



---

# Technology Outlook 2021

Deutsche Version

# Impressum

## **Autorinnen und Autoren**

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

## **Steering (Wissenschaftlicher Beirat der SATW)**

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

## **Projektleitung**

Claudia Schärer

## **Redaktion**

Beatrice Huber, Esther Lombardini

## **Review**

Tony Kaiser

## **Übersetzung**

Maud Capelle (französisch) und Tanya Loringett (englisch)

## **Gestaltung**

Andy Braun

## **Bilder**

Adobe Stock

April 2021

# Inhaltsverzeichnis

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

# Vorwort

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

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

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

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

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

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



Ulrich W. Suter | Präsident Wissenschaftlicher Beirat SATW

# Einleitung

Identifizierung, Beschreibung und Bewertung von Technologien, die für die Schweizer Wirtschaft und Gesellschaft in den kommenden Jahren<sup>1</sup> von Bedeutung sein werden, gehören für die SATW zu ihrem Grundauftrag in der Früherkennung. Als Resultat dieser Aktivitäten entsteht als zweijährliche Publikation der *Technology Outlook*, welcher 2021 bereits zum vierten Mal erscheint.

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

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

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

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

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

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

---

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

# **Technologien und Anwendungsgebiete**



# Digitale Welt



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

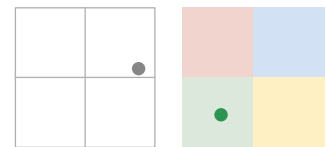
in denen private On-Premise-Datenverarbeitungsressourcen mit Ressourcen aus einer öffentlichen Cloud kombiniert werden, wodurch Unternehmen jeder Grösse praktisch unbegrenzte Datenverarbeitungsressourcen zur Verfügung stehen. Diese Big-Data-«Zutaten» ermöglichen die Identifizierung aller wertvollen Datenquellen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

---

## Augmented Reality

Andreas Kunz (ETH Zürich)

---



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

### So sieht es heute aus

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

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

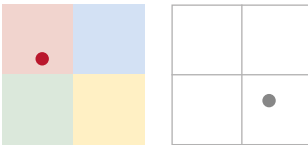


### Ein Blick in die Zukunft

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

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

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



## Blockchain

**Thomas Puschmann** (Universität Zürich)

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

### So sieht es heute aus

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

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

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

**satw** it's all about  
technology



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

