

Management Summary

Technology Outlook

Zukunftsweisende Technologien
für die Schweiz

Stand 2023

Der Technology Outlook der SATW

Die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW betreibt im Auftrag des Bundes Früherkennung von Technologien, kurz Foresight. Der Technology Outlook resultiert aus diesen Foresight-Aktivitäten und stellt zukunftsweisende Technologien vor, die in den kommenden Jahren für die Schweiz relevant sein werden. Als einzigartige Fachorganisation mit hoher Glaubwürdigkeit vermittelt die SATW unabhängige, objektive und gesamtheitliche Informationen über die Technik – als Grundlage für eine fundierte Meinungsbildung. Sie ist politisch unabhängig und nicht kommerziell.

Die Geschwindigkeit des technologischen Wandels erschwert den klaren Blick in die Zukunft. Der Technology Outlook schafft Orientierung in der Technologielandschaft von morgen. Als Reiseführer für die Zukunft erklärt er Technologietrends, ordnet sie in Bezug auf ihre Bedeutung für den Denk- und Arbeitsplatz Schweiz ein und vergleicht die Entwicklungen in der Schweiz mit denjenigen in anderen Ländern. Der Technology Outlook identifiziert Chancen und Herausforderungen und ist somit eine wichtige Grundlage für die strategische Arbeit in Industrie und Verwaltung sowie bei Standortförderstellen.

Das vorliegende Management Summary bietet einen Überblick über die Bedeutung der Technologien für die Schweiz und spricht Chancen für den Forschungs- und Wirtschaftsstandort an. Es stellt ausgewählte Showcases aus der Schweizer Industrie vor, gibt einen Einblick in vier ausgesuchte Technologien und geht auf die wichtigsten nationalen und internationalen Trends ein. Der Technology Outlook basiert auf Interviews mit 183 Expert:innen von 89 Institutionen.

183
Expert:innen

89
Institutionen

32
Technologien

22
Showcases

Entdecken Sie auf technology-outlook.ch die zentrale Wissensplattform für den Wirtschaftsstandort Schweiz mit ausführlichen Texten zu Technologien und Showcases sowie nationalen und internationalen Trends. Die Webseite bietet Ihnen die exklusive Möglichkeit, ein individualisiertes Exemplar des Technology Outlook zusammenzustellen und als PDF herunterzuladen.



Technologien und Gesellschaft

Technologien spielen eine wesentliche Rolle für die Welt von morgen. Aus einer Befragung mit einer interdisziplinären Gruppe von 94 Expert:innen zu den Auswirkungen von Technologien auf die Gesellschaft resultierten folgende Kernaussagen.

Ein fortschrittliches Gesundheitswesen braucht Vertrauen. Die Medizin der Zukunft wird zunehmend besonders schützenswerte Daten benötigen. In der Befragung wurde deutlich, dass die Expert:innen vor allem Bund und Kantone in der Pflicht sehen, zeitgemässe Datennutzrichtlinien zu erarbeiten, die dem Bedürfnis nach Schutz gerecht werden. Gleichzeitig sollten sie aber auch einen einfachen und nachvollziehbaren Austausch von Daten für die Forschung ermöglichen. Seitens Institutionen des Gesundheitswesens liegt der Beitrag darin, das Vertrauen der Bevölkerung zu gewinnen und dieses zu pflegen. Dazu gehört eine nachvollziehbare Regelung zur selbstbestimmten Nutzung der persönlichen Daten.

Energieversorgung – Sicherheit steht über Kosten. Die Expert:innen beurteilten die Ziele Versorgungssicherheit, technologische Sicherheit und Klimaneutralität als deutlich wichtiger als die drei anderen Ziele intakte Landschaften, möglichst hoher Selbstversorgungsgrad und kostengünstige Energie. Zudem sehen die Teilnehmer:innen der Umfrage, dass Mehrkosten für Energie zur Erhöhung des Selbstversorgungsgrades weniger akzeptiert werden als solche, welche die CO₂-Bilanz verbessern. Die Verantwortung für eine sichere Energieversorgung wird eher bei Energiekonzernen, Bund und Kantonen gesehen als bei Privatpersonen durch Sparen. Die Wissenschaft sollte zur nachhaltigen Energieversorgung beitragen, indem sie neue Energiequellen erforscht und energiesparende Geräte entwickelt.

Beim Thema Materialien ist Wissen gefragt – da diese eng mit ökologischen, ökonomischen und sozialen Zusammenhängen verbunden sind. Als zielführendste Massnahmen in diesem Zusammenhang sehen die Expert:innen eine breite Wissensvermittlung an den Schulen sowie Informationskampagnen. Andererseits müssen Wertstoffkreisläufe geschlossen werden. Als geeignete Massnahmen zur Etablierung von Rohstoffkreisläufen sehen die Expert:innen Lenkungsinstrumente. Ob in der Bevölkerung die Bereitschaft vorhanden ist, für nachhaltigere Materialien Mehrkosten in Kauf zu nehmen, ist unter den Expert:innen umstritten.

Nationale Trends

Von den Technologien, die in der ersten Quadrantendarstellung 2019 abgebildet wurden, sind 19 auch 2023 wieder vertreten. Es ist aufschlussreich zu vergleichen, wie sich ihre Position in den Jahren zwischen den Publikationen verändert hat. Für viele Technologien sind markante Positionsänderungen sichtbar.

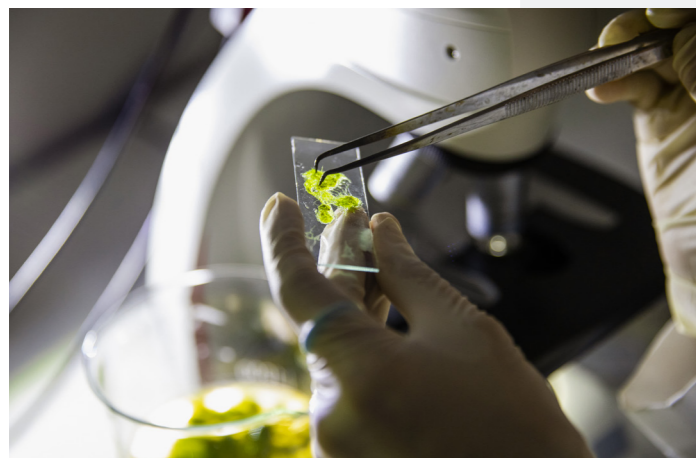
Für die Berechnung der volkswirtschaftlichen Bedeutung ist der Umsatz von Schweizer Firmen der bestimmende Hauptfaktor. Eine Positionsänderung nach rechts resultiert demnach mehrheitlich aus einer Umsatzsteigerung, d.h. aus industriellen Aktivitäten. Vor allem Quanten- und Postquantenkryptografie, alternative Proteinquellen und Point-of-Care-Testing zeigen starke Verschiebungen nach rechts. Die Anzahl akademischer und industrieller Forschungsgruppen in der Schweiz bestimmt den Wert für die Forschungskompetenz. Eine Verschiebung nach oben kann somit akademisch und / oder industriell bedingt sein. Ausser bei Point-of-Care-Testing und Quanten- und Postquantenkryptografie hat eine Zunahme der Anzahl industrieller Forschungsgruppen zur erhöhten Forschungskompetenz geführt. Demnach erklärt sich die zunehmende Bedeutung der Technologien für die Schweiz fast ausschliesslich mit industriellen Aktivitäten. Die Positionsänderungen sind auf der Webseite des Technology Outlook umfassend dargestellt, nicht aber in der Quadrantendarstellung des Management Summary.

Die SATW verfolgt seit 2018 die Diskussion auf den Twitter-Kanälen (Rebranding ab 2023 zu X) der Schweizer Hochschulen. Im Mittel der Jahre 2021 und 2022 dominierte Photovoltaik die Diskussion: 33 Prozent aller Hochschulen äusserten sich zu Photovoltaik, 31 Prozent zu Blockchain, 29 Prozent zu Extended Reality, 18 Prozent zu Quantencomputing und 16 Prozent zu Massenkultivierung von Stammzellen. In den Top 5 auf Twitter sind nur Technologien, die in der Quadrantendarstellung eine Verschiebung nach rechts zeigen. Betrachtet über die Zeit hat die Anzahl der Hochschulen, die sich zu Photovoltaik und Quantencomputing äussern, zugenommen, wobei die Zunahme für Photovoltaik besonders ausgeprägt ist. Für die anderen drei der Top-5-Technologien in der Diskussion auf Twitter ist die Anzahl der Hochschulen, die sich zur Thematik äussern, rückläufig. Hier scheint eine Verlagerung in die Industrie anzustehen, wie auch die Positionsänderung nach rechts in der Quadrantendarstellung vermuten lässt.

Quadranten- darstellung

Technologische Nische

Der Return on Investment muss hinterfragt werden. Es gilt, die internationale Vermarktung zu verbessern, neue Geschäftsfelder zu erschliessen und die Fertigungsprozesse zu optimieren, um die Produktionskosten zu senken.



Die **künstliche Photosynthese** nutzt Sonnenenergie, um Wasser in Sauer- und Wasserstoff zu spalten und mit CO₂ aus der Atmosphäre oder aus industriellen Abgasen in Kohlenwasserstoffe wie Treibstoffe umzuwandeln. Das Verfahren dürfte einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung leisten.

Technologischer Star

Die Chancen für eine positive Zukunftsentwicklung sind gut und sollten genutzt werden. Um am Puls der Zeit zu bleiben, müssen Unternehmen das Wissen einsetzen und neue Geschäftsfelder erschliessen.

• **Photovoltaik**

Alternative Proteinquellen: Die Fleischindustrie belastet die Umwelt. Konsument:innen suchen deshalb Alternativen zu Fleischprodukten. Deren Entwicklung ist aber nur ökologisch, wenn die relevanten Akteur:innen die grossen Fragen gemeinsam angehen. Es lohnt sich: 2021 generierten Schweizer Firmen weltweit einen Umsatz von rund 500 Millionen Schweizer Franken.

• **Massenkultivierung von Stammzellen**

• **Alternative Proteinquellen**

• **Nachhaltige Lebensmittelproduktion**

• **5G**



• **Künstliche Photosynthese**

• **Negativemissionstechnologien**

• **Blockchain**

• **Bioinspiration und Biointegration**

Technologischer Hoffnungsträger

Der Markt ist noch nicht reif. Die Zukunft wird zeigen, ob es sich dabei um aufgehende Sterne oder um Ladenhüter handelt. Die Entwicklungen sollten verfolgt und das internationale Marktpotenzial bestimmt werden.

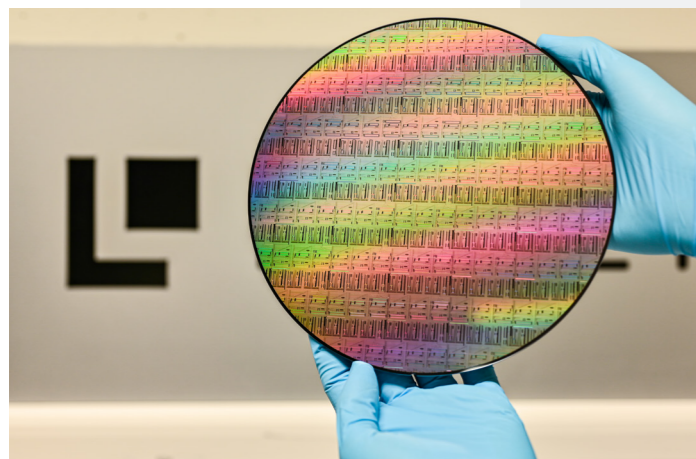
• **Extended Reality**

Technologischer Selbstläufer

Dies sind Technologien, die sich derzeit nur langsam entwickeln. Die weitere Entwicklung sollte genau beobachtet werden. Investitionen in Aus- und Weiterbildung sowie in Forschung könnten sich auszahlen.

• **Internet of Things**

• **Connected Machines**



Photonic Integrated Circuits (PICs): Laserdioden und Filter statt Transistoren und Widerstände: Chips mit photonischen Schaltkreisen arbeiten energieeffizienter als ihre elektronischen Vorläufer. Die Technologie gilt im Hinblick auf den zukünftigen, hohen Stromverbrauch der IT-Infrastruktur als bahnbrechend und bietet Marktchancen für spezialisierte Firmen.

Forschungskompetenz in der Schweiz

• **Quantencomputing**

• **Autonome Fahrzeuge**

• **Geothermie**

• **Quanten- und Postquantenkryptografie**

• **Personalisierte Ernährung**

• **Faseroptische Sensoren**

• **Antimikrobielle Oberflächen**

• **Wärmeleitende elektrische Isolatoren**

• **Roboterchirurgie**

• **PICs**

• **Mikrobiom**

• **Digitaler Zwilling**

• **Biokatalyse**

• **Synthetische Biologie**

• **Mobilitätskonzepte**

• **CO₂-armer Beton**

• **Nachhaltige Kleb- und Dichtstoffe**



Biokatalyse setzt auf Mikroorganismen als Reaktionsbeschleuniger und ist eine wertvolle Alternative zur chemischen Synthese: Die Prozesse werden effizienter und zielgerichteter. In einem Umfeld von Energiemangel und Klimawandel ist sie ein Lichtblick für eine grünere Chemie und eine umfassende Kreislaufwirtschaft.

Internationale Trends

Seit dem Jahr 2018 verfolgt die SATW die offiziellen Twitter-Kanäle (Rebranding ab 2023 zu X) von 833 Hochschulen: in der Schweiz, Deutschland, Frankreich, Italien, Österreich und in Grossbritannien. Eine solche Auswertung zeigt, wie die Hochschulen den technologischen Diskurs in ihrer jeweiligen gesellschaftlichen Umwelt wahrnehmen, und erlaubt es, Aussagen darüber zu treffen, welchen Themen wo und wann Aufmerksamkeit zukommt. Ein solcher Vergleich ermöglicht allerdings keine Aussage darüber, wo was in welcher Intensität beforscht wird.

In den fünf Jahren von 2018 bis 2022 wurden über die Twitter-Kanäle der erfassten Hochschulen rund 1,7 Millionen Beiträge versendet. Rund 17'000 davon nehmen Bezug auf eine im Technology Outlook beschriebene Technologie. Besonders hervorzuheben sind die beiden Forschungsfelder Digitale Welt sowie Energie und Umwelt. Beiden kommt gesamteuropäisch mit Abstand mehr Aufmerksamkeit zu als den Forschungsfeldern Fertigungsverfahren und Materialien sowie Life Sciences.

Das Forschungsfeld Digitale Welt hat in allen Ländern an Aufmerksamkeit verloren. Besonders deutlich ist der Rückgang in der Schweiz und in Grossbritannien. Insbesondere twitterten die Hochschulen weniger zu jenen Technologien, die in den vergangenen Jahren am meisten Aufmerksamkeit auf sich vereint hatten. Das sind Blockchain (-9 Prozentpunkte), Internet of Things (- 8 Prozentpunkte) und Extended Reality (-6 Prozentpunkte), die trotz Rückgang noch immer zu den präsentesten Technologien gehören. Positiv entwickelt haben sich die beiden Technologien digitaler Zwilling (+4 Prozentpunkte) und Quantencomputing (+2 Prozentpunkte).

Technologien aus dem Bereich Energie und Umwelt haben überall ausser in Italien an Aufmerksamkeit gewonnen. Die positive Entwicklung ist insbesondere auf die Photovoltaik (+4 Prozentpunkte) und auf die Negativemissionstechnologien (+2 Prozentpunkte) zurückzuführen. Nirgends in Europa ist das Interesse an Photovoltaik so stark angestiegen wie in der Schweiz (+16 Prozentpunkte). Mobilitätskonzepte haben demgegenüber fast überall an Aufmerksamkeit eingebüsst.

Chancen für die Schweiz

Neue Technologien erhalten besonders viel Aufmerksamkeit, wenn sie besser sind als Bestehendes: höhere Effizienz, verbesserte Sicherheit oder wirksamerer Umweltschutz. In der Regel betreffen sie somit mehrere Bereiche und setzen interdisziplinäres Denken voraus.

Der Forschungs- und Wirtschaftsstandort Schweiz lebt von Ökosystemen, in denen Akteur:innen aus unterschiedlichen Forschungsgebieten und Industrieklassen zusammenkommen, und ist prädestiniert für interdisziplinäre Lösungsansätze. Gemäss Aussagen der beteiligten Expert:innen aus Forschung und Industrie sind unter anderem folgende Technologien aus dem Technology Outlook wegen der interdisziplinären Anforderungen eine grosse Chance für die Schweiz: *Bio-inspiration und Biointegration, Connected Machines, Mikrobiom, personalisierte Ernährung, synthetische Biologie.*

Interdisziplinäre Forschungsfelder haben disruptives Potenzial, sehen sich aber mit Finanzierungsschwierigkeiten konfrontiert. Für die Beurteilung der fachlich komplexen Gesuche zur finanziellen Förderung sind interdisziplinäre Beurteilungsgremien unabdingbar.

Grosses Potenzial für den Wirtschaftsstandort Schweiz bieten spezialisierte Hightech- und Nischenanwendungen wie: *antimikrobielle Oberflächen, Bioplastik, digitaler Zwilling, Photovoltaik, Photonic Integrated Circuits (PICs).*

Diese Technologien – und die daraus resultierenden Anwendungen – können durch etablierte Firmen jeglicher Grösse, aber auch durch Start-ups entwickelt werden. Zudem bieten sich Möglichkeiten für interessante Business Cases. So werden Arbeitsplätze und Wertschöpfung in der Schweiz generiert.

Für einige Technologien kann die Schweiz eine Vorreiterrolle übernehmen und Know-how statt Produkte exportieren. Sie kann in der Entwicklung als Reallabor dienen und die Erkenntnisse in die Weiterentwicklung einfließen lassen. Von besonderer Relevanz sind in diesem Zusammenhang: *CO₂-armer Beton, Mobilitätskonzepte, Negativemissionstechnologien, personalisierte Ernährung.*

Für ein Gedeihen des Wirtschaftsstandorts Schweiz ist die enge Verbindung von Forschung und Industrie zentral. Diese gelingt nur, wenn der Austausch zwischen dem Denk- und Werkplatz regelmässig praktiziert wird und die angewandte Forschung gefördert wird.

Showcases



Personalisierte maschinelle Übersetzung von Textshuttle

Textshuttle

Ein Unternehmen – eine Stimme

Mit einem Hund, den man nicht kennt, eine anspruchsvolle Bergwanderung unternehmen? Die Antwort dürfte einfach sein. Genauso verhält es sich mit Übersetzungen von Firmentexten. Wer will diese einer frei verfügbaren Software wie ChatGPT, Google Translate oder DeepL anvertrauen, die Terminologie und Sprachstil der Firma nicht kennt? Textshuttle, ein Spin-off der Universität Zürich, entwickelt Software, die wie die frei verfügbaren Tools auf maschinellem Lernen basiert, aber auch mit den unternehmensinternen Wendungen und

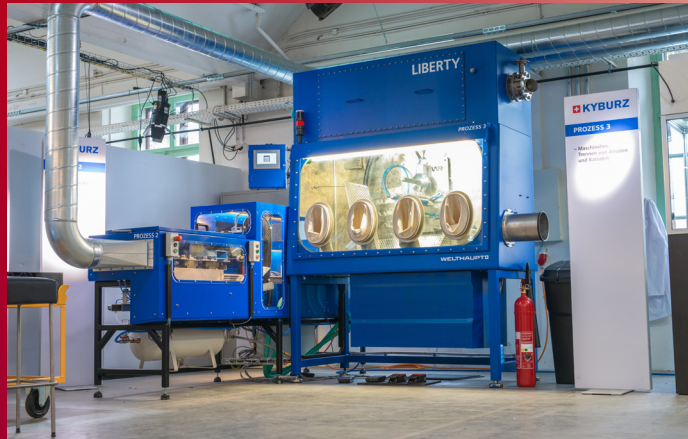


«Textshuttle gibt jedem Unternehmen seine eigene Stimme.»

Samuel Läubli, Textshuttle

Übersetzungen als die vergleichbaren Gratistools und führen zu einer Effizienzsteigerung von 40–60 Prozent bei den Sprachdiensten. Zudem verbleiben die Daten bei den Kund:innen selbst oder auf Servern in der Schweiz. Es können also auch sensible Informationen maschinell übersetzt werden.

Sprachvorgaben trainiert wird. Die Software eignet sich den Sprachleitfaden eines Unternehmens sozusagen an und lernt zusätzlich Ausdrucksweisen professioneller Übersetzer:innen. Hier liegt auch der Gewinn einer solchen Anwendung: Auf Firmen angepasste Lösungen liefern qualitativ hochwertigere



Von Kyburz entwickelte Anlage, mit der Batteriezellen maschinell aufgeschnitten und die Elektroden fürs Recycling entnommen werden können

Kyburz Switzerland AG

Batterien im Wasserbad rezyklieren

Wie die seltenen Rohstoffe in Batterien umweltfreundlich zurückgewonnen werden können – diese Frage stand am Anfang der Entwicklung eines neuartigen Recyclingverfahrens bei der Firma Kyburz. Die Firma ist bekannt für die dreirädrigen Elektro-Zustellfahrzeuge der Post, deren Ressourcen in einem



«Wir betrachten alte Batterien nicht als Abfall, sondern als Rohstoff.»

Olivier Groux,
Kyburz Switzerland AG

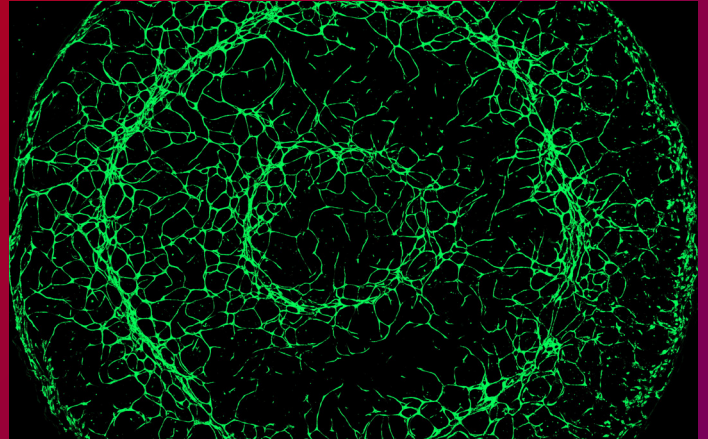
Kreislauf maximal genutzt werden. Batterien, die sich nicht mehr für die Wiederverwendung eignen, gelangen ins zweistufige Recycling. Zuerst werden die Batteriezellen entladen, maschinell aufgeschnitten und die Elektroden entnommen; dann werden diese mit Wasser in ihre Bestandteile aufgetrennt. So gewinnt man das Aktivmaterial zurück, das den Rohstoff Lithium enthält. Letztes Jahr wurde demonstriert, dass aus dem rezyklierten Material neue Batteriezellen hergestellt werden können. Das neue Verfahren hat gegenüber dem gängigen Batterierecycling den Vorteil, dass es ohne Chemikalien und mit geringem Energieaufwand auskommt. Es leistet einen Beitrag zur nachhaltigen Rückgewinnung von Batterierohstoffen und hilft, ein dringliches Problem der Elektromobilität anzugehen.

Kreislauf maximal genutzt werden. Batterien, die sich nicht mehr für die Wiederverwendung eignen, gelangen ins zweistufige Recycling. Zuerst werden die Batteriezellen entladen, maschinell aufgeschnitten und die Elektroden entnommen; dann werden diese mit Wasser in ihre Bestandteile aufgetrennt. So gewinnt man das Aktivmaterial

Showcases



Musterbauteil einer Gitterstruktur aus Formgedächtnisstahl



Schall-induzierte Gewebeorganisation

 Empa

Erdbebenschutz in vier Dimensionen

Brillen aus Formgedächtnislegierungen springen in ihre alte Form zurück, wenn sie in heisses Wasser gelegt werden. Eine Eigenschaft, die auch interessant ist, um Gebäude zu stützen und stabilisieren. Dafür braucht es Produkte auf Eisenbasis, also Armierungseisen mit Formgedächtniseigenschaften.



«Gelingt die Skalierung, können 4D-gedruckte Gitter eingesetzt werden, um Bauwerke gegen Erdbeben zu sichern.»

Irene Ferretto, Empa

Forscher:innen an der Empa haben eine neuartige Eisenlegierung entwickelt: Sie entfaltet den Gedächtniseffekt bei Temperaturen, die selbst bei Sonnenschein nicht erreicht werden, aber doch nicht so hoch sind, dass der Beton Schaden nimmt. Armierungseisen mit optimalen Eigenschaften werden hierfür aus dem neuartigen Formgedächtnisstahl gedruckt: Die

Kombination von Material mit Gedächtniseffekt und 3D-Druck führt zu 4D-Druck bzw. Druck in vier Dimensionen. Das volle Potenzial des Verfahrens wird für Bauwerke allerdings erst erreicht, wenn komplexe Strukturen wie Gitter mit Gedächtniseigenschaften gedruckt werden. Ein solches Gitter könnte beispielsweise die Schockwellen eines Erdbebens absorbieren und danach durch Wärmeeinwirkung wieder in den Originalzustand zurückgesetzt werden. Und das nicht nur einmal, sondern immer wieder.

 MimiX Biotherapeutics

Implantate ab dem Lautsprecher

Gewebeorganisation durch Klang – die Idee führte zur Gründung der Firma MimiX Biotherapeutics. Zellen werden in einem Hydrogel, einem in Wasser gequollenen Netzwerk, beschallt und fixiert, sobald sich die erwünschte Geometrie mithilfe von Musik ausgebildet hat. Das so entstandene Implantat ist ein dreidimensionales, künstlich hergestelltes Gewebestück mit einer definierten räumlichen Anordnung der Zellen. Studien an



«Das Verfahren ist so einfach, dass die Fertigung der Implantate direkt am Spitalbett angestrebt wird.»

Tiziano Serra,
Mimix Biotherapeutics

Mäusen zeigen, dass die Implantate als Keimzelle für physiologische Strukturen dienen: Sie organisieren krankes Gewebe in ihrer Umgebung und bilden gefässähnliche Strukturen, die für die Heilung essenziell sind. Zudem werden die Implantate vom Körper gut vertragen. Somit sind sie für Anwendungen in der regenerativen Medizin prädestiniert und könnten zu einem Gamechanger in der

Knochen- oder Hautregeneration sowie in der Entwicklung künstlicher Miniorgane werden. Das Verfahren ist für die Zellen gut verträglich und ist technisch einfach. Die Anwendungsmöglichkeiten beschränken sich aber nicht auf die Medizin, auch die Herstellung von Laborfleisch könnte von der Technologie profitieren. Imitation der Natur, um das Leben zu orchestrieren.