikindustrie.

Biotechnologie: CRISPR/Cas 9 ist eine disruptive molekularbiologische Methode – eine Art Skalpell für das Erbgut. Weil sie im Kampf gegen Aids, Krebs und eine ganze Reihe von Erbkrankheiten, aber auch bei der Züchtung von Pflanzen und Tieren neue Möglichkeiten verspricht, hat sie die Gentechnologie in den letzten vier Jahren im Sturm erobert. Allerdings wird ihr Einsatz in Diagnostik und Therapie, in der Agronomie, der Lebensmitteltechnologie und anderen Gebieten zahlreiche technische und ethische Fragen aufwerfen.

Medizintechnik: Die Kommerzialisierung vieler Med-Tech-Produkte und der steigende Preisdruck haben die Attraktivität der Medizintechnik in der Schweiz wesentlich beeinträchtigt. Für MedTech-Firmen in KMU-Grösse wird es immer schwieriger, den Zugang zu Spital-Einkaufsorganisationen zu finden oder bei grösseren Ausschreibungen zum Zuge zu kommen. Die Gesundheitsversorger reagieren mit neuen Modellen und Serviceangeboten auf diese Marktveränderungen. Dank ihrer überschaubaren Grösse sollte die Schweizer MedTech-Branche genügend agil sein, um die Opportunitäten zu nutzen, die sich dabei bieten.

The background is a complex digital visualization. It features a dark purple and blue color palette with numerous glowing, semi-transparent lines and planes that create a sense of depth and movement. The lines appear to be data paths or network connections, some of which are highlighted in a bright orange-red. The overall effect is that of a high-tech, futuristic environment, possibly representing a data center or a complex network structure.

Einleitung

Die Industrie verändert sich ständig. Ihr bisheriger Wandel lässt sich grob in drei Phasen gliedern: Eine erste grosse Umwälzung, genannt Industrie 1.0, brachte die maschinelle Massenproduktion um 1800 mit sich. Die Einführung der Elektrizität als Antriebskraft und die daraus resultierende Akkordarbeit läutete ab 1900 die Industrie 2.0 ein. Mit dem in den 1970er-Jahren einsetzenden Siegeszug der Computer, der die Automatisierung in vielen Fabrikationsprozessen erst ermöglichte, folgte die dritte industrielle Revolution, die Industrie 3.0.

Im Zuge dieser Entwicklung vervielfachte sich der Wohlstand und die Lebenserwartung der Bevölkerung verdoppelte sich – das trug zu einer Technikeuphorie bei, die ihren Höhepunkt zwischen 1950 und 1970 erreichte. Langsam schlägt das Pendel nun zurück und immer stärker stehen die möglichen schädlichen Langzeitwirkungen der einst hochgejubelten Technologien auf die Umwelt und die natürlichen Ressourcen im Fokus. Seit Ende des 20. Jahrhunderts die vierte industrielle Revolution begonnen hat, steigt auch die Angst vor dem Verlust von Arbeitsplätzen wieder. Diesmal kommt die Befürchtung dazu, dass in Zukunft intelligente und lernfähige Maschinen einen Grossteil der Arbeit erledigen und den Menschen komplett überflüssig machen könnten. Denn der Begriff «Industrie 4.0» steht für die zunehmende Informatisierung und Digitalisierung aller Produktions-, Berufs- und Lebensbereiche.

In etwa 20 bis 25 Jahren werden Computer die Rechenleistung menschlicher Gehirne erreichen. Dieser Zeitpunkt wird Singularität genannt: Erstmals in seiner Geschichte wird der Mensch dann nämlich in der Lage sein, Maschinen zu bauen, die ihm in Bezug auf ihre kognitiven, deduktiven und kreativen Fähigkeiten ebenbürtig oder sogar überlegen sind. Computer werden in naher Zukunft also auch Arbeiten übernehmen und Probleme lösen, die bis dahin dem Menschen vorbehalten blieben, weil nur er die nötige Originalität und Denkfähigkeit mitbrachte.

Experten sind sich nicht einig, ob wir auf eine Zukunft zusteuern, die uns nicht mehr braucht, oder ob die Menschheit auch diese Entwicklung – wie so viele zuvor – flexibel meistern und sich ohne grössere Probleme in die «schöne neue Welt» einfügen kann.

Obwohl die Singularität erst in 20 bis 25 Jahren Realität werden dürfte, können bereits heute viele repetitive manuelle Tätigkeiten sowie Aufgaben, die kognitive Fähigkeiten voraussetzen, von Maschinen erledigt werden. Und dieser Trend geht weiter. Dass in den nächsten zwei Jahrzehnten umwälzende Entwicklungen auf unsere Gesellschaft zukommen, steht deshalb ausser Zweifel. Um uns für diese Zukunft zu wappnen, müssen wir die technischen Herausforderungen beim Namen nennen und in der Öffentlichkeit diskutieren.

The background is a complex digital composition. It features a grid of overlapping, semi-transparent squares in various colors including red, blue, purple, and cyan. A prominent diagonal line runs from the top-left towards the center. On the right side, there is a perspective view of a brightly lit hallway or tunnel, with light reflecting off the floor and walls, creating a sense of depth and movement. The overall aesthetic is futuristic and high-tech.

Die digitale Welt

Die vierte industrielle Revolution

Das Internet der Dinge

Stand der Dinge: Das Internet der Dinge («Internet of Things» oder IoT) steht für eine Vision, in der alles und jedes mit dem Internet vernetzt ist: Mit einem oft kaum sichtbaren Minicomputer bestückt vermisst jeder Gegenstand sich selbst und seine Umgebung mittels einer ausgeklügelten Sensorik (→ Smarte Sensoren) und verbindet sich über das weltweite Web mit anderen smarten Gegenständen. Die entsprechenden Software-Entwicklungen (→ Keine 0815-Lösung: Software für Industrie-4.0-Konzepte) sind Grundvoraussetzung für das IoT.

Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive ermöglicht das Internet der Dinge eine feingranulare Neuvermessung der Welt. Und weil Organisationen nur managen können, was sie auch zu messen vermögen, schafft das IoT die Voraussetzung für eine ganz neue Qualität der Beherrschung physischer Prozesse – vom Monitoring über die Steuerung und Optimierung bis zur Autonomie.

Dies gilt für alle Branchen, vom Gesundheitswesen bis zu den Finanzdienstleistern, ganz besonders aber für die produzierende Industrie. Für IoT-Anwendungen in diesem Bereich hat sich im angelsächsischen Raum der Begriff «Industrial Internet» eingebürgert, im europäischen Raum geht die Rede von «Industrie 4.0». Gemeint ist in beiden Fällen eine die gesamte Wertschöpfungskette umfassende Vernetzung und

Steuerung aller Schlüsselprozesse, von der Produktentwicklung und Fertigung bis zur Auslieferung an den Kunden – mitsamt allen damit verbundenen Dienstleistungen. Diese Vernetzung ermöglicht nicht nur die effiziente Herstellung von individuelleren Produkten, sondern auch die Entwicklung ganz neuer Geschäftsmodelle. Der Industrie 4.0 wird deshalb eine grosse Bedeutung für die Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Volkswirtschaften beigemessen.

Konsequenzen für die Schweiz: Mit dem Internet der Dinge verschmelzen die digitale und die physische Welt erstmals zu Produkten und Dienstleistungen. In dieser hybriden neuen Wirklichkeit müssen Schweizer Unternehmen nahezu aller Branchen die nötigen digitalen Fähigkeiten aufbauen, um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben. Insbesondere im Bereich der Informatik steigt die Nachfrage nach Spitzen-Know-how überproportional und kann mit den heute verfügbaren Wissensressourcen nicht gedeckt werden. Eine Neuverteilung der Mittel für Forschung und Lehre zugunsten der modernen Informatik ist daher unabdingbar.

Smarte Sensoren

Stand der Dinge: In den letzten zehn Jahren ist das Volumen der von Sensoren erhobenen Daten doppelt so schnell gewachsen wie die Datenübermittlungskapazität: 90 Prozent der Sensordaten wurden infolgedessen gar nie analysiert. In Zukunft muss die Information daher nahe beim Sensor verarbeitet und konzentriert werden: Ein Ende der «dummen» Sensoren ist absehbar und die Zukunft der

«Smart Sensing Solutions» eingeläutet. Gemeint sind damit Lösungen, bei denen Sensorik und Datenverarbeitung zusammenwachsen und neue Businessmodelle ermöglichen. Der wahre Produktwert wird also nicht mehr in den Sensoren selber liegen, sondern in der damit aufgenommenen, intelligent aufbereiteten und interpretierten Information.

Heute bedienen sich viele Hersteller bereits eines Zwischenschritts: Die

Sensordaten werden an die Cloud versandt und dort aggregiert – ein Beispiel ist Siri von Apple. Doch schon in wenigen Jahren dürften «Smart Sensing Solutions» auf den Markt kommen, die nur noch die bereits verarbeitete Information in die Cloud übermitteln.

Konsequenzen für die Schweiz: Sensorhersteller müssen so rasch wie möglich darauf hinarbeiten, drei Schlüsselkompetenzen zu bündeln:

Sensorik, intelligente Datenverarbeitung nahe beim Sensor sowie die Aggregation und Handhabung der Information in der Cloud. Andernfalls riskieren sie, von einer Konkurrenz überrollt zu werden, die Produktion, Handel und Lieferkette in einem Prozess zu vereinigen weiss. Da interdisziplinäre Kooperationen eine Schweizer Kernkompetenz darstellen, kommt als interessante Alternative zur vertikalen Integration in einem einzigen Betrieb auch die enge Zusammenarbeit zwischen Firmen aus den drei Bereichen in Frage.

Keine 0815-Lösung: Software für Industrie-4.0-Konzepte

Stand der Dinge: Für Industrie-4.0-Konzepte werden Hard- und Software als standardisierte Basistechnologien eingesetzt, während die eigentliche Differenzierung auf dem Markt durch die Vernetzung von Komponenten und in Form von Apps passiert. Normierte Einheitslösungen, heisst das, werden Industrie-4.0-Konzepten nicht gerecht.

Die für Hard- und Software verwendeten Basistechnologien kommen aus der «Business IT». Diese verdrängt zunehmend die spezialisierten Industrierechner, die für den viel kleineren Markt der industriellen Produktion entwickelt wurden. Eine Vernetzung der Produktionsstätten mit dem Rechenzentrum des Unternehmens über ein leistungsfähiges Hochgeschwindigkeitsnetzwerk ist heute keine Ausnahme mehr. Dort werden, unabhängig von physikalischen Komponenten, die nötigen Modellierungen gemacht. Durch diese Abstraktion wird die Hardware ersetzbar und IT-Systeme werden flexibel, skalier- und hochverfügbar. Ausgefeilte Administratortools erlauben mittels Fernwartung einen effizienten und kostengünstigen Betrieb rund um die Uhr und garantieren durch zeitnahe Updates die bestmögliche Sicherheit.

Für eine erfolgreiche vertikale Integration ist die Einbindung des Produktionsleitsystems in das Enterprise-Resource-Planning-System sehr hilfreich: So werden die individuellen Wünsche der Kunden ohne Medienbruch in die Produktion eingespeist und der Kunde hat jederzeit Einblick in den Stand seiner Bestellung. Bei der horizontalen Integration werden Betriebe gleicher Produktionsstufe unter einem einheitlichen Management zusammengefasst. Für die Produktion bedeutet dies, dass «smarte» Kunden mit einem «smarten» Ökosystem von Produzenten, Lieferanten und Sublieferanten vernetzt werden. Dies ermöglicht die schnelle Entwicklung von neuen, individuell angepassten Produkten durch modellbasiertes Design oder additive Fertigung (→ Additive Fertigung). Die horizontale Vernetzung setzt allerdings einen bedeutenden Kulturwandel voraus, da durch den freien Informationsaustausch nicht nur der Kunde, sondern auch das Unternehmen und seine Lieferanten «gläsern» werden.

Konsequenzen für die Schweiz: Dank ihrem hohen Bildungsniveau und einem hohen Mass an Datenschutz und Rechtssicherheit ist die Ausgangslage der Schweiz ideal. Der starke Franken hat zudem viele grosse Schweizer Unternehmen bereits vor Jahren zu einem konsequenten Digitalisierungskurs gezwungen – damit ist ein umfangreiches praxisorientiertes Wissen in den meisten Branchen bereits vorhanden. Dazu kommt, dass die organisatorische Nähe von Management und Produktion in KMU die vertikale Integration begünstigt. Die horizontale Vernetzung könnte durch Projekte wie das niederländische Fieldlabs-Programm unterstützt werden.

Die Tools der vernetzten Produktionsgesellschaft

Stand der Dinge: Die Möglichkeiten, Daten praktisch unbeschränkt auszutauschen, sind in den letzten Jahren enorm gewachsen. Gleichzeitig können Prozesse virtuell geplant und immer besser und intelligenter überwacht werden. Um die Entwicklung von «smarten» Fabriken voranzutreiben, genügt eine intelligente Verkettung durch schnelle Netzwerke aber nicht. Zusätzlich sind Softwaresysteme erforderlich, die Daten intelligent auswerten können, und damit einen spezifischen Nutzen und Mehrwert generieren. Solche neuen Tools müssen erst noch

entwickelt werden. Dabei dürften sich, von firmenspezifischen Speziallösungen bis zu globalen Systemen, verschiedene Lösungsansätze auf dem Markt etablieren. Vermehrt werden neue Gesamtsysteme auch durch Zusammenschluss bestehender Stand-alone-Systeme entstehen.

Konsequenzen für die Schweiz: Für Schweizer Firmen, von denen sich viele in Nischenbereichen etabliert haben, wird sich die Frage der Ankopplung an solche globalen Netzwerke stellen. Weitere vorhersehbare Herausforderungen auf dem Weg zur Vernetzung sind die Entwicklung einer intelligenten Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, die intelligente Prozessplanung für die flexible Fertigung von Kleinserien und das Entstehen autonomer Systeme.

Das Beste beider Welten: Cyber-physische Produktionssysteme

Stand der Dinge: Cyber-physische Systeme sind gekennzeichnet durch eine Verknüpfung von realen (physischen) Objekten mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten über offene und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze. Um aus cyber-physischen Systemen cyber-physische Produktionssysteme zu machen, sind drei Bausteine notwendig:

- eine zuverlässige virtuelle Abbildung der Prozesse («Digitaler Schatten», → Der digitale Schatten),
- zuverlässige Kenntnisse des momentanen Zustandes der Prozesse, was hochspezialisierte Sensornetzwerke voraussetzt,
- die Möglichkeit, die Prozesse über Aktorik-Elemente zu beeinflussen.

Die erhobenen Daten können für diagnostische Zwecke analysiert oder auch vorausschauend für prädiaktive Zwecke genutzt werden. Einen Mehrwert werden die cyber-physischen Produktionssysteme hauptsächlich im Bereich der Vorhersage bringen sowie für Anwendungen, bei denen eine Echtzeitüberwachung und die daraus resultierenden Korrekturmöglichkeiten einen Vorteil darstellen.

Da die Bausteine für cyber-physische Systeme heute noch nicht standardmässig vorhanden sind, fehlen bisher die erforderlichen Softwaretools, um sie effizient planen und betreiben zu können.

Konsequenzen für die Schweiz: Die Entwicklung cyber-physischer Produktionssysteme setzt die digitale Beherrschung der involvierten Prozesse voraus. Auf diesem Gebiet sind viele Schweizer KMU eher schwach. Viele Prozesse werden lokal isoliert betrachtet, womit eine digitale Voraussage nur in wenigen Fällen möglich ist. Die Schweizer KMU riskieren, hier den Anschluss zu verpassen.

Der digitale Schatten

Stand der Dinge: Bei vernetzten Systemen können alle relevanten Daten, die in der Produktion, der Entwicklung oder in angrenzenden Bereichen anfallen, virtuell abgebildet und die Prozessabläufe so in Echtzeit analysiert werden. Dieses virtuelle Abbild der Realität wird im 2016 veröffentlichten Standortpapier der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik WGP als «Digitaler Schatten» oder «Digitaler Zwilling» bezeichnet. Während die digitalen Schatten sich primär auf die im Prozess gesammelten Daten abstützen, stellen die digitalen Zwillinge simulative Modelle der Prozesse dar. Heute zeichnet sich eine Entwicklung von der Simulation einzelner isolierter Prozessschritte zur Simulation ganzer Prozessketten ab. Der Aufbau solcher Modelle setzt nicht nur optimale Kenntnisse der Prozesse selber, sondern auch eine hohe Simulationskompetenz voraus.

Damit dieses virtuelle Abbild der Prozesse Unternehmen einen Nutzen bringt, müssen zuerst Muster und Einflussgrößen erhoben werden. Anhand dieser lässt sich dann prognostizieren, was im Betrieb in den nächsten Stunden und Tagen passieren wird. Und wenn etwas schiefzulaufen droht, können Lösungs-algorithmen hinterlegt werden, um die Produktion anzupassen.

Konsequenzen für die Schweiz: Der Schritt zur virtuellen Prozessabbildung ist auf dem Weg zu integrierten Industrie-4.0-Konzepten zentral. Viele Schweizer KMU sind technisch zwar sehr kompetent, beherrschen jedoch die virtuelle Abbildung der Prozesse nur beschränkt. Im Unterschied dazu arbeiten beispielsweise die deutschen Automobilfirmen konsequent daran, ihre Fertigung durchgehend virtuell abzubilden. Es ist wichtig, dass die Schweizer KMU hier den Anschluss nicht verpassen.

Und wo bleibt der Mensch?

Stand der Dinge: Die flächendeckende Realisierung des Industrie-4.0-Gedankens ist zurzeit noch eine Zukunftsvision. Verwirklichen lassen wird sich diese nicht allein dadurch, dass die digitale Information für alle Fertigungs- und Geschäftsprozesse allgemein verfügbar wird. Eine entscheidende Rolle fällt dabei ganz klar auch dem Menschen zu.

Bereits in den 1980er-Jahren gab es Bestrebungen zur Umsetzung einer computerintegrierten Fertigung («Computer-integrated Manufacturing» oder CIM). Die damit verbundenen Visionen von menschenleeren Fabriken weckten in der Bevölkerung aber grosse Ängste und Widerstand. Der Mensch wird deshalb

heute wieder ganz bewusst in die Überlegungen für eine erfolgreiche Implementierung des Industrie-4.0-Gedankens einbezogen. Zurzeit gibt es zwischen der digitalen und der Arbeitswelt nur wenige Berührungspunkte, beispielsweise durch Benutzerschnittstellen wie Tablets oder Datenbrillen, welche die digitale Welt an den Arbeitsplatz holen. Langfristig wird sich die Industrie 4.0 aber nur verwirklichen lassen, wenn die Bewegung auch in umgekehrter Richtung erfolgt, von der realen Welt in die digitale Umgebung.

Konsequenzen für die Schweiz: Die virtuelle Abbildung aller Geschäftsprozesse und die damit verbundene Integration des Menschen in die virtuelle Welt stellt Unternehmen vor etliche Herausforderungen nicht nur technischer, sondern insbesondere auch unternehmerischer Natur. Viele Industriebranchen werden bestehende Geschäftsprozesse überdenken und dafür sorgen müssen, ihre Belegschaft mit adäquaten Aus- und Weiterbildungsangeboten für die Industrie 4.0 fit zu machen.

Cyberkriege am Horizont

Stand der Dinge: Zurzeit lässt sich eine zunehmende Vernetzung der normalen Geschäfts-IT mit den Steuerungssystemen von Firmen und kritischen Infrastrukturen beobachten. Gleichzeitig wird die Abhängigkeit unserer Gesellschaft von Informationstechnologien immer grösser. Diese Entwicklung führt vor allem im Bereich der kritischen Infrastrukturen zu einer stark veränderten Bedrohungslage und einem markant höheren Schadenspotenzial. Verstärkt wird dieser Effekt durch die Professionalisierung des organisierten Verbrechens im Cyberspace, das Wettrennen zwischen Entwicklern von Viren und den Herstellern von Anti-Viren-Software sowie die Installation von Programmiergerüsten für den Fall eines Cyberkriegs und für die grossangelegte Sammlung, Verarbeitung und Abfrage von Daten. Die nationale und internationale Strafverfolgung können mit dieser Entwicklung nicht Schritt halten.

Konsequenzen für die Schweiz: Die Grundlage für die Digitalisierung von Gesellschaft und Wirtschaft ist das Vertrauen. Ohne dieses Vertrauen fehlt die gesellschaftliche Akzeptanz für digitale Technologien – damit würden auch ihre Chancen verpasst.

Ein adäquater Schutz vor Cyberrisiken ist für den Lebens- und Wirtschaftsraum Schweiz deshalb zentral. Weltweit findet zurzeit aber eine Konzentration der Cybersecurity-Unternehmen statt: kleine Firmen verschwinden, ein paar wenige Grosse werden den Markt dominieren. Mit Schweizer Lösungsanbietern und Dienstleistern lässt sich Sicherheit deshalb kaum noch sicherstellen. Vorhandenes Wissen und bestehende Erfahrung in Privatwirtschaft, Hochschule und Verwaltung müssen darum dringend gebündelt werden. Die relativ isoliert umgesetzten Massnahmen der «Nationalen Strategie zum Schutz der Schweiz vor Cyber-Risiken» (NCS) und der Strategie- und Aktionsplan «Digitale Schweiz» des Bundesrates reichen hier bei weitem nicht aus.

Künstliche Intelligenz

Klüger als ihr Meister

Stand der Dinge: Bereits in den 1970er- und 1980er-Jahren wurden grosse Hoffnungen in Anwendungen der Künstlichen Intelligenz (KI) gesetzt. Auf einigen Gebieten konnten durchaus beachtliche Erfolge erzielt werden, so zum Beispiel bei Strategiespielen und Robotersimulationen, bei der mathematischen Symbolverarbeitung und der Abfrage von Wissensdatenbanken. Viele weitere Erwartungen erfüllten sich jedoch nicht und so nahm die der KI zugemessene Bedeutung wieder ab – und damit auch die Forschungsförderung.

Doch in letzter Zeit erlebt die KI ein Revival. Wesentlich für die nunmehr signifikanten Fortschritte sind drei Faktoren: Die Digitalisierung des menschlichen Wissens ermöglicht, dass dieses nun für das maschinelle Lernen hinzugezogen werden kann. Zudem haben sogenannte lernende neuronale Netzwerke («Neural Networks»), Netze von künstlichen Nervenzellen nach biologischem Vorbild, das maschinelle Lernen revolutioniert. Und schliesslich werden für den Bau von lernenden Systemen Algorithmen der Künstlichen Intelligenz eingesetzt, also eindeutige, in ein Computerprogramm eingebaute Handlungsvorschriften für die Lösung eines Problems. Möglich wurde diese Entwicklung durch die Auslagerung der Daten in die Cloud und neue Rechnerarchitekturen. Lernende Systeme werden durch Rückmeldungen, die sie von Nutzern und Experten erhalten, immer intelligenter.

In verschiedenen Bereichen werden sie deshalb bereits in die Entscheidungsfindung miteinbezogen. So etwa in der Finanzindustrie, um die Kreditwürdigkeit individueller Kunden zu ermitteln, oder bei der Planung von personalisierten Krebstherapien in der Medizin.

Der Leistungszuwachs folgt immer noch einer exponentiellen Funktion. So ist es der Google-Software AlphaGo im vergangenen Jahr gelungen, den amtierenden Meister im komplexen asiatischen Brettspiel Go zu schlagen. AlphaGo wurde mit den Daten vergangener Go-Partien gefüttert, lernte daraus die Regeln des Spiels, wendete sie während Monaten gegen sich selber an und entwickelte dabei selbst für den weltweit besten Go-Spieler unschlagbare Taktiken. Ein eindrückliches Beispiel für lernende neuronale Netzwerke!

Wurde KI zu Beginn hauptsächlich für die Analyse digitaler Texte und Zahlen verwendet, so wird dem System nunmehr in mehreren Rechengängen die Fähigkeit antrainiert, Assoziationen herzustellen. Im Bereich der Bild- und Spracherkennung wurden mithilfe solcher neuen Algorithmen enorme Fortschritte verzeichnet. Die Anwendungsmöglichkeiten sind extrem vielfältig: Sie reichen von der Analyse von Satellitenaufnahmen über Drohnen und bildgebende Geräte in der Medizin bis zur Robotik und zu selbstfahrenden Autos.

Konsequenzen für die Schweiz:

Was den Einsatz der Digitalisierung für die Fabrikautomatisierung und die Ressourcenplanung gesamter Unternehmen angeht, liegt unsere Industrie weit hinter dem Ausland zurück. Durch den Einsatz von KI-Algorithmen liessen sich vielfältige Wettbewerbsvorteile schaffen, sei es in der Landwirtschaft, der verarbeitenden Industrie oder auch im Dienstleistungsgeschäft.

Das Zauberwort der Dienstleister: Netzwerkeffekt

Stand der Dinge: Digitalisierung wird zunehmend auch im Alltag mit Künstlicher Intelligenz «angereichert». In digitalen Netzwerken treten Individuen digital in Verbindung, organisieren sich digital und tauschen sich virtuell oder reell aus. Somit verändert die Digitalisierung das Konsumverhalten der Bevölkerung und bietet Hand für neue Geschäftsmodelle: Gepaart mit Künstlicher Intelligenz führt das Online-Anbieter und potenzielle Nutzer sehr effizient und sehr direkt zusammen.

Erfolgreiche Beispiele gibt es sowohl in der Welt der Touristik (Airbnb) als auch im Finanzbereich (splendit.ch). Allen Modellen gemeinsam ist der sogenannte Netzwerkeffekt, illustriert am Beispiel von Uber: Je mehr Fahrer mitmachen, desto besser wird die geografische Abdeckung für die Kunden und desto mehr Fahrgäste nutzen das Angebot. Positiv unterstützt wird dieser Netzwerkeffekt durch ein gut funktionierendes Bewertungssystem. Erfahrungsberichte anderer schaffen Vertrauen und animieren zum Mitmachen, was wiederum den Erfolg des Geschäftsmodells verstärkt.

Der Erfolg solcher neuen Geschäftsmodelle basiert auf einer Kunden- und Produktorientierung, die in diesem Ausmass nur digital zu erreichen ist. Bei den digitalen Start-ups steht der Kunde absolut im Zentrum und das Überleben der Firma hängt unmittelbar von der Kundenzufriedenheit ab. Mit ihrer vorbildlichen Servicekultur setzen diese Firmen die eher trägen Grossunternehmen massiv unter Druck. Nationale Gesetze zum Schutz der Arbeitnehmer ziehen ihnen aber gewisse Grenzen.

Konsequenzen für die Schweiz:

Die Schweiz blickt im Dienstleistungssektor auf eine lange Tradition zurück. Banken, Versicherungen und die touristischen Angebote zeichnen sich durch hohe Qualität und Vertrauenswürdigkeit aus. Die digitalen Geschäftsmodelle werden an diesen Branchen aber nicht spurlos vorbeiziehen und stellen eine grosse Herausforderung dar.

Mehr als ein Spiel: Augmented Reality

Stand der Dinge: Das Spiel «Pokémon Go» hat das Prinzip der erweiterten Realität («Augmented Reality» oder AR) innert kürzester Zeit in der breiten Öffentlichkeit bekannt gemacht. Im Gegensatz zur virtuellen Realität (Virtual Reality), bei der der Nutzer komplett in eine künstliche 360-Grad-Welt abtaucht, vermischt AR die Wirklichkeit mit künstlichen Elementen: «Pokémon Go» zum Beispiel rüstet Google-Karten mit Pokémonfiguren und weiteren Spielelementen zur Spielwelt aus.

Doch nicht nur im Game-Bereich ist AR interessant – es gibt auch viele nützliche Anwendungen. Mithilfe der erweiterten Realität lassen sich, je nach Standort und Blickwinkel, zusätzliche spezifische Information ins Blickfeld der Nutzer einspielen oder Informationen aus grossen Datenbanken nach Kontext abrufen. Entscheidend für den Erfolg eines Produkts sind die Qualität der Benutzeroberfläche und die

Benutzerfreundlichkeit. Dies gilt für Smartphones ebenso wie für Medizinroboter oder beim assistierten Fahren. Gekoppelt mit einer schnellen Datenaufarbeitung hat Augmented Reality das Potenzial, zur wichtigen Querschnittstechnologie für viele industrielle Bereiche zu werden.

Konsequenzen für die Schweiz: In den für die Schweiz wichtigen Sparten der Medizintechnik und des Maschinenbaus kann gut integrierte Augmented Reality einen wesentlichen Wettbewerbsvorteil verschaffen. Verschiedene erfolgreiche AR-Apps wie «Tagxy» und «Departures» stammen aus der Schweiz, dazu kommen die Disney Research Labs im Raum Zürich – ein renommiertes Forschungsunternehmen, das AR ebenfalls im Bereich der Unterhaltungsindustrie vorantreibt. Module für den industriellen Einsatz bieten bisher hingegen nur ausländische Firmen wie Augmensys und AR-Re'Flekt an. Schweizer Unternehmen müssen auf den Zug aufspringen und industrielle Anwendungen sowie Anwendungen für den Dienstleistungs- und IT-Sektor erarbeiten.

Fehlerfreie Fertigung

Stand der Dinge: Die Herstellung von Produkten in kleiner bis mittlerer Stückzahl und mit hoher Variantenvielfalt ist noch immer sehr aufwendig. Häufig müssen solche Produkte manuell hergestellt werden, da sich die Kosten für eine Automatisierung nicht auszahlen. Die Montage per Hand ist aber fehleranfällig, eine nachträgliche, systematische Überprüfung teuer und zeitraubend.

Doch inzwischen erlauben es Fortschritte in der Bildverarbeitung, Anomalitäten und Fehler automatisch ausfindig zu machen. Mithilfe von Kameras, mathematischen Netzwerken aus künstlichen Nervenzellen («Neural Networks») und den damit verbundenen Algorithmen («Deep Belief Networks») sind Maschinen lernfähig («Machine Learning»): Sie lernen die normale Struktur des Endprodukts «aus Erfahrung» kennen und «sehen» Abweichungen. Dazu gehört die verlässliche Identifizierung fehlerhafter Handlungen des Montagepersonals ebenso wie die Prüfung der Qualität des fertigen Produkts durch Gut-Schlecht-Vergleiche nach der Endmontage.

Konsequenzen für die Schweiz: Die konsequente Förderung und Weiterentwicklung von modernen Bildverarbeitungstechniken stärkt den Produktionsstandort Schweiz. Notwendig dafür ist es, die in den Bereichen Fertigung, Bildverarbeitung und Machine Learning vorhandenen Kompetenzen zusammenzuführen.

Industrieroboter: Hand in Hand mit dem Menschen

Stand der Dinge: Industrieroboter sind automatische, programmierbare Maschinen, die für diverse industrielle Anwendungen eingesetzt werden. Um die gefragte Genauigkeit zu gewährleisten, sind traditionelle Robotersysteme steif und positionsgeregelt. Vermehrt werden nun aber flexible und intelligente Roboter entwickelt. Damit sie sicher und zuverlässig mit Menschen interagieren können, müssen diese neuen Roboter nicht nur «weich» sein, sondern auch ihre Umgebung in ihrer ganzen Komplexität wahrnehmen und verstehen. Aus technischer Sicht bedingt dies die Entwicklung von kraftgeregelten nachgiebigen Aktoren.

An vielen Arbeitsplätzen unterstützen Roboter Menschen bereits. ABB hat 2016 YuMi auf den Markt gebracht, den weltweit ersten kollaborativen Zweiarm-Roboter für die Kleinteilmontage. YuMi kann mit Menschen Hand in Hand an einer Aufgabe arbeiten, ohne sie zu gefährden. Das macht bei vielen Anwendungen die Schutzzäune überflüssig, die zum Einsatz der traditionellen steifen Robotern gehörten. Die direkte Zusammenarbeit von Mensch und Roboter dürfte in den nächsten Jahren erheblich zunehmen, auch im Dienstleistungssektor (→ Nützliche Hightech-Helfer und Roboter im OP). Nicht von ungefähr hat die Schweizerische Normenvereinigung vor kurzem einen technischen Report zum Thema «Sicherheit mit

kollaborativer Robotik» (Standard ISO/TS 15066) herausgegeben.

Konsequenzen für die Schweiz:

Die kollaborative Robotik ist eine grosse Chance für die Schweizer Maschinenindustrie, die sich mit der Herstellung komplexer, sicherer und präziser Maschinen auskennt. Auch die Schweizer Forschung verfügt über das Wissen und die Kompetenzen, um im Bereich der nachgiebigen und intelligenten Roboter eine wichtige Rolle zu spielen. Die technischen Universitäten (ETH Zürich und EPFL in Lausanne) geniessen auf den Gebieten der Soft-Aktorik, der visuellen Wahrnehmung, der Navigation und der Robotik einen ausgezeichneten Ruf, aus beiden gingen und gehen dementsprechend viele Start-ups hervor. Dieser Prozess sollte unterstützt werden, um die Neugeschäftsentwicklung in der Robotik entschieden voranzutreiben.

Nützliche Hightech-Helfer

Stand der Dinge: Serviceroboter verlassen die geschützte, industrielle Produktionsumgebung und unterstützen den Menschen als persönliche Serviceroboter im Haushalt oder als professionelle Serviceroboter im Arbeitsumfeld. Gerade in diesem Bereich ist das Spektrum gewaltig und reicht von Robotern in der Landwirtschaft (Ackerbau, Melkroboter), im Forstwesen und in

der Bauwirtschaft über Roboter in der Medizintechnik, in der professionellen Reinigung, im Unterhalt und in logistischen Anwendungen bis hin zu Robotern für Katastropheneinsätze und Weltraummissionen. Von den Servicerobotern dürfte die nächste Revolution in der Robotik ausgehen. Dementsprechend schnell entwickelt sich der Markt.

Konsequenzen für die Schweiz: Die Schweiz verfügt über das Wissen und die personellen Ressourcen, um komplexe und intelligente Ser-

viceroboter zu entwickeln. Sie weist beispielsweise die weltweit höchste Dichte an jungen Leuten auf, die in Robotik ausgebildet wurden, und eine Rekordzahl von Robotik-Start-ups. Als Glücksfall erweist sich dabei das Zusammenspiel von Präzisionsmechanik, Künstlicher Intelligenz und Sensorik, also von drei Schweizer Weltklassekompetenzen.

Relevant ist hierzulande vor allem der Bereich der professionellen Serviceroboter, insbesondere von Medizinal- und von Flugrobotern. Doch um weiterhin auf der Erfolgswelle zu reiten, braucht die Schweiz ein unternehmer-

freundliches Umfeld und insbesondere langfristiges Risikokapital, um Schweizer Start-ups zu skalieren und das Feld nicht den «Grossen» wie Google, Apple oder Facebook zu überlassen. Der Zukunftsfonds Schweiz schlägt in diesem Zusammenhang vor, zwei bis drei Prozent der Pensionskassenmittel in Jungunternehmen zu investieren. Da viele Einsatzbereiche von Servicerobotern insbesondere den Haushalt und das Gesundheitssystem betreffen, ist es ausserdem wichtig, die Ängste und Vorurteile der Bevölkerung aufzunehmen und Sicherheits- und Rechtsfragen abzuklären.

Im Feld, auf dem Bau und als Retter in der Not

Stand der Dinge: Die wachsende Weltbevölkerung stellt eine riesige Herausforderung für die Landwirtschaft dar – zumal die Anbauflächen stagnieren oder sogar schrumpfen. Neue Methoden müssen entwickelt werden, um den Ackerbau nachhaltiger zu gestalten und den Einsatz von Düngern, Herbiziden und Pestiziden zu verringern. Der computergestützte Precision-Farming-Ansatz erlaubt es, Saatzpflanzen konstant zu überwachen und nur die Schösslinge oder Bereiche zu behandeln, die krank oder infiziert sind. Für den Durchschnittsbauern dürfte diese Methode allerdings zu teuer und zeitaufwendig sein. Zudem können die hochspezialisierten Landwirtschaftsroboter, die bereits heute auf den Feldern anzutreffen sind, häufig nur gerade eine spezifische Aufgabe ausführen. Genau hier setzen neue Konzepte wie das Flourish-Projekt an: Klassische Landwirtschaftsroboter sollen zusammen mit Flugrobotern zu einem ganzheitlichen System ausgebaut werden. Dieses überwacht die Äcker

aus der Luft, analysiert die gesammelten Daten und instruiert die Bodenroboter, wo, wann und wie eine Behandlung zu erfolgen hat.

Obwohl es dringend notwendig wäre, den Menschen bei vielen körperlich schweren und ungesunden Arbeiten zu entlasten und das Bauen effizienter zu gestalten, ist die Bauwirtschaft heute erst schwach automatisiert. Die Robotik ermöglicht hier ganz neue Konzepte, von der Realisierung innovativer Formen über schalungsfreie Bauverfahren bis hin zu vollautomatischen Erdbewegungen. Dank dem Nationalen Forschungsschwerpunkt «Digitale Fabrikation» ist die Schweiz in diesem Bereich weltweit führend. Dieser Vorsprung dürfte sich in den nächsten Jahren in neuen Produkten und Systemen niederschlagen.

Auch bei Search-and-Rescue-Missionen geht der Trend dahin, bodengestützte Roboter mit Flugrobotern zu verbinden, um die menschlichen Retter in ihrer Aufgabe zu unterstützen: Flugroboter erstellen dreidimensionale Karten des betroffenen Gebiets, vermitteln den Helfern damit einen Gesamteindruck, der über ihren eigenen Horizont hinausreicht, und ermöglichen anhand von Aufnahmen der geschädigten Gebäude und Infrastrukturen zugleich eine realistische Einschätzung des Schadensmasses. Derweil erkunden Bodenroboter selbstständig die Umgebung, transportieren Ausrüstungsgegenstände und helfen beim Auffinden und

Bergen von Opfern. Einzelne Komponenten solcher Search-and-Rescue-Systeme wurden nach den Erdbeben in Nepal (2015) und Amatrice (2016) bereits erfolgreich eingesetzt.

Konsequenzen für die Schweiz: Die ETH Zürich und die EPFL in Lausanne haben die Entwicklung von kleinen Flugrobotern massgebend vorangetrieben. Mehrere Schweizer Start-ups geniessen im internationalen professionellen Drohnenmarkt bereits einen guten Ruf, weitere sind daran, sich zu etablieren. Obwohl der Massenmarkt durch chinesische Firmen abgedeckt wird, ist die Schweiz insbesondere im Bereich der professionellen Drohnen für Photometrie, Luftaufnahmen, Landwirtschaft oder Katastropheneinsätze sehr gut aufgestellt. Um diese Position zu halten, müssen auch in Zukunft genügend Talente ausgebildet und gefördert werden. Zudem sollte die Schweiz als erstes Land der Welt Drohnen für professionelle Einsätze zulassen.

Die Baubranche wird in der nahen Zukunft einen grossen Automatisierungsschub erleben. Auch in diesem Bereich ist die Schweizer Forschung sehr gut aufgestellt. In Zusammenarbeit mit weltweit im Baubereich agierenden Unternehmen wie Hilti, Leica oder Schindler sollte dieses Potenzial schnell und effizient umgesetzt werden.

Roboter im OP

Stand der Dinge: Der heutige digitale Operationssaal bietet zwar bereits Navigationseinrichtungen zur Positionierung der Patienten, erfordert aber noch immer den manuellen Einsatz von Operationswerkzeugen. Operationsroboter könnten im Falle neuartiger Diagnosen

eingesetzt werden und das Operationsteam effizient unterstützen, beispielsweise indem sie dem Chirurgen helfen, die zu behandelnden Organpartien besser zu lokalisieren, und ihn durch die Übernahme bestimmter feinmotorischer Tätigkeiten entlasten.

Bislang waren Roboter Methoden vornehmlich auf mechanisch starre Körperteile – also etwa Knochen – beschränkt, die Behandlung von Weichteilen wie Sehnen, Muskeln, Knorpeln, Blutgefässen oder ganzer Organe blieb der schlechten Sichtbarkeit wegen problematisch. Durch neuartige Messmethoden, empfindlichere Sensoren und Aktoren sowie entsprechende Algorithmen wurden hier in letzter Zeit jedoch erstaunliche Fortschritte erzielt.

Die Kopplung optischer Sensoren an Laser-Aktoren wird auf diesem Gebiet die Grundlage bilden. Für die optische Messtechnik spricht weiter, dass neben der Position des Organs auch dessen Absorptionsspektrum messtechnisch erfasst werden kann. Die grosse wirtschaftliche Bedeutung dieser Weiterentwicklung lässt sich aus der Tatsache erahnen, dass in den USA jährlich 44,5 Millionen Eingriffe an Weichgeweben durchgeführt werden.

Konsequenzen für die Schweiz: In der Schweiz ist die Medizintechnik bereits einer der wichtigsten Wirtschaftszweige. Roboterbetriebene Module für die Medizintechnik passen bestens in die schweizerische Wissenschafts- und Industriekultur.

Durch und durch digital und vernetzt

Stand der Dinge: In Zukunft werden Informationen zu Energieangebot und Energienachfrage, Mobilitätsoptionen und Mobilitätswünschen sowie zur Kontrolle der zugehörigen Systeme in Echtzeit verfügbar sein. Diese Verfügbarkeit hat das Potenzial, das gesamte Energie- und Mobilitätssystem umzukrempeln und neue Produkte und Dienstleistungen hervorzubringen.

Die steigende Rechenleistung bei sinkenden Kosten führt zu einem grossem Optimierungspotenzial bei Konsumentenentscheiden und beim Einsatz von Ressourcen für den Betrieb von Geräten und Infrastruktur. Dies wiederum ermöglicht das Entstehen völlig neuer Geschäftsmodelle und Dienstleistungen und bedroht etablierte Anbieter. Die Auswirkungen dieser Entwicklung hängen stark mit der Liberalisierung der entsprechenden Märkte, der Individualisierung des Verhaltens und dem Angebot an fluktuierender erneuerbarer Elektrizität zusammen. Werden zudem Anreize für die Auslastung der Infrastruktur im Bereich der Mobilität, der Energieversorgung und der Datenübermittlung bei minimalen Kosten geschaffen, wird sich der Trend zu neuen Geschäftsmodellen weiter verstärken. Voraussetzung ist allerdings, dass alle diese digitalisierten Systeme sicher und zuverlässig betrieben werden können. Auch die nötigen Mess- und Regelsysteme müssen vor Ausfällen und Cyberangriffen geschützt werden.

Entsprechende Entwicklungen sind international bereits im Gang. Eine starke Zunahme der digitalen Technologien zeichnet sich für die nächsten fünf Jahre ab, eine grossflächige Durchdringung des Marktes ist in den nächsten zwei Jahrzehnten zu erwarten. Dabei geht es weniger um einzelne technologische Entwicklungen als um integrierte Konzepte, die sich in neuen Dienstleistungen und Unternehmensstrategien widerspiegeln werden.

Konsequenzen für die Schweiz: Für die exportorientierte Schweizer Wirtschaft beinhaltet diese Entwicklung wesentliche Gefahren, aber auch Chancen. Etablierte Anbieter von Produkten und Dienstleistungen im Energie- und Mobilitäts-

sektor sind dem Risiko ausgesetzt, durch internationale Konkurrenten verdrängt zu werden. Andererseits zeichnen sich für Firmen, die auf Informations- und Kommunikationstechnologien spezialisiert sind, sowie für innovative Start-ups auch grosse Chancen ab. Die von der Kommission für Technik und Innovation KTI geförderten, interuniversitär vernetzten Forschungszentren in den Bereichen Energie und Mobilität («Swiss Competence Centers for Energy Research» oder SCCER) haben die Thematik bereits in ihre Planung für die Periode 2017–2020 aufgenommen. Eine weitere Sensibilisierung durch Workshops und die Initiierung von Projekten über die Fördergefässe der KTI erscheint jedoch unabdingbar.



Verkettetes Vertrauen

Stand der Dinge: Die Blockchain ist eine Transaktionsdatenbank, von der Tausende von Kopien global verteilt und sicher abgespeichert sind. Transaktionen werden in regelmässigen Abständen in Blöcken zusammengefasst und jeder neue Transaktionsblock wird von jedem Netzwerknotenpunkt validiert. In der Summe entsteht so ein Konsens aller an der Blockchain beteiligten Parteien über die Gültigkeit des Blocks. Jeder gültige Block wird in die Transaktionsdatenbank eingefügt und so formiert sich eine Kette von Blöcken aller gültigen Transaktionen im Netzwerk: eine «Block Chain». Das Protokoll, das der Blockchain zugrunde liegt, ist so gebaut, dass die Adresse jedes Teilnehmers sowie alle Transaktionen kryptografisch validiert werden. Somit kann keine Transaktionen gefälscht werden und es ist jederzeit klar, wer mit wem eine Transaktion abgewickelt hat.

Ist ein Transaktionsblock einmal in der Kette abgelegt und gespeichert, kommt eine weitere Besonderheit der Blockchain zum Tragen: Eine mathematische Funktion («Hash») stellt sicher, dass niemand bestehende Daten nachträglich abändern oder fälschen kann. Fehler, die eventuell passiert sind, müssen durch eine Umkehrtransaktion korrigiert werden. Alle Teilnehmer des Blockchain-Netzwerks können sich somit darauf verlassen, dass die abgespeicherten Daten gültig und vertrauenswürdig sind.

Blockchains der zweiten Generation wie «Ethereum» weisen als weiteres zentrales Element «Smart Contracts» auf. Diese lassen sich als «fälschungssichere Computerprogramme» verstehen, die die Eckdaten einer vereinbarten Transaktion zwischen Blockchain-Teilnehmern beschreiben und autonom ausführen. «Bitcoin», die erste Implementierung der Blockchain – 2008 von einem Entwickler unter dem Pseudonym «Satoshi Nakamoto» als Tool für digitale Währungstransaktionen lanciert – kommt noch ohne intelligente Verträge aus.

Die Essenz der Blockchain ist, dass sie als globale Autorität des Vertrauens in gespeicherte Daten und in die Interaktion der Teilnehmer fungiert. Diese Interaktion kann zwischen Menschen stattfinden, aber auch zwischen Menschen und Maschinen oder von Maschine zu Maschine. Weil die Blockchain so die effiziente Zusammenarbeit von Parteien erlaubt, die sich weder kennen noch vertrauen müssen, wird sie langfristig zu einem Paradigmenwechsel in der Wirtschaft führen: Produzenten und Konsumenten können über die Blockchain direkt kommunizieren und Geschäfte abwickeln. Mittelsmänner werden verschwinden, wenn sie keinen direkten Wert in der Wertschöpfungskette stiften. Mit zunehmendem Angebot an dezentralen Blockchain-Apps (DAPPS) wird die Teilnehmeranzahl exponentiell zunehmen – ein typisches Beispiel des Netzwerkeffekts. In Kombination mit dem Internet der Dinge wird die Blockchain eine bisher nicht gekannte Automatisierung weiterer Lebensbereiche ermöglichen: Selbstfahrende Lastwagen und Taxis mit dezentralen «Ubers», intelligente Türen als Grundlage dezentral verwalteter Airbnbs oder die autonome Gesundheitsversorgung mittels Bio-Chip sind nur ein paar mögliche Beispiele.

Neben den globalen Blockchains, die jedermann offenstehen, gibt es auch private «Permissioned Blockchains», oft auch «Distributed Ledger Technology» (DLT) genannt. Mit einem kontrollierten Zugang zum Netzwerk, guter Skalierbarkeit und verschiedenen Funktionalitäten zur Wahrung der Privatsphäre bei geschäftlichen Transaktionen sind sie in erster Linie auf Unternehmen ausgerichtet.

Konsequenzen für die Schweiz: In der Schweiz hat sich ein vitales Ökosystem von Blockchain-Start-ups und Entwicklern rund um das «Crypto-Valley» Zug gebildet. Damit die Schweiz ihre kompetitive Rolle in diesem Bereich bewahren oder sogar ausbauen kann, sollte die zügige Einführung eines «Crypto-Schweizerfrankens» durch die Schweizerische Nationalbank erwogen werden – diese könnte dabei ihr Notenmonopol weiterhin wahrnehmen.



Fertigungsverfahren

Feingemeisselt: Puls laser für die Oberflächenbearbeitung

Stand der Dinge: Die Oberflächenbearbeitung von metallischen, keramischen und Kunststoffmaterialien erfordert immer mehr Genauigkeit, eine kürzere Durchlaufzeit und grössere Prozessflexibilität. Dies bedingt präzise arbeitende und rasch wechselbare Werkzeuge, schnelle und genaue Positioniersysteme und eine Messtechnik, die den Bearbeitungsprozess unmittelbar vor Ort steuert. Neuartige, hochintegrierte Systeme auf Basis einer rein optischen Verarbeitungs- und Messtechnik können diese Kriterien erfüllen.

Der Einsatz leistungsstarker Laser zur Feinbearbeitung von Oberflächen im Submikrometerbereich und beim 3D-Druck war bislang nur teilweise erfolgreich. Die dafür erforderlichen hohen Laserintensitäten führten zur Bildung von Oxidations-Artefakten und damit zu einer verminderten Oberflächengüte. Den als Messmittel eingesetzten Interferometern hingegen mangelte es an der nötigen Prozessrobustheit. Zudem war eine Live-Messung zur Qualitätskontrolle direkt am Werkstück schwierig.

Dank Lasern mit extrem kurzen Pulszeiten und Mehr-Wellenlängen-Interferometern lassen sich diese Nachteile überwinden. Leistungslaser im Femtosekundenbereich ermöglichen eine oxidationsfreie Materialabtragung, während die Mehr-Wellenlängen-Interferometer den Materialabtrag auf Nanometer genau messen

– auch bei rauen Oberflächen und Arbeitsabständen von fast einem Meter. Mit mehreren, synchron arbeitenden Messköpfen bestückt, können die Interferometer ausserdem Tausendfehler rotierender Achsen in Echtzeit erfassen.

Konsequenzen für die Schweiz: Bau und Betrieb der Scannereinheiten sind nicht trivial: Laserpulse mit hoher Leistung müssen durch die Optik geführt und mit grosser Geschwindigkeit und einer Positionsgenauigkeit im Mikrometerbereich abgelenkt und fokussiert werden. Um die Bearbeitung ver-

schiedener Materialien zu ermöglichen, muss sich der Wellenlängenbereich von Blaulicht bis Infrarotlicht umschalten lassen. Zudem sollte die Gesamteinheit für den Einbau in industrielle Systeme möglichst klein sein. Diese teilweise widersprüchlichen Voraussetzungen können Optik- und Maschinenbauindustrie nur gemeinsam meistern. Mit ihrer industriellen Erfahrung scheint die Schweiz prädestiniert dafür, hier ihre Tradition höchstpräziser Bearbeitungstechnologien weiterzuführen. Eine wichtige Rolle dürften Puls laser künftig zudem in der additiven Fertigung spielen.

Smarte Kleber

Stand der Dinge: Laufend kommen neue Materialien auf den Markt, die es zu verkleben gilt. Dafür müssen multifunktionelle Klebstoffe und Füge-techniken entwickelt werden. Die Aufgabe von Klebstoffen war es bisher vornehmlich, eine genügend grosse Haftkraft zu erzeugen. Zunehmend ersetzen sie aber auch Schrauben und Niete, nicht nur im Haushalt, sondern auch in der Fahrzeug- und Luftfahrtindustrie. Damit verändern sich die Anforderungen. Bis anhin wurden neue Kleber für spezifische Anforderungen wenig zielgerichtet nach dem Versuch-und-Irrtum-Prinzip entwickelt. Für die Entwicklung «smarter» Klebstoffe, die sich selbst modifizieren und dem Substrat anpassen, genügt dieses Vorgehen nicht mehr. Nanomaterialien und die Selbstorganisation neuer Makromoleküle könnten zur Realisierung solcher Konzepte beitragen.

Konsequenzen für die Schweiz: Durch intelligentes Fügen lässt sich in fast allen Industriebereichen Gewicht sparen und eine verbesserte Steifigkeit und Dauerhaftigkeit der Produkte erreichen. Für die Schweiz rele-

vante Beispiele finden sich im Karosserie- und Bootsbau, aber auch beim Zusammenfügen von additiv gefertigten Teilen. Alle grossen Klebstoffhersteller arbeiten in diese Richtung. Eine konsequente Förderung der Grundlagenforschung könnte den Prozess beschleunigen.

Additive Fertigung

Kostengünstige Kleinserien

Stand der Dinge: Die zunehmende Individualisierung der Kundenwünsche im Verbrauchermarkt und im Industrieumfeld führt zu einer hohen Variantenzahl bei niedrigen Losgrössen und zu schnelllebigem Produkten, die rasch geliefert und innert kürzester Zeit amortisiert werden müssen. Viele Schweizer KMU in der Maschinenindustrie produzieren kundenspezifische, gleichzeitig aber hochpräzise Baugruppen in kleinen und mittleren Stückzahlen. Eine automatisierte Herstellung analog zur Massenproduktion ist wegen der Variantenvielfalt mit teuren Werkzeugen oft nicht rentabel.

Die additive Fertigung hingegen kann die kostengünstige Herstellung von Präzisionskomponenten in kleinen und mittleren Stückzahlen ermöglichen. Die Fertigungskosten werden hier im Wesentlichen durch das Volumen des Bau-

teils und nicht durch dessen Komplexität bestimmt. Mit der werkzeuglosen Fertigung lassen sich kundenspezifische Strukturen und Geometrien realisieren, die mit keinem anderen Verfahren machbar sind. Von einer hochspezialisierten Fließbandproduktion bewegt sich die Industrie hin zu flexiblen Masswerkstätten, in denen Mensch und Maschine effizient kooperieren.

Konsequenzen für die Schweiz: Mithilfe der additiven Fertigung könnte die Schweiz ihre führende Rolle in der Präzisionsmechanik weiter ausbauen. Entscheidend dabei ist die Zusammenarbeit von Maschinenherstellern und produzierenden Unternehmen. Auch für die Materialwissenschaften stellt die additive Fertigung eine grosse Chance dar: Viel Forschung ist notwendig, um ein breites Spektrum an Materialien zu entwickeln, welche «additiv» verarbeitet werden können. Da Materialien für additive Prozesse nur in kleinen Mengen benötigt werden, könnten sich hier Nischenanbieter profilieren.

Ein neues Standbein für die Schweiz

Stand der Dinge: Die additive Fertigung ist weit mehr als eine neue Produktionstechnologie: Sie krepelt die gesamte Wertschöpfungskette um und wird zum Treiber für Innovation und Differenzierung.

Dank starker Förderung hat die additive Fertigung in Europa und den USA einen hohen technologischen Reifegrad erreicht und hält in verschiedenen Branchen bereits Einzug. Die Schweiz hat sich an der Weiterentwicklung auf industrieller Ebene bisher nicht wesentlich beteiligt, was teilweise mit der

hiesigen Förderkultur zusammenhängt. Auch hinsichtlich der Verbreitung hinkt sie dem europäischen Umfeld hinterher. Verschiedene Studien prognostizieren im Bereich der additiven Fertigung jedoch ein signifikant höheres Wachstum als bei konventionellen Fertigungstechnologien.

Konsequenzen für die Schweiz:

Dank ihrer Innovationsfähigkeit und ihrer interdisziplinären Stärke sollte es der Schweiz leichtfallen, die additive Fertigung gezielt einzusetzen. Dazu bieten sich vor allem Schlüsselbranchen wie die Turbinenindustrie und die Medizinaltechnik, aber auch der allgemeine Maschinenbau und Leichtbaubranchen wie Luft- und Raum-

fahrt an. Die Schweiz könnte so ihre bisherigen Stärkepositionen verteidigen und allenfalls weiter ausbauen und damit auch international kompetitiver werden. Diese Stärken beruhen im Wesentlichen auf der Fähigkeit, verschiedene Kompetenzen zusammenzubringen, was für den erfolgreichen Einsatz additiver Komponenten essentiell ist. Um die damit verbunde-

nen Chancen für neue Geschäftsmodelle und leistungsfähigere Produkte nutzen zu können, ist eine Förderung der industriellen Implementierung erforderlich. Wichtig ist es zudem, dass die Schweiz ihren weltweit einmaligen Ausbildungsstand hält und dafür sorgt, dass genügend junge Menschen sich anspruchsvollen technischen Aufgaben stellen.

Prozessoptimierung

Bessere Analysen für bessere Produkte

Stand der Dinge: Auf den Gebieten der Halbleitertechnik, Miniaturisierung und Optoelektronik werden fortwährend signifikante Fortschritte verzeichnet. Daraus ergeben sich immer neue Möglichkeiten Prozesse zu analysieren. Process Analytical Technology (PAT) dient der Analyse, Kontrolle und Optimierung von Herstellungsprozessen in der chemischen Industrie. Ihr Ziel ist eine verbesserte Produktqualität. Erreicht wird sie durch standardisierte Kontrollen und die Dokumentation der kritischen Grössen während der Produktion (Inprozesskontrollen). Die amerikanische Food and Drug Administration (FDA) hat 2002 eine PAT-Initiative für die Pharmaindustrie lanciert. Im Rahmen von Horizon 2020 fördert die Europäische Union ihrerseits das Projekt ProPAT. Die neuen Prozessanalysemethoden erlauben völlig neue Einblicke in Herstellungsverfahren. Sie sind zudem nicht auf chemische oder pharmazeutische Verfahren begrenzt, sondern ermöglichen ganz allgemein die Optimierung stoffbasierter Verfahren.

Konsequenzen für die Schweiz: Verschiedene Branchen der Schweizer Industrie können in hohem Masse von den neuen Technologien profitieren. Voraussetzung dafür ist, dass deren Potenzial adäquat bekannt gemacht und industriespezifische Hemmschwellen überwunden werden.

Eine neue Kultur der Zusammenarbeit

Stand der Dinge: Bei den global tätigen Firmen nimmt die Fertigungstiefe ab. Das gilt auch für die Schweizer Industrie. In unterschiedlichsten Bereichen werden Kompetenzen ausgelagert, vermehrt auch in Billiglohnländer. Als direkte Folge siedeln sich Firmen mit spezifischen Kompetenzen im Speckgürtel der Grossen an und bilden volkswirtschaftlich bedeutende regionale Ökosysteme.

Diese Systeme organisieren sich in lokalen, regionalen oder nationalen symbiotischen Netzwerken, was ihnen erlaubt, Kompetenzen zu bündeln, effizienter zu arbeiten und qualitativ bessere Produkte oder Dienstleistungen anzubieten. Sie gewährleisten somit Innovation und Wohlstand, müssen aber robust sein und in der Lage, zeitnah auf Veränderungen reagieren zu können.

Konsequenzen für die Schweiz: Unter dem Druck des starken Frankens bilden sich Ansätze einer neuen Kultur der Zusammenarbeit, die das Entstehen von regionalen Ökosystemen fördert. Dieser Prozess sollte breit unterstützt werden.

The background is a complex, abstract composition of overlapping, semi-transparent colored rectangles and squares. The colors include shades of green, blue, yellow, orange, red, and pink. A prominent feature is a central square frame that appears to be a window or a doorway, looking out onto a blurred, colorful landscape. The overall effect is a vibrant, multi-layered visual texture.

Weitere Technologien

Photonik und Optik

Laserscharfe Präzision

Stand der Dinge: Photonik verbindet zwei Bereiche der Physik, die Optik und die Elektronik. Sie hat sich zunächst vor allem im Bereich der optischen Nachrichtentechnik entwickelt. Fortschritte in der Halbleitertechnologie erlauben heute die fast verlustfreie Umwandlung von Photonen (Energiequanten des Lichtes) in Elektronen und umgekehrt (Photodetektoren, LEDs, Laserdioden). Aus dieser Möglichkeit haben sich in den vergangenen 40 Jahren bedeutende technische und industrielle Anwendungen entwickelt: Effiziente Laserdioden und LED, leistungsstarke Solarzellen und hoch empfindliche Photodetektoren, die sogar einzelne Photonen verlässlich nachweisen können – beispielsweise für die Quantenverschlüsselung. Die hohe Effizienz moderner photonischer Messmethoden und Prozesse und das breite Applikationsspektrum sind Grund dafür, dass das 21. Jahrhundert als «Jahrhundert des Photons» bezeichnet wird.

Verschiedene, physikalisch wichtige Weiterentwicklungen basieren auf Erkenntnissen aus der Photonik. Konkrete Beispiele finden sich in Zeit, Distanz und Raum: Ultrakurze Atto-Sekunden-Laserpulse im Bereich der Röntgenstrahlen erlauben einen direkten Einblick in das Verhalten der atomaren Grundbausteine unserer materiellen Welt. Die Erforschung des Weltalls beruht auf der optischen Überbrückung riesiger Distanzen – dabei ist ein Lichtjahr, das heisst 9461 Milliarden Kilometer, nur die Grundeinheit. Der Röntgenlaser (Swiss-FEL) macht es möglich, die detaillierte Struktur lebenswichtiger Proteine zu bestimmen oder den genauen Aufbau von Materialien zu klären. Diese Erkenntnisse werden unser Verständnis der Natur erweitern und zu praktischen Anwendungen führen wie etwa

neuen Medikamenten, effizienteren Prozessen in der chemischen Industrie, neuen Materialien in der Elektronik oder alternativen Verfahren der Energieumwandlung.

Konsequenzen für die Schweiz: Der Standort Schweiz zeichnet sich durch seine Exzellenz in der akademischen Forschung und in der Photonikindustrie aus. Allerdings geraten beide Gebiete im internationalen Konkurrenzkampf stark unter Druck. Um hier zu bestehen, muss die Schweiz in die Forschung investieren. Nur so kann sie sowohl in der Grundlagen- als auch in der angewandten Forschung weiterhin an vorderster Front mitwirken. Essenziell ist zudem ein gut funktionierender und lebhafter Austausch zwischen Grundlagenforschung, angewandter Forschung und Industrie.

Biotechnologie

Ein Skalpell für das Erbgut

Stand der Dinge: CRISPR/Cas9 ist eine disruptive, molekularbiologische Methode, welche die Gentechnologie im Sturm erobert hat. Mit diesem Verfahren kann das Erbgut gezielt aufgeschnitten und anschliessend verändert werden. So lassen sich einzelne DNS-Bausteine inaktivieren oder umschreiben.

Ursprünglich stammt das CRISPR/Cas9-System von Bakterien. Es dient ihnen als eine Art Immunsystem, mit dem sie Angriffe von Viren erkennen und abwehren können. Erst vor vier Jahren wurde daraus ein molekularbiologisches Werkzeug entwickelt, das nicht nur bei Bakterien funktioniert, sondern bei allen lebenden Zellen – also auch bei Menschen, Tieren und Pflanzen. Das ermöglicht es, mit viel einfacheren Mitteln als bis anhin, und überdies sehr kostengünstig, in beinahe allen Zelltypen beliebige Sequenzen des Erbguts herauszuschneiden oder hineinzufügen.

Mithilfe von CRISPR können Forschende also sehr einfach Viren neutralisieren, Getreidekeime oder gar das menschliche Erbgut verändern. Das eröffnet neue

Möglichkeiten im Kampf gegen Aids, Krebs und eine ganze Reihe von Erbkrankheiten, aber auch für die Züchtung von Pflanzen und Tieren. Noch wird es einige Zeit dauern, bis mit CRISPR veränderte Produkte auf den Markt kommen. Doch bereits jetzt ist ein heftiger Streit darüber entbrannt, ob solche Pflanzen oder Tiere als «gentechnisch verändert» anzusehen sind oder eher natürlichen Mutationen entsprechen.

Konsequenzen für die Schweiz:

Der Einsatz der CRISPR-Technologie in der Grundlagenforschung und für Anwendungen wie Diagnostik, Therapie, Agronomie oder Lebensmitteltechnologie wirft technische und ethische Fragen auf. In der Schweiz wird bereits seit einiger Zeit intensiv über das Verbot von genetisch veränderten Organismen diskutiert. Was bedeutet es nun, wenn wir das Erbgut neu programmieren, dabei aber keine fremde

Erbsubstanz einschleusen? Noch ist CRISPR kaum ins öffentliche Interesse gerückt, aber diese gesellschaftliche Debatte wird geführt werden müssen.

Neben den ethischen und noch offenen technischen Fragen eröffnet die neue Technologie der Schweiz auch enorme Chancen für vielversprechende Anwendungen in den Bereichen der Materialien, der Ernährung und der Gesundheit. Das CRISPR/Cas9-System wird sich als wichtiges Werkzeug für die gezielte Veränderung von Funktionalitäten auf genetischer und epigenetischer Ebene in zellulären, tierischen und pflanzlichen Modellen etablieren. Das kann unter anderem einen grossen Einfluss auf die Entwicklung und Herstellung von neuen Medikamenten haben. Weiter kann durch die gezielte Manipulation von biologischen Schaltkreisen im Phytoplankton die Herstellung von wichtigen, auf Silikat basierenden synthetischen Materialien für die Medizin- und Pharmatechnik erleichtert werden. Zudem dürfte die Tatsache, dass eine Editierung des Genoms von Ernährungspflanzen auch ohne Einführung von Fremd-DNS möglich ist, zur Erhöhung der Lebensmittelsicherheit und damit auch zu einer grösseren gesellschaftlichen Akzeptanz führen. Denkbar ist auch die Korrektur von genetischen oder epigenetischen Defekten im somatischen Gewebe, also eine Art Genchirurgie.

Lebensmitteltechnologie

Ein zukunftstaugliches Ernährungssystem

Stand der Dinge: Die eher lineare Lieferkette im Bereich der Nahrungsmittel entwickelt sich immer stärker zu einem mehrdimensionalen Netzwerk, zu einem Food-System. Voraussetzung dafür ist eine deutliche Verbesserung der Kommunikation, nicht nur zwischen den Partnern im Food-System, sondern auch an den Schnittstellen. Es zeichnet sich ab, dass diese Vernetzung durch Konzepte vorangetrieben wird, die in ihren Grundzügen dem Industrie-4.0-Ansatz der Automobil- und Fertigungsindustrie entsprechen.

Die Innovationskraft und der anhaltende ökonomische Erfolg der Schweizer Lebensmittelbranche sind eng mit starken Brands verknüpft: Die Konsumenten müssen einen Qualitätsunterschied zwischen diesen und den Produkten von Billig-Handelsketten wahrnehmen. Der Markteintritt von Anbietern wie Lidl und Aldi hat einen Preiskampf eröffnet, der für die Schweizer Lebensmittelindustrie nicht nachhaltig ist und mit schwindender Wertschöpfung einhergeht. Langfristig kann dies zu Existenzproblemen für eine Mehrzahl der Schweizer Lebensmittelproduzenten führen.

Der starke Schweizer Franken schlägt in die gleiche Bresche. Einer europäischen oder sogar globalen Konkurrenz kann nur mit Innovation und überzeugender Qualität begegnet werden. Damit sind sensorische, ernährungsphysiologische und gesundheitsunterstützende Aspekte ebenso gemeint wie Rückverfolgbarkeit, Qualitätskontrolle, Umweltverträglichkeit und globale Nachhaltigkeit. Teil der Zielsetzung des schweizerischen «Food Systems 4.0» ist es deshalb, die Konsumenten in das Konzept einzubeziehen, sei es als Ideengeber, Mitschöpfer oder Kontrollinstanz, und so ihr Vertrauen in die Vorzüge von Schweizer Lebensmitteln zu stärken.

Um ein schweizerisches «Food System 4.0» zu entwickeln, müssen, von den Ämtern und Firmen, die sich mit Umweltaspekten befassen, über die Bauern, Lebensmittelproduzenten, Einzelhändler und produzierenden Betriebe entlang der Wertschöpfungskette bis hin zu den Entwicklern von Geräten für die Heimdiagnostik, auch alle weiteren Akteure am gleichen Strick ziehen.

Drei überspannende Technologiebereiche werden einen grossen Einfluss auf die Entstehung des «Food Systems 4.0» in der Schweiz haben. Dazu gehört das Internet der Dinge, das für die Digitalisierung und Vernetzung aller «Objekte» und Akteure im Food-System steht. Eine wichtige Rolle wird weiter die additive Fertigung in der industriellen Lebensmittelfertigung und in der Küchentechnologie der Zukunft spielen. Die «In-line-Sensorik» und die damit erfolgenden Messungen in Echtzeit sowie die aussagekräftige Interpretation der daraus resultierenden Datenmengen (Big Data) komplettieren das disruptive Trio. Die in diesen drei Bereichen aktiven Firmen sind deshalb Schlüsselpartner für die Entwicklung eines schweizerischen «Food System 4.0».

Konsequenzen für die Schweiz: Mit der Entwicklung des «Food Systems 4.0» bestätigt die Schweiz ihre Rolle als führender Produktionsstandort für Premium-Lebensmittel. Sie stärkt die Innovation und die wirtschaftliche Position ihrer Lebensmittelindustrie und der damit verbundenen Industriebereiche.

Die Entwicklung des schweizerischen «Food Systems 4.0» ist ein langfristiges Projekt, dessen Realisierung von verschiedenen Entwicklungsschritten abhängig ist. Zu den

kurzfristigen Massnahmen gehören Master- und Bachelor-Arbeiten zu technischen Aspekten wie Prozess- und Messtechnik, Robotik, Internet der Dinge, Big Data, Konsumentenforschung und Gesundheitswissenschaften. Als mittelfristige Massnahme bieten sich von der KTI oder vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützte Doktorarbeiten an, die Forschung und Anwendung verbinden und passende Geschäftsmodelle ausarbeiten. Schliesslich wäre langfristig sowie zur Gewährleistung abgestimmter interdisziplinärer Forschungs- und Entwicklungsinteraktionen ein Nationales Forschungsprogramm «Food System 4.0» in Betracht zu ziehen.

Medizintechnik

Hilfe für innovative Lösungen

Stand der Dinge: Es ist ein schwieriger und langwieriger Prozess, in der Medizintechnik (MedTech) Ideen in innovative, klinisch anwendbare Produkte umzusetzen. Von einer Innovation kann man erst dann sprechen, wenn die Idee klinisch erfolgreich angewandt wird und der Kostenträger dafür bezahlt. Die Hürden auf diesem Weg werden immer zahlreicher und höher: Umfassende regulatorische Vorgaben, immer strengere Marktzulassungsbedingungen, höhere Qualitätsanforderungen und teure Firmen-Zertifizierungen gehören dazu. Bestehende MedTech-Firmen reduzieren deswegen innovative Entwicklungsprojekte, setzen vermehrt auf inkrementelle Verbesserungen bestehender Produkte oder kaufen bereits zugelassene innovative Produkte ein.

Die Schweiz hat den Stellenwert der Innovation erkannt und fördert sie beispielsweise durch die Kommission für Technologie und Innovation (KTI) oder mithilfe privater Förder-

programme. Auch Universitäten und Fachhochschulen verschreiben sich vermehrt der Förderung von Start-ups.

Für Start-ups und KMU in der Medizintechnik ist diese Art von Förderung wichtig, um potenzielle Innovationen entwickeln zu können. Für den klinischen «Proof of Concept» reicht sie jedoch meist nicht aus. Zusätzliche, zum Teil bedeutende finanzielle Vorinvestitionen sind nötig, um die Eignung eines innovativen Produktes in der Klinik zu belegen. Ohne diese klinischen Daten kann das Interesse von potenziellen Käufern und Investoren nicht geweckt werden. Entscheidet sich ein Start-up oder ein KMU, die Innovation selber zu vermarkten, müssen zusätzliche klinische Daten erhoben werden, um die Wirksamkeit, respektive die verbesserte Wirkung des neuen Produktes, aufzuzeigen. Erst dann vergüten die klinischen Kostenträger die Behandlung. Die dazu benötigten Fallzahlen und die zum Teil langen und aufwendigen Verlaufskontrollen übersteigen oftmals die vorhandenen finanziellen Mittel.

Hier braucht es deshalb neue Möglichkeiten der Unterstützung durch Plattformen, welche die Umsetzung einer guten Idee zumindest in die ersten klinischen Anwendungen begleiten. Gefragt sind Hilfestellungen – und nicht Beratung – im Entstehungsprozess eines Produktes und in der Erfüllung der gesetzlichen Anforderungen.

Konsequenzen für die Schweiz: Durch die Kommerzialisierung vieler MedTech-Produkte und durch den steigenden Preisdruck hat die Medizintechnik in der Schweiz an Attraktivität verloren. Immer mehr Anbieter mit ähnlichen Produkteportfolios teilen sich den Markt. Produktkopien werden in Billiglohnländern hergestellt und weltweit vertrieben. Dadurch gelangt nicht nur die MedTech-Industrie unter Kostendruck, betroffen ist auch die Zulieferindustrie in der Schweiz. Für die Hochpreisinsel Schweiz ist die Umsetzung von besseren und wirkungsvolleren MedTech-Produkten eine wichtige und auch finanziell interessante Möglichkeit, sich von etablierten Lösungen abzuheben.

Der Kunde ist König

Stand der Dinge: Das Produkt steht heute nicht mehr im Zentrum – es wird durch umfassende Dienstleistungen ersetzt. Grund dafür ist eine Verschiebung der Macht von den Anwendern zu den Kunden. War es früher im Wesentlichen der Chirurg, der entschied, welches Produkt er anwenden wollte, so sind es heute der Spitaleinkäufer oder der Kostenträger, die diese Entscheidung für ihn treffen. In einzelnen Märkten erfolgt

der Einkauf über Einkaufsorganisationen oder Ausschreibungen. Weil der Preis und der Umfang des Portfolios wichtiger sind als die Vorlieben der Anwender, kommt es zur Bündelung von Produkten und Serviceleistungen bei globalen «Totalanbietern» und zur Umstrukturierung der gesamten Branche in grosse, weltweit agierende Konzerne, die sich als One-Stop-Shop etablieren.

Konsequenzen für die Schweiz: Für Schweizer MedTech-Firmen in KMU-Grösse wird es immer schwieriger, Zugang zu Spitaleinkaufsorganisationen zu erhalten oder bei grösseren Ausschreibungen berücksichtigt zu werden. Erschwerend kommen die fehlenden Möglichkeiten hinzu, mehrere Produkte gebündelt anzubieten.

Die Gesundheitsversorgung neu denken

Stand der Dinge: Die Gesundheitsversorger haben auf den Kostendruck reagiert und entwickeln neue Modelle für Serviceangebote. Zu diesen Ansätzen gehören innovative und kostengünstige Lösungen, um chronisch kranke oder betagte Patienten in ihrer vertrauten Umgebung aus der Ferne zu betreuen, mit ihnen zu kommunizieren und sie zu behandeln – ohne Arztbesuch oder Krankenhausaufenthalt. Die virtuelle Kommunikation mit den Patienten erlaubt es beispielsweise, wichtige medizinische Messwerte kontinuierlich zu übermitteln oder die Patienten an die Einnahme von Medikamenten zu erinnern. Ziel ist es, die allgemeine Versorgung und Lebensqualität der Pflegebedürftigen zu verbessern und ihnen ein Gefühl der Sicherheit vermitteln.

Viele Dienstleistungen können mit den neuen Versorgungsmodellen effizienter erbracht werden. Die Med-Tech-Firmen müssen ihr Angebot entsprechend anpassen.

Konsequenzen für die Schweiz:

Die Schweizer MedTech-Branche ist von Firmen in KMU-Grösse geprägt. Dank ihrer limitierten Grösse können diese agiler auf Veränderungen auf dem Markt reagieren und Opportunitäten nutzen.

Umweltverträgliche Verpackungen

Plastikmüll über Bord

Stand der Dinge: In den Ozeanen treiben riesige Mengen von Plastikmüll aller Art, insbesondere Plastiktüten und Verpackungen. Die Gesamtmenge wird auf über fünf Billionen Teile oder 270'000 Tonnen Plastikmüll an der Wasseroberfläche geschätzt; die Menge unterhalb des Meeresspiegels lässt sich nur erahnen. Jährlich kommen zwischen fünf bis zwölf Millionen Tonnen dazu. Plastik ist extrem beständig; bis es komplett abgebaut wird, dauert es 350 bis 400 Jahre. Die an der Oberfläche schwimmenden Teilchen werden durch Wellen, Salzwasser und UV-Licht zu winzigen Kügelchen zersetzt. Meerestiere verwechseln diese Kleinstteilchen mit Nahrung. So gelangt der Plastikmüll in die Nahrungskette und gefährdet auch den Menschen.

Eine Studie der EPFL hat gezeigt, dass auch Seen in der Schweiz, vor allem der Bodensee, mit Mikroplastik belastet sind. Noch stellen die gemessenen Konzentrationen, gemäss Bundesamt für Gesundheit, keine direkte Gefährdung für Umwelt und Wasserqualität dar – das Thema wird aber auch für die Schweiz hochaktuell.

Konsequenzen für die Schweiz: Gefordert sind in erster Linie die Verpackungshersteller: Sie müssen intelligente, sprich abbaubare Verpackungen entwickeln und die Schädlichkeit der Abbauprodukte untersuchen. Ein Abfischen des Mülls von der Wasseroberfläche ist bei Seen nicht realistisch, da sich auf diesen im Gegensatz zu den Ozeanen keine Müllinseln bilden. Sensibilisiert werden müssen auch die Konsumenten dafür, dass Plastikverpackungen entweder zu vermeiden oder zumindest mehrfach zu verwenden sind.

Ausblick

Wirtschaft und Gesellschaft im Umbruch

Die vorhergehenden Kapitel beschreiben die aktuellen technologischen Entwicklungen aus professioneller Sicht. Diese Entwicklungen eröffnen für Anwender viele neue Möglichkeiten, für die Industrie bedeuten sie neue Perspektiven und Herausforderungen. Doch es gibt auch gesellschaftliche Implikationen. Vor allem die digitale Transformation, die das Kapitel «Die digitale Welt» ausführlich behandelt, verlangt diesbezüglich hohe Aufmerksamkeit. Die Fortschritte bei der künstlichen Intelligenz und den autonomen Systemen beflügeln die Phantasie – und lösen Unsicherheit aus.

Tatsächlich haben diese beiden Entwicklungen das Potenzial, die Arbeits- und Lebensbedingungen der Menschen radikal zu verändern. Jede Entwicklung bietet bekanntlich Chancen und Risiken zugleich. Die oft geäußerte Aussage, dass jede industrielle Revolution mehr neue Arbeitsstellen geschaffen als vernichtet habe, mag im Rückblick stimmen. Sie ist aber kein Naturgesetz und greift deshalb zu kurz.

Die absehbare Entwicklung unterscheidet sich fundamental von den vorangegangenen Zyklen. Bisher wurde manuelle Arbeit durch geistige Arbeit ersetzt. Nun scheint auch diese bislang dem Menschen vorbehaltene Domäne der maschinellen Automatisierung zugänglich zu werden. Konnten sich früher Arbeitsplätze vom landwirtschaftlichen und industriellen Sektor in den Dienstleistungssektor verlagern, so werden neu auch dort Arbeitsplätze in hohem Masse gefährdet sein.

In einer ersten Übergangsphase wird sich lediglich die Koexistenz von Mensch und Maschine verändern. Das wird zunächst möglicherweise sogar zusätzliche Arbeitsplätze schaffen. Längerfristig ist aber nicht auszuschliessen, dass Maschinen den Menschen im Dienstleistungssektor bei vielen Kerntätigkeiten weitgehend ersetzen. Gefährdet sind vor allem intellektuelle Routinetätigkeiten, bei denen der zwischenmenschliche Kontakt nicht im Vordergrund steht. Eine Studie der Oxford University kam jüngst zum Schluss, dass gut die Hälfte der heutigen Stellen automatisierbar sind.

Selbst wenn im Zuge dieser Entwicklung neue Arbeitsprofile entstehen, beispielsweise im kreativen Bereich, so ist nicht sicher, dass diese ausreichend entlohnt werden, um die Lebensgrundlage zu sichern. Das legt den Schluss nahe, dass es für eine konfliktarme Zukunft der Gesellschaft wichtig wäre, ernsthaft über finanzielle Ausgleichsmodelle nachzudenken. Solche flankierenden Massnahmen werden mittlerweile auch von Unternehmen und Kapitalgebern im Silicon Valley ernsthaft erwogen. Ziel muss es sein, Unsicherheiten und Ängsten, die den Fortschritt behindern könnten, mit geeigneten Lösungsvorschlägen zu begegnen, statt sie zu negieren.

Die SATW wird die zukünftige Entwicklung im Rahmen ihres Schwerpunktprogrammes «Künstliche Intelligenz und digitale Transformation» intensiv beobachten und die gesellschaftlichen Konsequenzen mit Partnern des Verbundes der Akademien der Wissenschaften Schweiz bei Bedarf thematisieren.

Referenzen

Einleitung

Brynjolfsson E, McAfee A. Race against the machine. How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy. Lexington: Digital Frontier Press; 2011

Joy B. Why the future doesn't need us. Wired 2000; 8.04: 1. April 2000

Denning S. The jobless future is a myth. Forbes Online: 4. Juni 2015. Online verfügbar unter <http://www.forbes.com/sites/stevedenning/2015/06/04/the-robots-are-not-coming/#9ab37172e392>. Letzter Zugriff 16. Februar 2017

Die digitale Welt

Fleisch E, Weinberger M, Wortmann F. Geschäftsmodelle im Internet der Dinge. zfbf 2015; 67: 444–464

Porter ME, Heppelmann JE. How smart, connected products are transforming competition. Harvard Business Review: November 2014. Online verfügbar unter <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Bosch internet of things and services lab. A cooperation of HSG and Bosch. Online verfügbar unter <http://www.iot-lab.ch>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

IBM Research. Global technology outlook 2015. Online verfügbar unter [http://www-03.ibm.com/procurement/proweb.nsf/objectdocswebview/file3+-+ibm+gto+overview+-+agerwala/\\$file/3+-+ibm+gtooverview+-+agerwala.pdf](http://www-03.ibm.com/procurement/proweb.nsf/objectdocswebview/file3+-+ibm+gto+overview+-+agerwala/$file/3+-+ibm+gtooverview+-+agerwala.pdf). Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Horizontale Integration. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Horizontale_Integration. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Smart industry. Online verfügbar unter www.smartindustry.nl. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Schnell U. Maschinenbau-Professoren entwerfen Roadmap für Industrie 4.0. Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP)-Standpunktpapier: 24. Juni 2016. Online verfügbar unter <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/maschinenbau-professoren-entwerfen-roadmap-fuer-industrie-40-a-539820>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Technischer Bericht zur eingesetzten Schadsoftware beim Cyberangriff auf die RUAG. Online verfügbar unter https://www.melani.admin.ch/melani/de/home/dokumentation/berichte/fachberichte/technical-report_apt_case_ruag.html. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Cyber security strategy for Germany. Online verfügbar unter http://www.nato.diplo.de/contentblob/3067702/Daten/1132940/Cyberstrategy_engl_DLD.pdf. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

SN002 - Nationale Strategie zum Schutz der Schweiz vor Cyber-Risiken (NCS). Online verfügbar unter https://www.isb.admin.ch/isb/de/home/ikt-vorgaben/strategien-teilstrategien/sn002-nationale_strategie_schutz_schweiz_cyber-risiken_ncs.html. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Strategie des Bundesrates für eine digitale Schweiz. Online verfügbar unter <https://www.admin.ch/gov/de/start/dokumentation/medienmitteilungen.msg-id-61417.html>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Strategie «Digitale Schweiz» – Umsetzung. Online verfügbar unter <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/digital-und-internet/strategie-digitale-schweiz/aktionsplan.html>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Künstliche Intelligenz. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Künstliche_Intelligenz. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Algorithmus. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Algorithmus>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

IEEE: Advancing technology for humanity. Online verfügbar unter http://www.ieee.org/index.html?WT.mc_id=mn_ieee. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Hank R. Eine Revolution namens Uber. Frankfurter Allgemeine : 1. Januar 2015. Online verfügbar unter <http://www.faz.net/aktuell/wirtschaft/unternehmen/digitalisierung-eine-revolution-namens-uber-13342892.html>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Keller L. Der Mega-Hype in der falschen Realität. Blick: 19. Juli 2016. Online verfügbar unter <http://www.blick.ch/life/digital/augmented-reality-vs-virtual-reality-der-mega-hype-in-der-falschen-realiaet-id5276109.html>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

ViDi: Seeing what matters. Online verfügbar unter <http://www.vidi-systems.com/>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

YuMi® – zusammen in die Zukunft der Automatisierung. Online verfügbar unter <http://new.abb.com/products/robotics/de/industrieroboter/yumi>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

SNV. Die Schweiz braucht Normen. Online verfügbar unter <http://www.snv.ch/de/>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

World robotics report 2016. Online verfügbar unter <http://www.ifr.org/news/ifr-press-release/world-robotics-report-2016-832/>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

International Federation of Robotics – products. Online verfügbar unter <http://www.ifr.org/service-robots/products/>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Zukunftsfonds Schweiz. Online verfügbar unter <http://www.zukunftsfondschweiz.ch/d/>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Children's National Health System. Supervised autonomous in vivo robotic surgery on soft tissues is feasible: Outperforms standard surgery techniques, study shows. ScienceDaily: 4. Mai 2016. Online verfügbar unter <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/05/160504151855.htm>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Precision farming. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Precision_Farming. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Flourish project. Online verfügbar unter <http://flourish-project.eu/>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

ETHZ – flying robots. Online verfügbar unter <http://www.asl.ethz.ch/research/flying-robots.html>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Robotics. Intelligent robots for improving the quality of life. Online verfügbar unter <http://www.nccr-robotics.ch/RescueRobots>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Icarus. Unmanned search and rescue. Online verfügbar unter <http://www.fp7-icarus.eu>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Sherpa. Online verfügbar unter <http://www.sherpa-project.eu>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Nepal earthquake: ICARUS partners B-FAST and ESRI to the rescue. Online verfügbar unter <http://www.fp7-icarus.eu/news/nepal-earthquake-icarus-partners-b-fast-and-esri-rescue>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

TRADR successfully deployed robot technology for disaster response in Amatrice. Online verfügbar unter <http://www.tradr-project.eu/?p=1835>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

National Centre of Competence in Research (NCCR) Digital Fabrication. Online verfügbar unter <http://www.dfab.ch/research/#>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Buterin V. Ethereum: a next-generation smart contract and decentralized application platform. Github; 2013. Online verfügbar unter <https://github.com/ethereum/wiki/wiki/White-Paper>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Wood G. Ethereum: a secure decentralised generalised transaction ledger – EIP-150 revision. Online verfügbar unter <http://paper.gavwood.com/>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Wood G. Polkadot – vision for a heterogeneous multi-chain framework. Github; 14. November 2016. Online verfügbar unter <https://github.com/polkadot-io/polkadotpaper/blob/master/PolkaDotPaper.pdf>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Cosmos – a network of distributed ledgers. Github: Juni 2016. Online verfügbar unter <https://github.com/cosmos/cosmos/blob/master/WHITEPAPER.md>. Letzter Zugriff 17. Februar 2017

Fertigungsverfahren

Photonics West 2016: New industrial 16-watts femtosecond laser. Online verfügbar unter <https://www.jenoptik.com/press/pressreleases/2016/02/15/photonics-west-2016-femto-16-laser>. Letzter Zugriff 27. Februar 2017

Taylor Hobson. LupoScan 260/420 HD. Online verfügbar unter <http://www.taylor-hobson.com/products/34/109.html>. Letzter Zugriff 27. Februar 2017

Wohlers TO. Wohlers Report 2016: 3D printing and additive manufacturing state of the industry. In: Annual worldwide progress report. Fort Collins: Wohlers Associates; ISBN 978-0-9913332-0-2

Robertshaw S, Achilleopoulos N, Bengtsson JE, Crehan P, Giuliano A, Soldatos J. The collaborative economy: impact and potential of collaborative internet and additive manufacturing. Online verfügbar unter [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/547425/EPRS_STU\(2015\)547425_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/547425/EPRS_STU(2015)547425_EN.pdf). Letzter Zugriff 27. Februar 2017

Van der Zee F, Rehfeld D, Hamza C. Open innovation in industry, including 3D printing. Online verfügbar unter [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563445/IPOL_STU\(2015\)563445_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2015/563445/IPOL_STU(2015)563445_EN.pdf). Letzter Zugriff 27. Februar 2017

AM Platform. Additive manufacturing: strategic research agenda 2014. Online verfügbar unter <http://www.rm-platform.com/linkdoc/AM%20SRA%20-%20February%202014.pdf>. Letzter Zugriff 27. Februar 2017

Process analytical technology. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Process_Analytical_Technology. Letzter Zugriff 27. Februar 2017

Arbeitskreis Prozessanalytik der GDCh und der DECHEMA. Online verfügbar unter <http://www.arbeitskreis-prozessanalytik.de>. Letzter Zugriff 27. Februar 2017

Fukuda K, Watanabe C. Japanese and US perspectives on the national innovation ecosystem. *Technology in Society* 2008; 30: 49-63

Baldwin C, von Hippel E. Modeling a paradigm shift: from producer innovation to user and open collaborative innovation. *Organization Science*, online Publikation 11. März 2011; doi: 10.1287/orsc.1100.0618

Weitere Technologien

Attosekundenlaser: Bis ins Innere der Atomhülle. Online verfügbar unter <http://www.weltderphysik.de/gebiet/atome/konventionelle-laser/attosekundenlaser-bis-ins-innere-der-atomhuelle/>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

SwissFEL – die neue Grossanlage des Paul Scherrer Instituts. Online verfügbar unter <https://www.psi.ch/media/ueberblick-swissfel>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Quantum technologies. Online verfügbar unter <https://www.epsrc.ac.uk/research/ourportfolio/themes/quantumtech/>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

European Commission will launch 1 billion quantum technologies flagship. Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-commission-will-launch-eu1-billion-quantum-technologies-flagship>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Mali P, Esvelt KM, Church GM. Cas9 as a versatile tool for engineering biology. *Nature Methods* 2013; 10: 957-963

Die neue Gen-Revolution: Was man zu CRISPR/Cas wissen sollte. Online verfügbar unter <http://www.transgen.de/forschung/2564.crispr-genome-editing-pflanzen.html>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

CRISPR/Cas9 and targeted genome Editine: a new era in molecular biology. Online verfügbar unter <https://www.neb.com/tools-and-resources/feature-articles/crispr-cas9-and-targeted-genome-editing-a-new-era-in-molecular-biology>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Gene-edited CRISPR mushroom escapes US regulation. Online verfügbar unter <http://www.nature.com/news/gene-edited-crispr-mushroom-escapes-us-regulation-1.19754>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Kickbusch I. The food system. Online verfügbar unter <http://www.ilonakickbusch.com/kickbusch-wAssets/docs/White-Paper---The-Food-System.pdf>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Kraft P. 9 out of 10 start-ups fail - how can the lean startup method help to found businesses more successfully? Online verfügbar unter <http://www.munich-business-school.de/insights/en/2016/01/lean-startup/>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Kollmann T, Linstaedt J, Kensbock J. European startup monitor. Online verfügbar unter http://europeanstartupmonitor.com/fileadmin/presse/download/esm_2015.pdf. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Forum for a better functioning food supply chain. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/growth/sectors/food/competitiveness/supply-chain-forum/index_en.html. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

World Food System Center. Online verfügbar unter <http://www.worldfoodsystem.ethz.ch>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Food for Life Switzerland. Strategic research agenda 2009 – 2020. Online verfügbar unter http://www.swissfoodnet.ch/fs/documents/Forschungsagenda/SRA_E.pdf. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Allredge K, Newaskar P, Ungerman K. The digital future of consumer-packaged-goods companies. Online verfügbar unter <http://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/the-digital-future-of-consumer-packaged-goods-companies>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Food Drink Europe. European food and drink industry 2014 - 2015. Online verfügbar unter http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/Data_and_Trends_2014-20152.pdf. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

The Nielsen Company. The sustainability imperative. New insights on consumer expectations. Online verfügbar unter http://richesses-immaterielles.com/wp-content/uploads/2015/10/9053_Global_Sustainability_Report_Site-Web-RRI.pdf. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Lipinski B, Hanson C, Waite R, Searchinger T, Lomax J, Kitinoja L. Reducing food loss and waste. Online verfügbar unter <http://www.wri.org/publication/reducing-food-loss-and-waste>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Stenmarck Å, Jensen C, Quested T, Moates G. Estimates of European food waste levels. Online verfügbar unter <https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

How to feed the world in 2050. Online verfügbar unter http://www.fao.org/fileadmin/templates/wfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

European Commission. A European consumer agenda - boosting confidence and growth. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/consumers/archive/strategy/docs/consumer_agenda_2012_en.pdf. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Deloitte. Industry 4.0. Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Online verfügbar unter <http://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Hofrichter B, Dümmler P. The Swiss medical technology industry 2014: the dawn of a new era. Online verfügbar unter http://www.ehealthnews.eu/images/stories/pdf/SMTI_2014.pdf. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Powell D, Scheel O, Tribe B. Medical devices: equipped for the future? Online verfügbar unter <http://www.atkearney.de/documents/856314/5231135/BIP-medical-devices-equipped-for-the-future.pdf/b77fb934-6eec-458f-a3b1-c566e76de37c>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Europäischer Gesundheitsversorger. Online verfügbar unter <https://www.avanade.com/de-ch/clients/euro-public-health-provider>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Parker L. Ocean trash: 5.25 trillion pieces and counting, but big questions remain. Online verfügbar unter <http://news.nationalgeographic.com/news/2015/01/150109-oceans-plastic-sea-trash-science-marine-debris/>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Das kann kein Meer mehr schlucken: Unsere Ozeane versinken im Plastikmüll. Online verfügbar unter <http://www.wvf.de/themen-projekte/meere-kuesten/unsere-ozeane-versinken-im-plastikmuell/>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Faure F, de Alencastro F. Evaluation de la pollution par les plastiques dans les eaux de surface en Suisse. Online verfügbar unter <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/37656.pdf>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Wirtschaft und Gesellschaft im Umbruch

Frey CB, Osborn MA. The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? Online verfügbar unter <http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/future-of-employment.pdf>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Brynjolfsson E, McAfee A. The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. New York: W.W. Norton & Co.; 2014

Definitionen und Begriffserklärungen

Industrie 4.0. Online verfügbar unter https://de.wikipedia.org/wiki/Industrie_4.0. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Optik. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Optik>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Photonik. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Photonik>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Desoxyribonukleinsäure. Online verfügbar unter <http://flexikon.doccheck.com/de/Desoxyribonukleins%C3%A4ure>. Letzter Zugriff 28. Februar 2017

Definitionen und Begriffserklärungen

Optik

Die Optik beschäftigt sich mit der Ausbreitung des Lichts sowie dessen Wechselwirkung mit der Materie, insbesondere im Zusammenhang mit optischen Abbildungen. Heutzutage versteht man unter Licht nicht nur den visuell wahrnehmbaren Teil des Spektrums zwischen 380 nm (violett) und 780 nm (rot), sondern auch die beiden angrenzenden Bereiche im langwelligeren Infraroten (780 nm – 1 mm) und im kurzwelligeren Ultraviolett (10 nm – 380 nm).

Elektronik

Ein Elektron ist ein elektrisch negativ geladenes Elementarteilchen in der Atomhülle. In einem elektrischen Leiter wie Metall sind Elektronen praktisch frei beweglich. In elektronischen Halbleiterbauelementen, beispielsweise Transistoren, sind Elektronen hingegen nur bedingt beweglich. Die technische Anwendung solcher Bauelemente wird als Elektronik bezeichnet.

Photonik

Photonik verbindet zwei Bereiche der Physik, Optik und Elektronik. Sie hat sich zunächst vor allem im Bereich der optischen Nachrichtentechnik entwickelt: Glasfasern dienen als Übertragungsmedium und Laserdioden als modulierbare Lichtquellen. Durch Weiterentwicklung der optischen Grundlagen und der optoelektronischen Bauelemente hat sich der Anwendungsbereich der Photonik in den vergangenen Jahren stark erweitert.

Biotechnologie

Die Biotechnologie beinhaltet die Integration von Naturwissenschaft und Technik zur Herstellung von Produkten und zur Entwicklung von Prozessen auf Basis von natürlichen oder veränderten Organismen oder Teilen davon. Als Querschnittstechnologie ist die Biotechnologie Grundlage für unterschiedlichste Branchen wie (Agro-)Chemie und Pharma, Diagnostik, Energie und Cleantech, Nanotechnologie sowie die Nahrungsmittelindustrie.

DNS

Die Desoxyribonukleinsäure (DNS) ist ein sehr grosses Molekül, das als Träger der Erbinformation dient. Diese ist in einer bestimmten Form, dem genetischen Code, in die DNS eingeschrieben. Die DNS dient als «Vorlage» für die Herstellung der körpereigenen Proteine. Im wissenschaftlichen Sprachgebrauch verwendet man meist die englische Abkürzung DNA (Deoxyribonucleic Acid).

Medizintechnik

Die Medizintechnik dient hauptsächlich der Herstellung von Medizinalprodukten. Darunter werden Produkte, Instrumente, Apparate oder Maschinen für die Prävention, Diagnose und Behandlung von Krankheiten und Verletzungen verstanden. Medizinalprodukte werden zudem für die Erkennung, Messung, Wiederherstellung, Korrektur oder auch Veränderung von Körperstrukturen und Körperfunktionen aus Gesundheitsgründen eingesetzt. Üblicherweise erfüllt ein Medizinalprodukt seinen Zweck nicht durch pharmakologische, immunologische oder metabolische Mittel, sondern eher durch technisch-ingenieurmassige Ansätze.



satw it's all about
technology

Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW
Gerbergasse 5 | 8001 Zürich | 044 226 50 11 | info@satw.ch | www.satw.ch