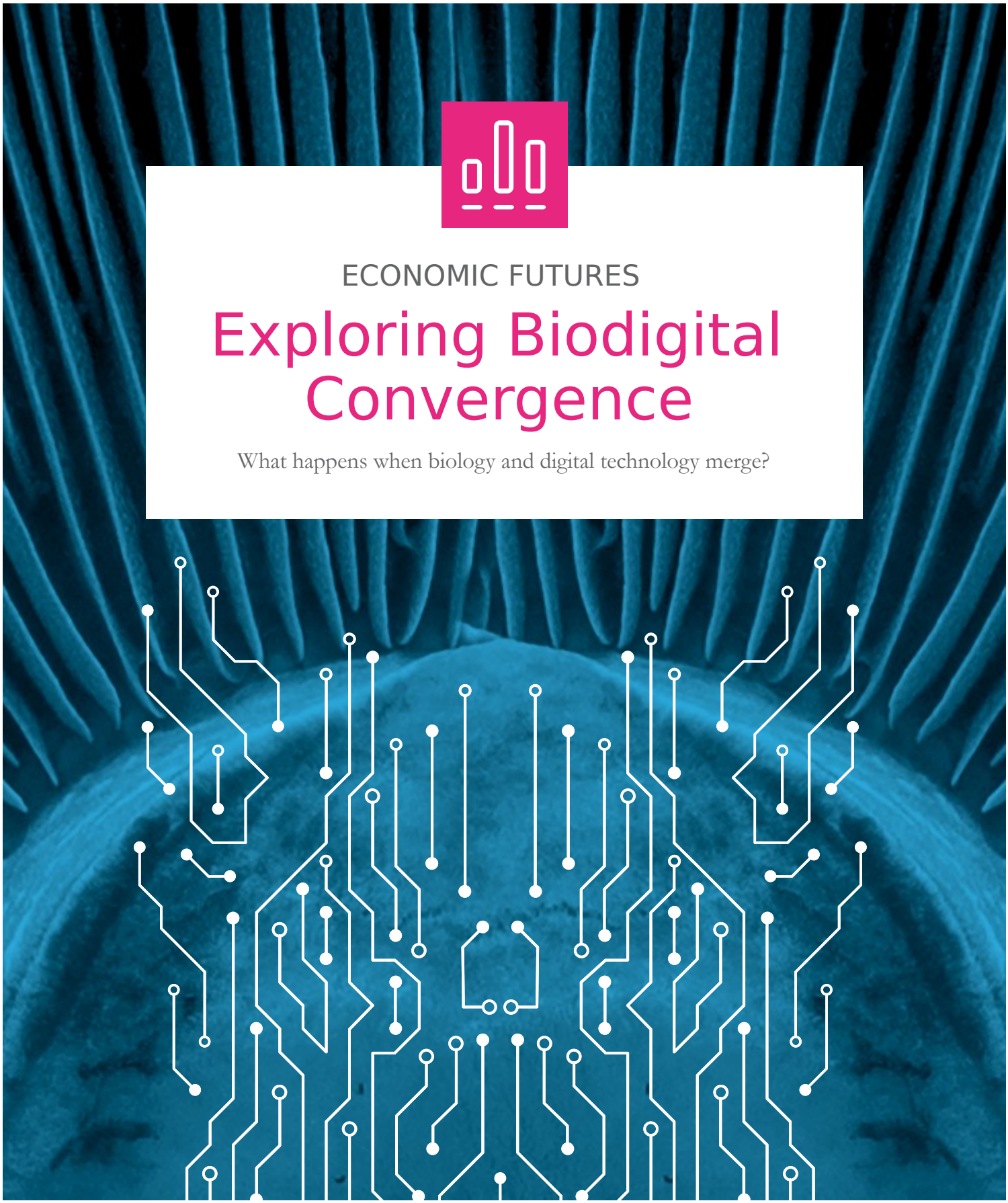
Policy Horizons Canada
Horizons de politiques Canada



ECONOMIC FUTURES

Exploring Biodigital Convergence

What happens when biology and digital technology merge?

Canada

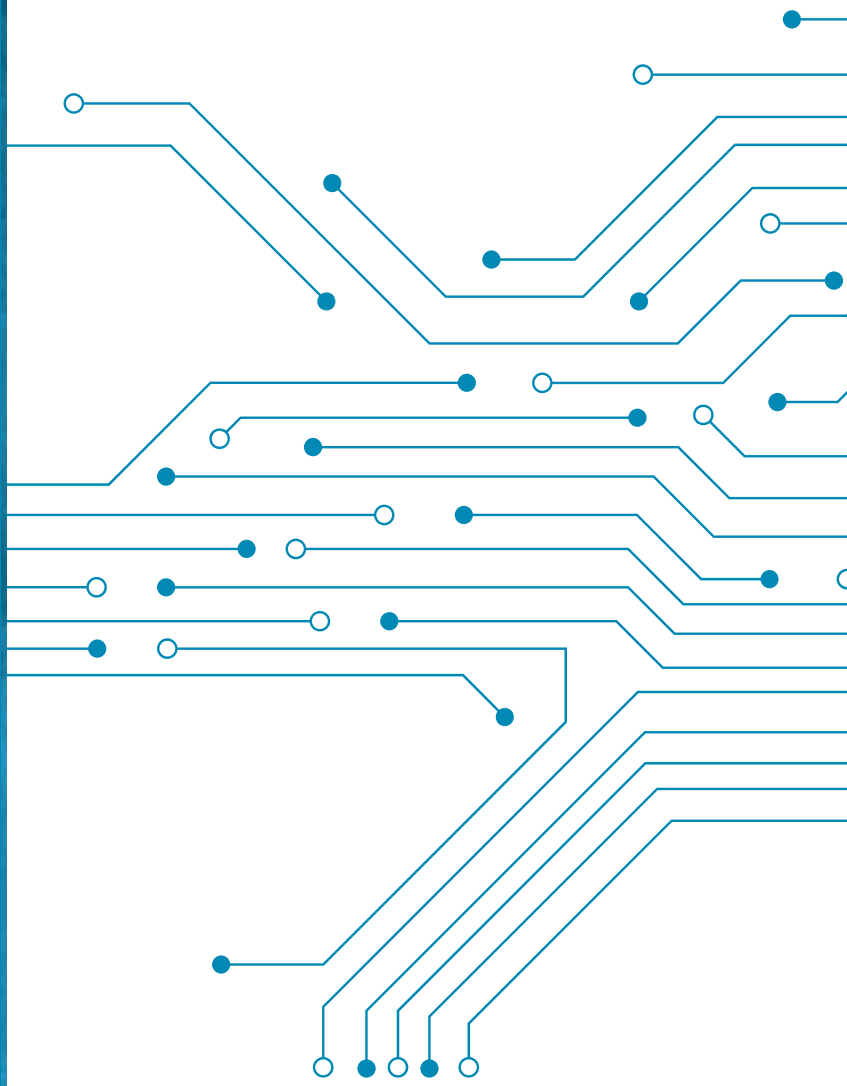
Exploring Biodigital Convergence

© Her Majesty the Queen
in Right of Canada, 2019

For information regarding reproduction rights:
https://horizons.gc.ca/en/contact-us/

PDF
Cat. No.: PH4-185/2019E-PDF
ISBN: 978-0-660-33015-0

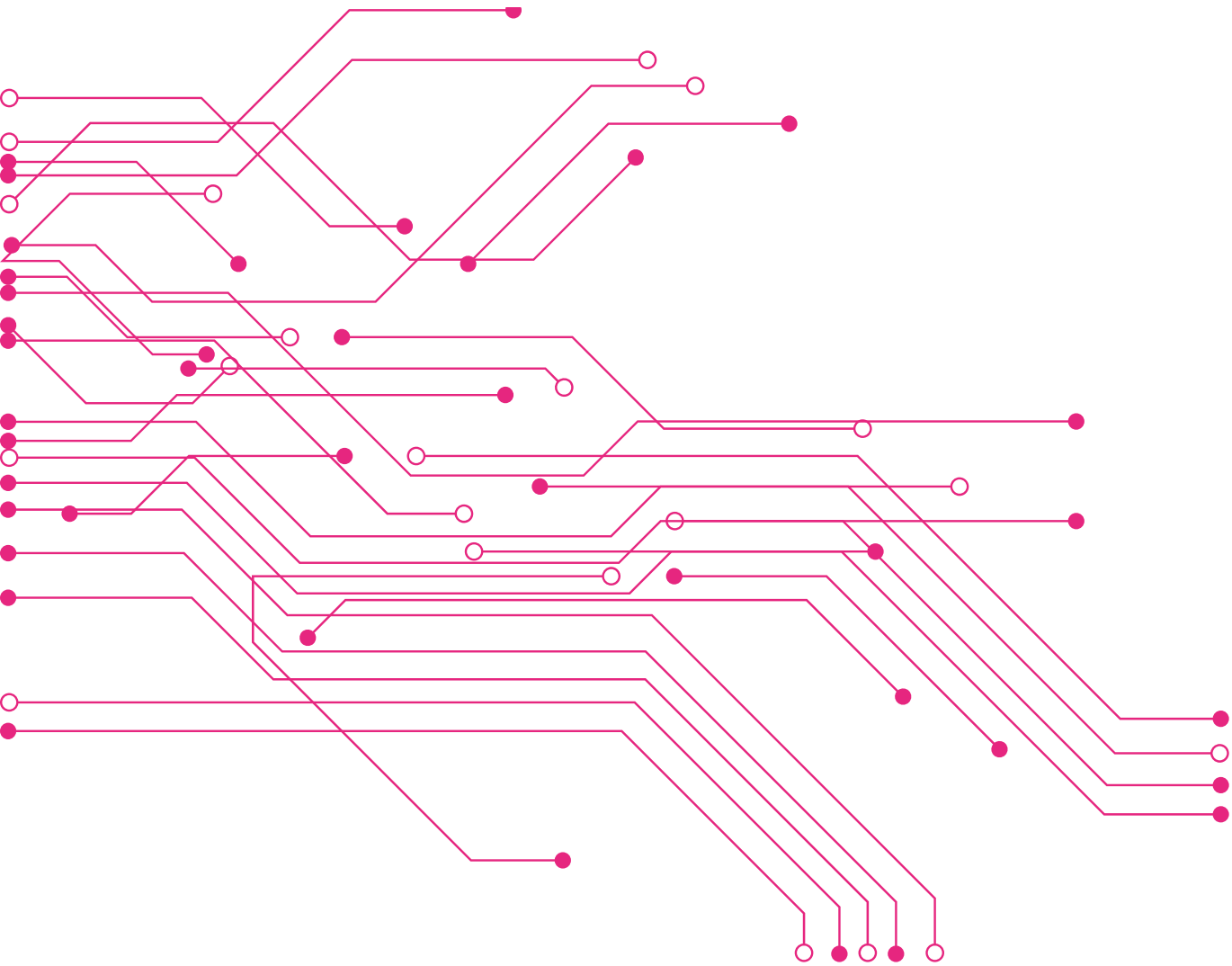
DISCLAIMER
Policy Horizons Canada (Policy Horizons) is a strategic foresight organization within the Government of Canada with a mandate to help the Government develop future-oriented policy and programs that are more robust and resilient in the face of disruptive change on the horizon. The content of this document does not necessarily represent the views of the Government of Canada, or participating departments and agencies.



ECONOMIC FUTURES

Exploring Biodigital Convergence

Was passiert, wenn Biologie und Digitaltechnik verschmelzen?



Inhaltsübersicht

04 Vorwort

06 Zusammenfassung

08 Was ist biodigitale Konvergenz?

12 Warum jetzt die biodigitale Konvergenz erforschen?

16 Guten Morgen, biodigital.

20 Welche neuen Möglichkeiten ergeben sich aus biodigitaler Konvergenz?

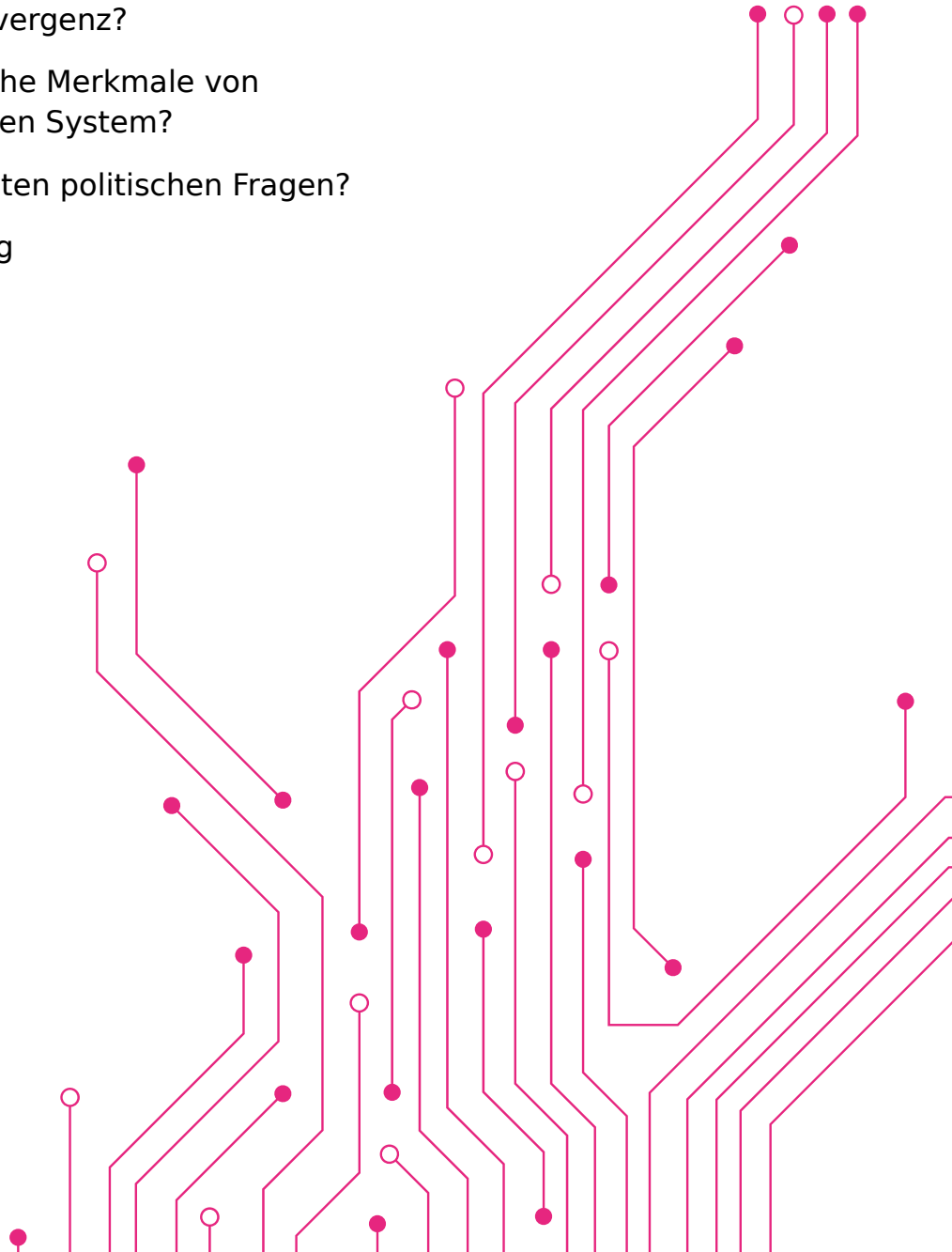
30 Was sind mögliche Merkmale von einem biodigitalen System?

36 Was sind die ersten politischen Fragen?

45 Schlussfolgerung

46 Danksagung

48 Fußnoten



Vorwort

In den kommenden Jahren könnten biodigitale Technologien in unser Leben eingeflochten werden, so wie es heute die digitalen Technologien sind. Biologische und digitale Systeme konvergieren und könnten die Art und Weise, wie wir arbeiten, leben und uns sogar als Spezies weiterentwickeln, verändern. Mehr als ein technologischer Wandel könnte diese biodigitale Konvergenz die Art und Weise verändern, wie wir uns selbst verstehen, und uns dazu veranlassen, neu zu definieren, was wir als menschlich oder natürlich betrachten.

Die biodigitale Konvergenz kann tiefgreifende Auswirkungen auf unsere Wirtschaft, unsere Ökosysteme und unsere Gesellschaft haben. Wenn wir darauf vorbereitet sind, sie zu unterstützen und gleichzeitig mit ihren Risiken sorgfältig und sensibel umzugehen, werden wir die Art und Weise bestimmen, wie wir mit sozialen und ethischen Überlegungen umgehen und die Gespräche über Politik und Amtsausübung führen.

Policy Horizons Canada (Policy Horizons) möchte im Rahmen seines Mandats einen fundierten und sinnvollen Dialog über plausible Zukunftsperspektiven für die biodigitale Konvergenz und die sich daraus ergebenden politischen Fragen führen. In diesem ersten Papier definieren und erforschen wir die biodigitale Konvergenz - warum es wichtig ist, sie jetzt zu erforschen, ihre Merkmale, welche neuen Möglichkeiten sich daraus ergeben könnten, und einige erste politische Implikationen. Wir möchten mit einem breiten Spektrum von Partnern und Interessenvertretern darüber diskutieren, wie unsere biodigitale Zukunft aussehen könnte, wie sich diese Konvergenz auf Sektoren und Branchen auswirken könnte und wie sich unsere Beziehungen zur Technologie, zur Natur und sogar zum Leben selbst weiterentwickeln könnten.

Wir freuen uns über Ihre Kommentare und Ihre Teilnahme und darauf, die in diesem Papier aufgeworfenen Fragen zu vertiefen.

Kristel Van der Elst

Director General

Policy Horizons Canada

Zusammenfassung

In den späten 1970er und frühen 1980er Jahren begannen Kanadier und politische Entscheidungsträger zu verstehen, dass das digitale Zeitalter vor der Tür stand. Die ersten Akteure nutzten die Chancen, stellten sich den Herausforderungen und leiteten eine geschickte Politik ein, die sich seit Jahrzehnten auszahlt. Die Auswirkungen der Digitalisierung sind nach wie vor spürbar, und es werden sicherlich noch weitere folgen. Aber vielleicht stehen wir an der Schwelle zu einer weiteren Umwälzung von ähnlichem Ausmaß. Digitale Technologien und biologische Systeme beginnen sich auf eine Weise zu verbinden und zu verschmelzen, die unsere Annahmen über die Gesellschaft, die Wirtschaft und unseren Körper tiefgreifend verändern könnte. Wir nennen dies **die biodigitale Konvergenz**.

Drei Wege zu biodigital Konvergenz zeichnet sich ab

1. **Vollständige physische Integration von biologischen und digitalen Einheiten**
2. **Koevolution von biologischen und digitalen Technologien**
3. **Konzeptuelle Konvergenz von biologischen und digitalen Systemen**

Die biodigitale Konvergenz eröffnet ganz neue Möglichkeiten:

- Menschen verändern - den Körper, den Geist und die Verhaltensweisen
- Andere Organismen verändern oder erschaffen
- Ökosysteme verändern
- Erfassen, Speichern, Verarbeiten und Übertragen von Informationen
- Verwaltung der biologischen Innovation
- Produktions- und Lieferketten strukturieren und verwalten

Mögliche Merkmale des biodigitalen Systems

- Demokratisierung
- Dezentralisierung
- Geografische Ausbreitung
- Skalierbarkeit
- Personalisierung
- Vertrauen auf Daten

Erste politikrelevante Fragen

Wirtschaft

- Könnten traditionelle ressourcenbasierte Wettbewerbsvorteile schwinden?
- Müssten die Systeme der allgemeinen und beruflichen Bildung angepasst werden, um mögliche Qualifikationslücken zu schließen?
- Wie könnten die Rahmenbedingungen für Datenschutz und geistiges Eigentum im biodigitalen Zeitalter aussehen?
- Wie kann die Politik ein wettbewerbsfähiges Unternehmensumfeld in einer biodigitalen Welt fördern?

Soziales

- Könnte sich die gesellschaftliche Einstellung zu Gesundheit und Lebensstil ändern?
- Welche politischen Maßnahmen könnten dazu beitragen, gesundheitliche Ungleichheit zu bekämpfen?
- Welche Maßnahmen könnten das Vertrauen zwischen Partnern und Interessengruppen fördern?

Umwelt

- Welche Veränderungen könnten bei der Flächennutzung und in der natürlichen Umwelt eintreten?

Geopolitik

- Welche politischen Maßnahmen sind erforderlich, um in einer globalen biodigitalen Welt wettbewerbsfähig zu sein?
- Was ist erforderlich, um die Sicherheit der Bürger in der biodigitalen Welt zu schützen?

Regierungsgewalt

- Wie können Regulierung und Politikgestaltung den sozialen Bedenken gegenüber biodigitalen Fortschritten Rechnung tragen?
- Ist der derzeitige steuerliche Rahmen für die biodigitale Welt geeignet?
- Müssen die öffentlichen Finanzsysteme neu bewertet werden, um in der biodigitalen Welt nachhaltig zu sein?

Was ist biodigitale Konvergenz?

Unter biodigitaler Konvergenz versteht man die interaktive Kombination, manchmal bis hin zur Verschmelzung, von digitalen und biologischen Technologien und Systemen. Policy Horizons untersucht drei Wege, auf denen diese Konvergenz stattfindet.

1 Vollständige physische biologische und digitale Integration von Einheiten

Digitale Technologie kann in Organismen eingebettet sein, und biologische Komponenten können als Teile digitaler Technologien existieren. Durch die physische Verflechtung, Manipulation und Verschmelzung von Biologischem und Digitalem entstehen neue hybride Formen von Leben und Technologie, die beide in der greifbaren Welt funktionieren, oft mit gesteigerten Fähigkeiten.

Roboter mit biologischen Gehirnen[01] und biologische Körper mit digitalen Gehirnen[02] gibt es bereits, ebenso wie Mensch-Computer- und Gehirn-Maschine-Schnittstellen.[03] Der medizinische Einsatz digitaler Geräte beim Menschen,[04] sowie digital manipulierte Insekten wie Drohnenlibellen[05] und Überwachungs-heuschrecken,[06] sind Beispiele für die Kombination digitaler Technologie mit biologischen Einheiten. Durch Anzapfen des Nervensystems und Manipulation der Neuronen kann einem Organismus Technik hinzugefügt werden, um seine Funktion und seinen Zweck zu verändern. Mit fortschreitender Konvergenz könnten neue menschliche Körper und neue Identitätsgefühle[07] entstehen.

2 Koevolution von biologischen und digitalen Technologien

Diese Art von biodigitaler Konvergenz entsteht, wenn Fortschritte in einem Bereich zu großen Fortschritten im anderen führen. Die Koevolution von biologischen und digitalen Wissenschaften und Technologien ermöglicht Fortschritte in jedem Bereich, die sonst nicht möglich wären. Dies könnte zu biologischen und digitalen Technologien führen, die als integrierte oder komplementäre Systeme entwickelt werden.

Komplexe lebende Systeme - Bakterien, Pilze, Pflanzen und tierisches Leben einschließlich des Menschen - werden zunehmend von digitalen Werkzeugen und Anwendungen wie dem maschinellen Lernen untersucht und verstanden. Dieses tiefere Verständnis, das durch digitale Technologien ermöglicht wird, bedeutet, dass die Biologie in einer Weise beeinflusst und manipuliert werden kann, die noch vor wenigen Jahren nicht möglich war. Was ist biodigitale Konvergenz?

So führt beispielsweise die Gensequenzierung in Verbindung mit künstlicher Intelligenz (KI) zum Verständnis der genetischen Expression, die dann zur Veränderung bestehender Organismen genutzt wird, um organische Verbindungen auf neue Art und Weise [08] oder sogar vollständig synthetische Organismen zu erzeugen.[09] Der CRISPR/Cas9-Ansatz und andere neue Gen-Editing-Techniken wären ohne die Entwicklung der Digitaltechnik und der Bioinformatik nicht möglich gewesen. Die Fortschritte in der Digitaltechnik haben die Entwicklung des Biodigitalen gefördert.[10]

Wir sehen auch ein besseres Verständnis der Biologie, das den Fortschritt auf dem Gebiet der biologischen Datenverarbeitung vorantreibt. Neuronale Netze - Computersysteme, die auf der Grundlage biologischer Gehirne entwickelt werden - sind ein Beispiel dafür, wie biologisches Verständnis die digitale Technologie beeinflusst.

Auch die Grenzen zwischen dem, was als natürlich oder organisch gilt, und dem, was digital, künstlich oder synthetisch ist, verschwimmen. Biosynthetische Vanille wird beispielsweise mit Ferulasäure, Eugenol und Glukose als Substrate und Bakterien, Pilzen und Hefen als mikrobielle Produktionswirte hergestellt. Obwohl sie nicht von einer Vanillepflanze stammt, darf sie sowohl nach dem US- als auch nach dem EU-Lebensmittelrecht als "natürliches Aroma" bezeichnet werden, da sie durch "mikrobielle Umwandlung natürlicher Ausgangsstoffe" hergestellt wird.[11]

3 Konzeptionelle Konvergenz von biologischen und digitalen Systemen

Eine dritte Form der biodigitalen Konvergenz beinhaltet einen Perspektivwechsel, der unseren Rahmen und unsere Herangehensweise an biologische und digitale Bereiche neu gestalten und die Verschmelzung der beiden Bereiche erleichtern könnte.

In dem Maße, wie wir die der Biologie zugrunde liegenden Mechanismen immer besser verstehen und kontrollieren, könnten wir eine Abkehr vom Vitalismus erleben - der Vorstellung, dass sich lebende und nicht lebende Organismen grundlegend voneinander unterscheiden, weil man davon ausgeht, dass sie von unterschiedlichen Prinzipien gesteuert werden.[12] Stattdessen könnte sich die Vorstellung, dass die Biologie vorhersehbare und digital verwaltbare Merkmale hat, als Folge des Lebens im biodigitalen Zeitalter immer mehr durchsetzen.
Wer heute Biologie studiert, ist in einer digitalen Welt aufgewachsen und wendet diesen Bezugsrahmen möglicherweise bewusst oder unbewusst auf die Bioinformatik und die Biologie im Allgemeinen an.

Aus der digitalen Perspektive sehen wir eine potenzielle Verschiebung in die entgegengesetzte Richtung. Die Datenverarbeitung begann als Mittel zur Erzeugung vorhersehbarer, reproduzierbarer und relativ einfacher Ergebnisse. Als die digitale Technologie immer komplexer und vernetzter wurde, begann das System, die Eigenschaften der biologischen Welt nachzuahmen, was zu dem Begriff der technologischen Ökosysteme führte. Biologische Modelle werden auch für die Entwicklung digitaler Werkzeuge verwendet, z. B. für die auf neuronalen Netzen basierende KI.

Drei Wege zur Entstehung der biodigitalen Konvergenz

1

Vollständige physische Integration von biologischen und digitalen Einheiten

Digitale Technologie kann in Organismen eingebettet sein, und biologische Komponenten können als Teile digitaler Technologien existieren.

2

Koevolution von biologischen und digitalen Technologien

Koevolution entsteht, wenn Fortschritte in einem Bereich zu großen Fortschritten in einem anderen führen.

3

Konzeptionelle Konvergenz von biologischen und digitalen Systemen

Die konzeptionelle Konvergenz beinhaltet eine Verschiebung der Perspektive, die unseren Rahmen und unsere Herangehensweise an biologische und digitale Bereiche neu gestalten und die Verschmelzung der beiden Bereiche erleichtern könnte.

Warum jetzt ? Die biodigitale Konvergenz Erforschen.

Es gibt genügend Signale, die einer möglichen biodigitalen Zukunft Gestalt geben. Diese Signale deuten darauf hin, dass die Biowissenschaften und die Biotechnologie an der Schwelle zu einer Periode rascher Expansion stehen - möglicherweise in Analogie zur digitalen Datenverarbeitung um 1985.

1985 führte Microsoft Windows 1.0 ein, Atari brachte den Atari ST Heimcomputer auf den Markt, und der erste Domainname, symbolics.com, wurde registriert. Die Datenverarbeitung trat in den Massenmarkt ein und schuf einen Mehrwert für viel mehr Arten von Organisationen und Kontexten als in den Jahrzehnten der riesigen Großrechner.

Bei der biodigitalen Konvergenz zeichnet sich eine ähnliche Entwicklung ab - weg von den zentralisierten Modellen der pharmazeutischen und industriellen Biotechnologie hin zu einer weit verbreiteten kommerziellen und privaten Nutzung. Diese reichen von Bioprintern, die organisches Gewebe herstellen, bis hin zu Maschinen der synthetischen Biologie, die so programmiert werden können, dass sie völlig neue Organismen erzeugen. Printeria beispielsweise ist ein All-in-One-Gerät für das Bioengineering, das den Druck genetischer Schaltkreise in Bakterien automatisiert. Es soll so einfach zu bedienen sein wie ein Desktop-Drucker für den Hausgebrauch und wird voraussichtlich 1.500 Dollar kosten.[13]

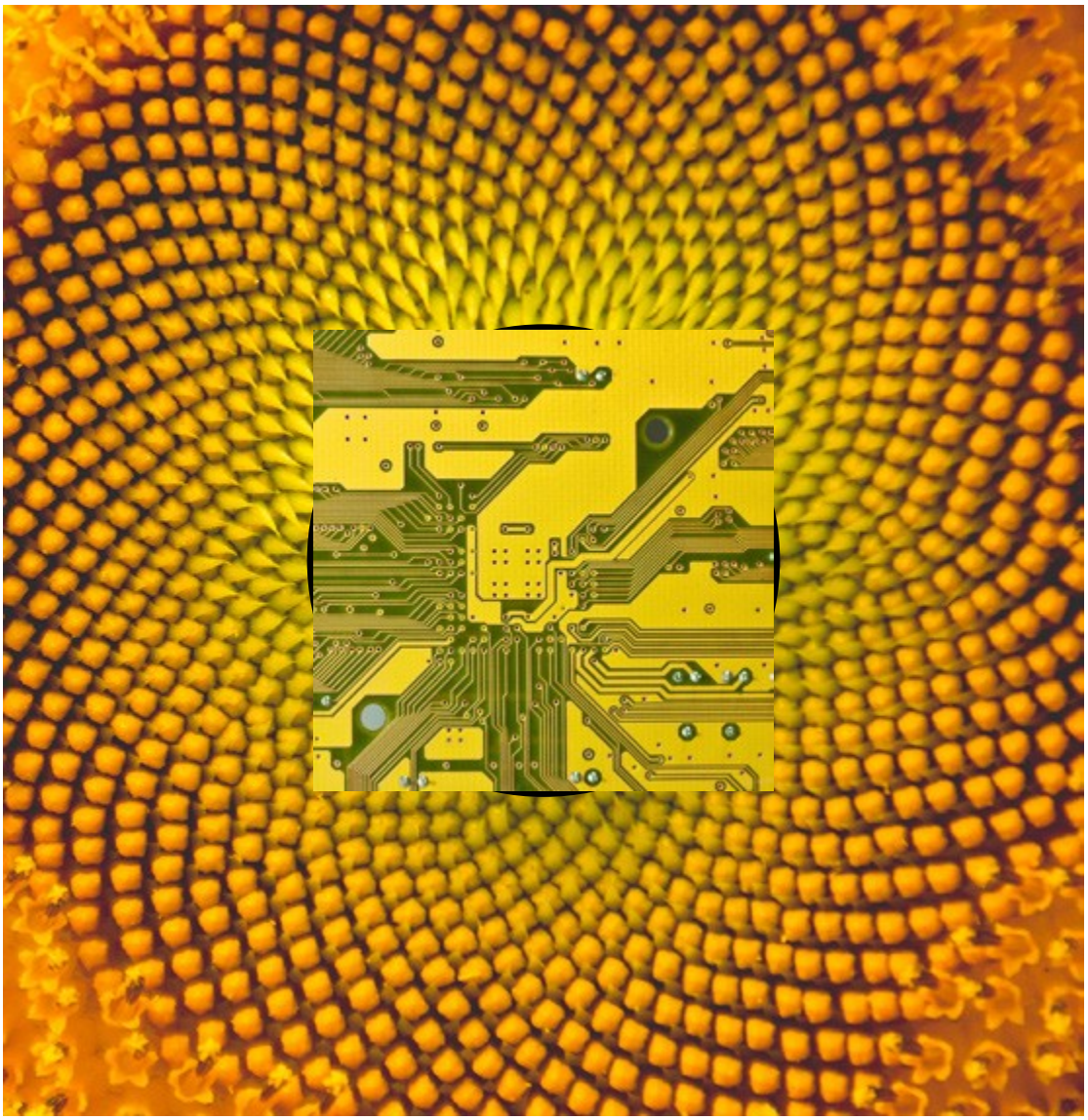
Der rasche Fortschritt bei den biologischen Technologien hat von den niedrigen Kosten, der breiten Verfügbarkeit und den zunehmenden Möglichkeiten der digitalen Verarbeitung, Speicherung und Kommunikation profitiert.

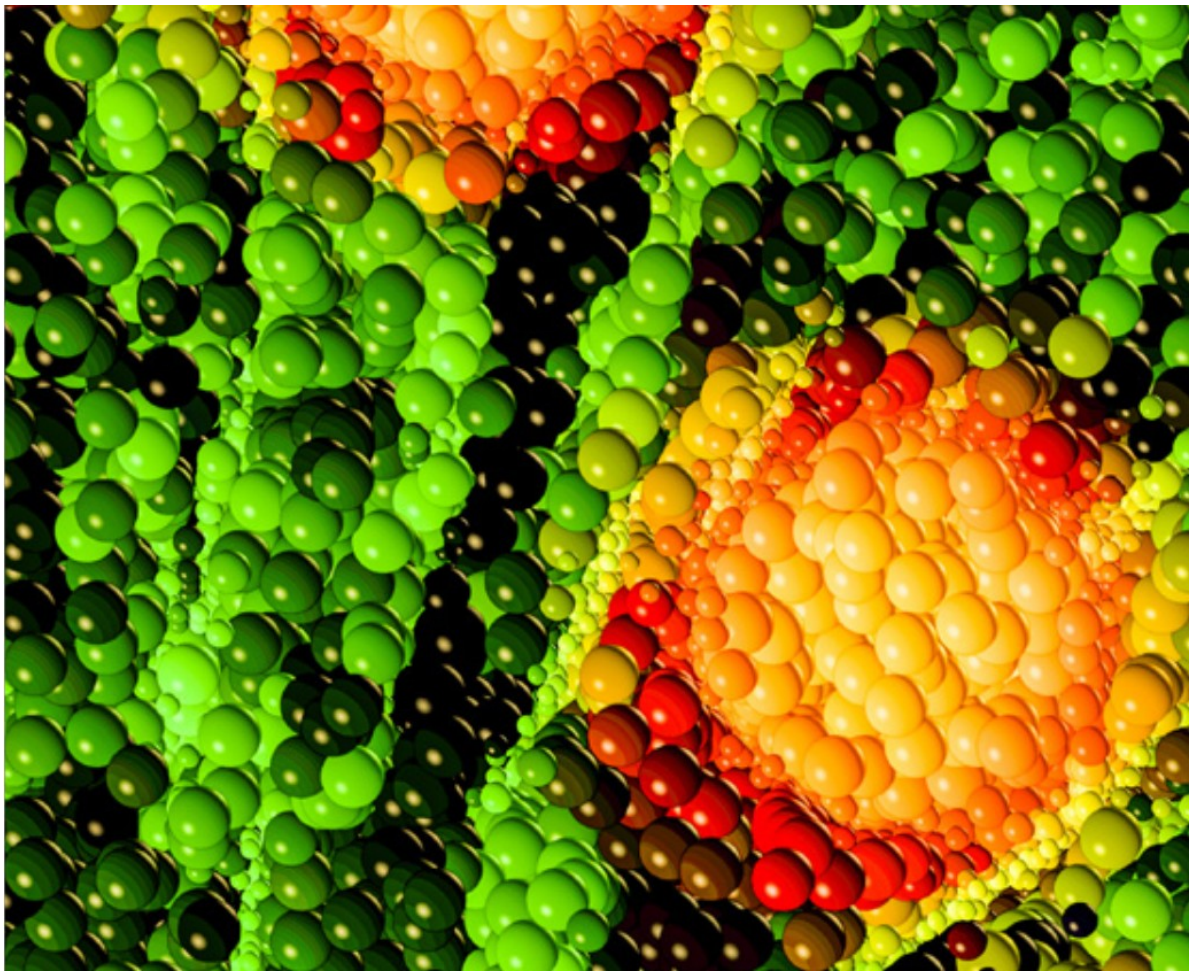
Die einzigartigen und besonderen Eigenschaften der biologischen Welt beeinflussen jedoch gleichzeitig die digitalen Systeme. Neue Formen der

biologische Fähigkeiten werden in digitale Netze sowie in KI-Anwendungen und Berechnungen eingebaut, wodurch sie effizienter werden und neue Möglichkeiten entstehen.

Bei der biodigitalen Konvergenz geht es darum, dass die Biologie sowohl die Rohstoffe als auch einen Mechanismus für die Entwicklung innovativer Prozesse zur Schaffung neuer Produkte, Dienstleistungen und Lebensweisen bereitstellt.

Das heutige rasante Tempo des Wandels und der Innovation zwingt uns, unser Verständnis und unsere Erwartungen an biologische und digitale Systeme neu zu bewerten. Die Konvergenz dieser Bereiche könnte sektorübergreifende systemische Veränderungen bewirken und politische Auswirkungen haben. Die Regierungen müssen damit rechnen, dass sie aufgefordert werden, zur Bewältigung der Risiken beizutragen und die sich bietenden Chancen zu nutzen.





Guten Morgen, biodigital.

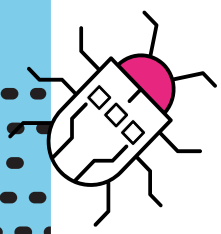
Viele Faktoren könnten sich darauf auswirken, wie sich biodigitale Konvergenztechnologien auf verschiedene Gesellschaften, Länder, Kulturen, Umgebungen und Menschen rund um den Globus auswirken könnten. Die folgende Darstellung ist eine von vielen möglichen Erzählungen, die einige der Innovationen in einer zukünftigen biodigitalen Welt beschreiben.

Ich erwache im Sonnenlicht und salziger Küstenluft des Adriatischen Meeres. Ich wohne zwar nicht in der Nähe des Mittelmeers, aber meine künstliche Intelligenz, die auch mein Gesundheitsberater ist, hat mir eine bestimmte Luftqualität, einen bestimmten Duft und eine bestimmte Sonnenintensität verordnet, um mein Energieniveau am Morgen zu steuern, und sie hat mein Schlafzimmer so programmiert, dass es dieses Klima nachahmt.

Die frischen Bettlaken, die in meinem Gebäude durch nachwachsende Pilze entstanden sind, sind besser, als ich es mir vorgestellt habe; ich fühle mich ausgeruht und bereit für den Tag. Bevor ich aufstehe, muss ich noch ein paar Dinge überprüfen. Ich schicke eine Nachricht an mein Gehirn, um die App zu öffnen, die meinen Insulinspiegel kontrolliert, und stelle sicher, dass meine Bauchspeicheldrüse optimal unterstützt wird. Ich kann mir nicht vorstellen, mich mit Nadeln zu spritzen, wie es meine Mutter als Kind getan hat. Jetzt ist es ein Mikroben-Transplantat, das sich automatisch anpasst und meine Werte meldet.

Alles scheint in Ordnung zu sein, also prüfe ich die digitale Schnittstelle meines Gehirns, um die Traumdaten zu lesen, die letzte Nacht in Echtzeit aufgezeichnet und verarbeitet wurden. Meine Therapie-App analysiert die emotionalen Reaktionen, die ich während des Schlafs ausgedrückt habe. Sie schlägt vor, dass ich mir in dieser Woche Zeit für einen Aufenthalt in der Natur nehme, um über meinen wiederkehrenden Traum vom gefangen sein nachzudenken und hilfreiche unterbewusste neuronale Aktivitäten zu fördern. Meine KI empfiehlt einen "Waldtag". Ich denke "okay", und meine KI und mein neuronales Implantat erledigen den Rest.

Die Zusammenfassung des Überwachungsmaterials meines Bugbots zeigt, dass meine Wohnung letzte Nacht vor Eindringlingen (einschließlich anderer Bugbots) sicher war, aber sie informiert mich darüber, dass meine Herde kleiner Cyber-Libellen hungrig ist.

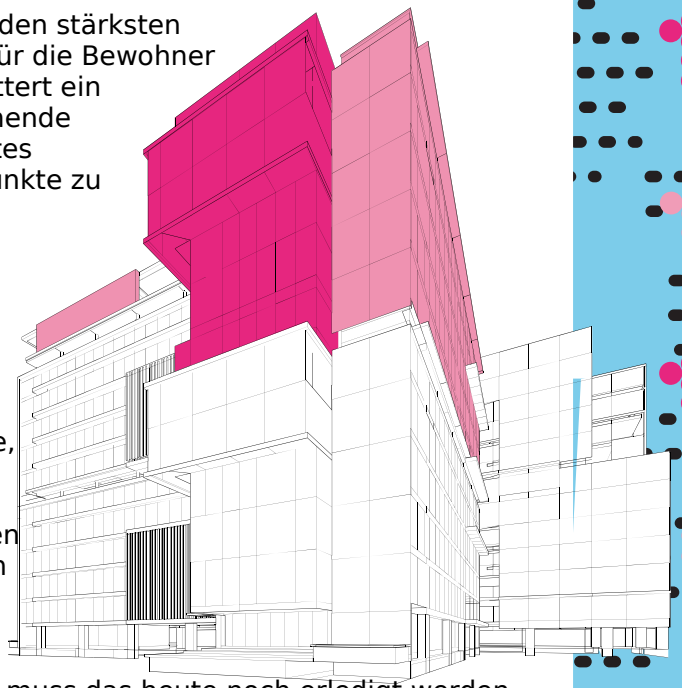


Sie haben die ganze Nacht hart gearbeitet, um Daten zu sammeln und die Umgebung zu überwachen, aber die Zahl der Mücken und der Zecken, die Lyme übertragen, die sie normalerweise jagen, um ihre Energie aufzufüllen, war geringer als erwartet. Nachdenklich bestelle ich etwas Nahrung für sie. Meine Füße stoßen auf den regenerativen Teppich und ich schnappe mir einen Bademantel, obwohl ich ihn nicht zum Wärmen brauche. Meine Wohnung erwärmt sich allmählich auf angenehme 22 Grad, während sie eine sich ständig verändernde tägliche Routine durchläuft, die mich im Gleichgewicht mit der Tages- und Jahreszeit hält.

Die Bauvorschriften und die Energieinfrastruktur von Häusern sind aufeinander abgestimmt und verlangen, dass alle Häuser eine Autoregulierung haben, um effizient zu sein. Da Häuser und Gebäude biomimetisch sind und wo immer möglich lebende Systeme zur Klimakontrolle einbeziehen, filtern sie kontinuierlich die Luft und binden Kohlenstoff ein. Ich überprüfe meine Kohlenstoffkompensationsmaßnahme, um zu sehen, wie viel Gutschrift ich für den Beitrag meines Hauses zum Klimaschutzprogramm der Regierung erhalten werde.

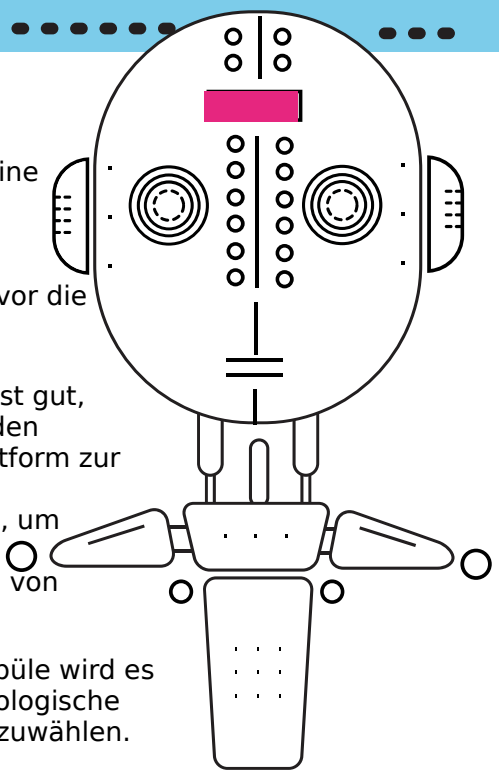
Auf dem Weg ins Bad bleibe ich am Fenster stehen, um das beschleunigte Wachstum des Nachbargebäudes zu beobachten. Die biologische Architektur hat neue Höhen erreicht und die synthetischen Baumverbindungen werden jeden Tag größer.

Um sicherzustellen, dass das Gebäude auch den stärksten Winden standhält - und um das Schwanken für die Bewohner der obersten Stockwerke zu verringern -, klettert ein robotergestützter 3D-Drucker um die entstehende Struktur herum und fügt kohlenstoffverstärktes Biopolymer hinzu, um kritische Belastungspunkte zu verstärken, die von seiner KI-gestützten Sensoranordnung identifiziert wurden.



Ich bin froh, dass man sich entschlossen hat, das Dach dieses Gebäudes mit feuerfesten, gentechnisch veränderten roten Zedern zu begrünen, da Waldbrände in Städten zu einem Problem geworden sind.

Während ich mir die Zähne putze, fragt Jamie, meine persönliche KI, ob ich möchte, dass eine Lieferdrohne den Milchzahn meiner Tochter abholt, der vor zwei Tagen ausgefallen ist. Die epigenetischen Marker in den Zähnen der Kinder müssen analysiert und in der genetischen Blockchain unserer Familie katalogisiert werden, um für den offenen Gesundheitsrabatt in Frage zu kommen, also muss das heute noch erledigt werden.



Ich ersetze den intelligenten Aufkleber, der meine Blutchemie, mein Lymphsystem und meine Organfunktionen in Echtzeit überwacht. Es ist schwer vorstellbar, welche Kosten und welches Leid die Menschen ertragen haben müssen, bevor die personalisierte Präventivmedizin üblich wurde.

Ich gebe auch zu, dass es eklig klingt, aber es ist gut, dass die Stadtverwaltung unsere Fäkalien aus den Abwasserrohren untersucht. Sie ist Teil der Plattform zur Analyse von Daten über die Ernährungsvielfalt, Darmbakterien und den Einsatz von Antibiotika, um die öffentliche Gesundheitsvorsorge zu unterstützen und antibiotikaresistente Stämme von bakteriellen Infektionen zu bekämpfen.

Der nächste Download für meine intelligente Spüle wird es mir angeblich ermöglichen, eine individuelle biologische Mischung für mein entchlortes Trinkwasser auszuwählen.

Die heutige Aufschlüsselung des Mikrobioms wird an der Vorderseite meines Kühlschranks angezeigt, wenn ich die Küche betrete. Sie verfolgt eine stetige Veränderung, während ich mich dem mittleren Alter nähere: Heute schlägt sie Miso-Suppe als Teil meines Frühstücks vor, weil mein Biom aufgrund des jüngsten Stresses und des unzureichenden Essens in der letzten Nacht mehr Vielfalt braucht.

Die Gebäude in meiner Nachbarschaft teilen sich eine vertikale Farm, so dass ich Emissionsgutschriften erhalte, wenn ich Miso aus Sojabohnen esse, die auf meinem Dach produziert und in meinem Kühlschrank fermentiert wurden.

Mein Kühlschrank plant die Produktion von mehr Miso und etwas Kimchi als Vorbereitung für die kommende Woche. Er fügt auch immunstärkende Zutaten zu meiner Lebensmittelbestellung hinzu, denn wir nähern uns der Grippesaison, und ein Erregerstamm, für den ich wahrscheinlich anfällig bin, wurde nur ein paar Straßen weiter entdeckt.

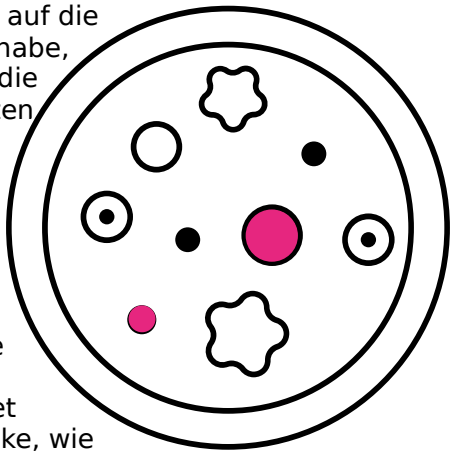
Ich nehme mein intelligentes Nahrungsergänzungsmittel ein, das gerade aus meinem Bioprinter gekommen ist.

Das Ergänzungsmittel passt die zusätzlichen Nährstoffe und Mikroben an, die ich brauche, und sendet Daten über meinen Körper zurück an meinen Bioprinter, um das morgige Ergänzungsmittel anzupassen.

Die Rückkopplungsschleife zwischen mir und meinem Bioprinter speichert auch die täglichen Daten für künftige präventive Gesundheitskennzahlen in der Cloud. Die Echtzeitüberwachung meiner Triglyceride ist angesichts meiner genetischen Marker wichtig.

Während ich mir Kaffee einschenke, schaue ich mir das neueste Schulprojekt meiner Tochter an, das seit einer Woche auf dem Tresen wächst. Im Rahmen ihrer Empathie-Initiative in der Schule züchtet sie eine Leber für einen bedürftigen Welpen aus der Gegend. Weitere Stammzellen sind unterwegs, um auch eine Niere zu züchten, denn sie möchte noch mehr Tieren helfen. Ich greife zu meinem Kaffee, der mit einer neuen zertifizierten kohlenstoffnegativen Bohnensorte gebrüht wurde, und setze mich kurz auf die Couch.

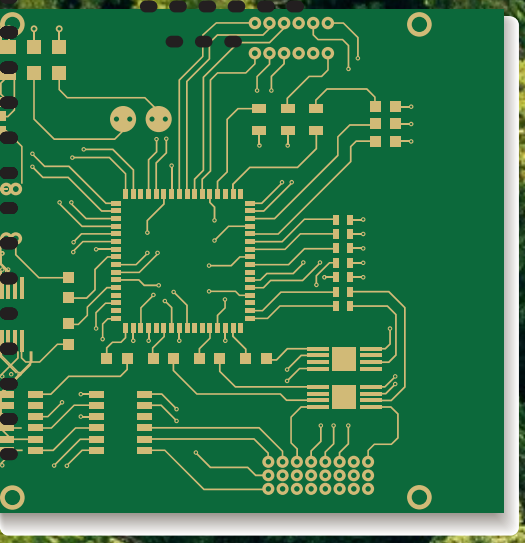
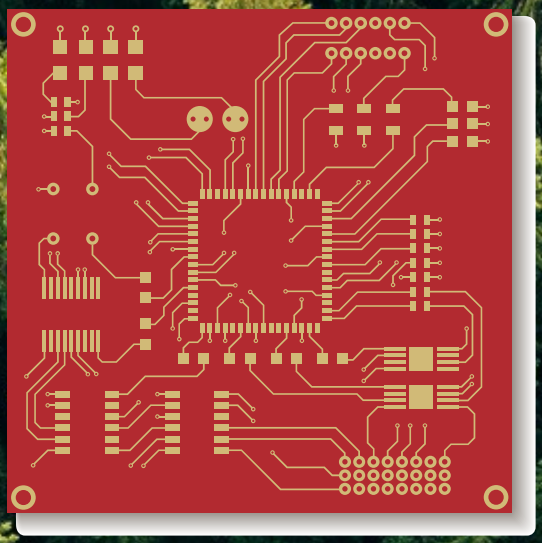
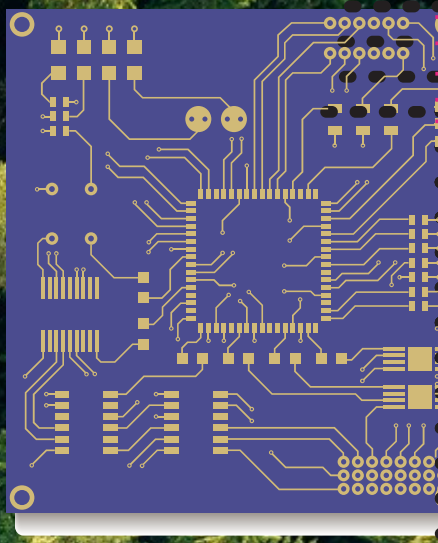
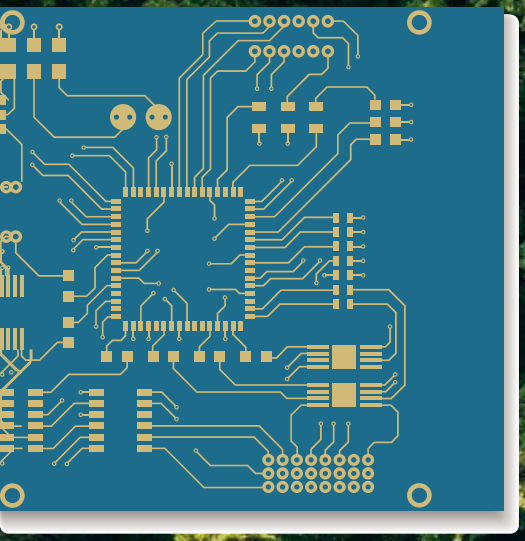
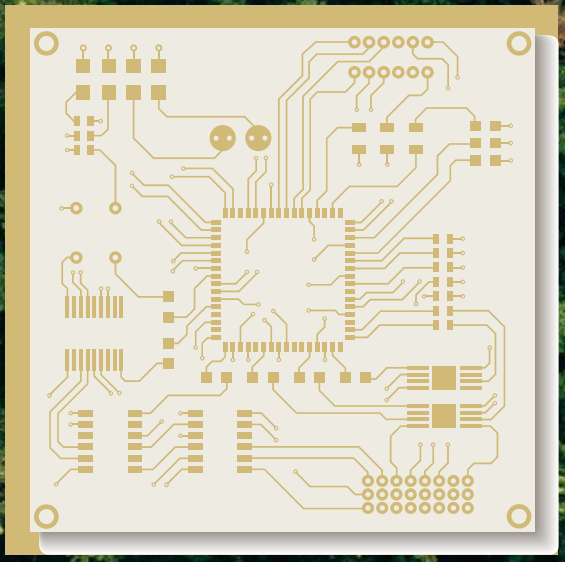
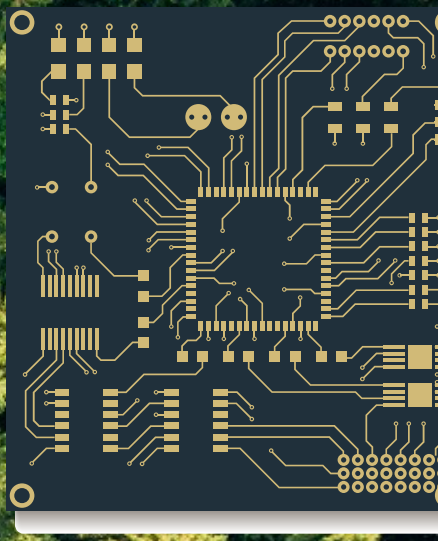
Es scheint, dass die Nährstoffbehandlung, die ich auf die Oberfläche der Couch und der Stühle gestrichen habe, ihnen eine Verjüngung ermöglicht hat. Ich muss die Behandlung auch bei meinen biologisch bedruckten Laufschuhen ausprobieren, da sie langsam abgenutzt sind.



Oh wow - ist es schon so spät? Ich habe nur noch 10 Minuten bis zu meinem ersten virtuellen Meeting. Ich ziehe den Gurt meines Skelett-muskelstuhls fest, lehne mich zurück und logge mich in meinen Arbeitsbereich ein. Zuerst erhalte ich die Nachbesprechung von Kollegen, die ihren Arbeitstag auf der anderen Seite der Welt beendet haben. Ich erschaudere kurz, wenn ich daran denke, wie eng wir alle in dieser digitalen Biosphäre miteinander verbunden sind - dann ist es vorbei. Der Tag kann beginnen.

Diese Geschichte mag weit hergeholt klingen, aber alle genannten Technologien existieren heute in irgendeiner Form. Sie sind zwar noch nicht in der hier vorgestellten Form kommerziell verfügbar, aber eine Welt, in der wir die Interaktion zwischen biologischen und digitalen Technologien als selbstverständlich ansehen, beginnt sich bereits abzuzeichnen.

Dies ist zwar eine Darstellung von Technologien, die Teil einer biodigitalen Welt sein könnten, aber sie stellt nicht die einzige plausible Zukunft dar. Vielmehr handelt es sich um eine fantasievolle Vignette, die die radikalen Veränderungen skizziert, die in einer optimistischen biodigitalen Zukunft stattfinden könnten. Es könnte verschiedene Stufen des Zugangs, der Annahme und alternativer Realitäten geben.

CIRCUIT BOARD BACKGROUND

Welche neuen Möglichkeiten ergeben sich aus der biodigitalen Konvergenz?

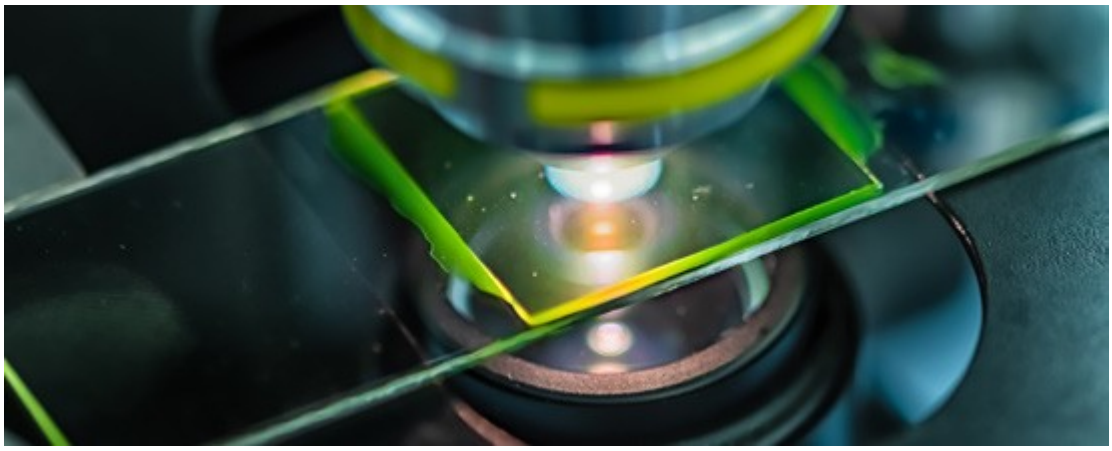
Wir erleben bereits die Kombination von digitalen und biologischen Systemen durch neue Produkte, Plattformen, Dienstleistungen und Branchen.

Die biodigitale Konvergenz eröffnet ganz neue Möglichkeiten:

- die Menschen zu verändern - den Körper, den Geist und die Verhaltensweisen
- andere Organismen verändern oder schaffen
- Ökosysteme verändern
- Informationen erfassen, speichern, verarbeiten und übertragen
- Verwaltung der biologischen Innovation
- Produktions- und Lieferketten strukturieren und verwalten

Tabelle 1: Neue Fähigkeiten, die durch die Konvergenz von digitalen und biologischen Systemen entstehen

Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich?	Welche Kombinationen von biologischen und digitalen Technologien ermöglichen dies?	Was ist heute möglich?
Neue Wege zur Veränderung des Menschen - seines Körpers, seines Geistes und seines Verhaltens		
Die Veränderung des menschlichen Genoms - unsere wichtigsten biologischen Eigenschaften und Merkmale	• Fortschritte bei der Gen-Sequenzierung Und -Editierung, wie CRISPR/Cas9 • Maschinelles Lernen hilft Wissenschaftlern bei der Vorhersage, welche Gene für die Bearbeitung in Frage kommen	• Die weltweit ersten Babys, deren Genom bearbeitet wurde, werden in China geboren[14] • Die Molekularbiologie wird durch Werkzeuge der Informatik verbessert[15]
Überwachung, Veränderung und Manipulation menschlicher Gedanken und Verhaltensweisen	• Neurotechnologien lesen Gehirnsignale, um die Aufmerksamkeit zu überwachen und Müdigkeit zu kontrollieren • Digitale Apps können die Gesundheit des Gehirns verbessern	• SAP und EMOTIV arbeiten zusammen, um SAP-Mitarbeiter bei der Stressbewältigung zu unterstützen[16] • Amerikaner gaben letztes Jahr 1,9 Milliarden USD für Gehirn-Apps aus[17]

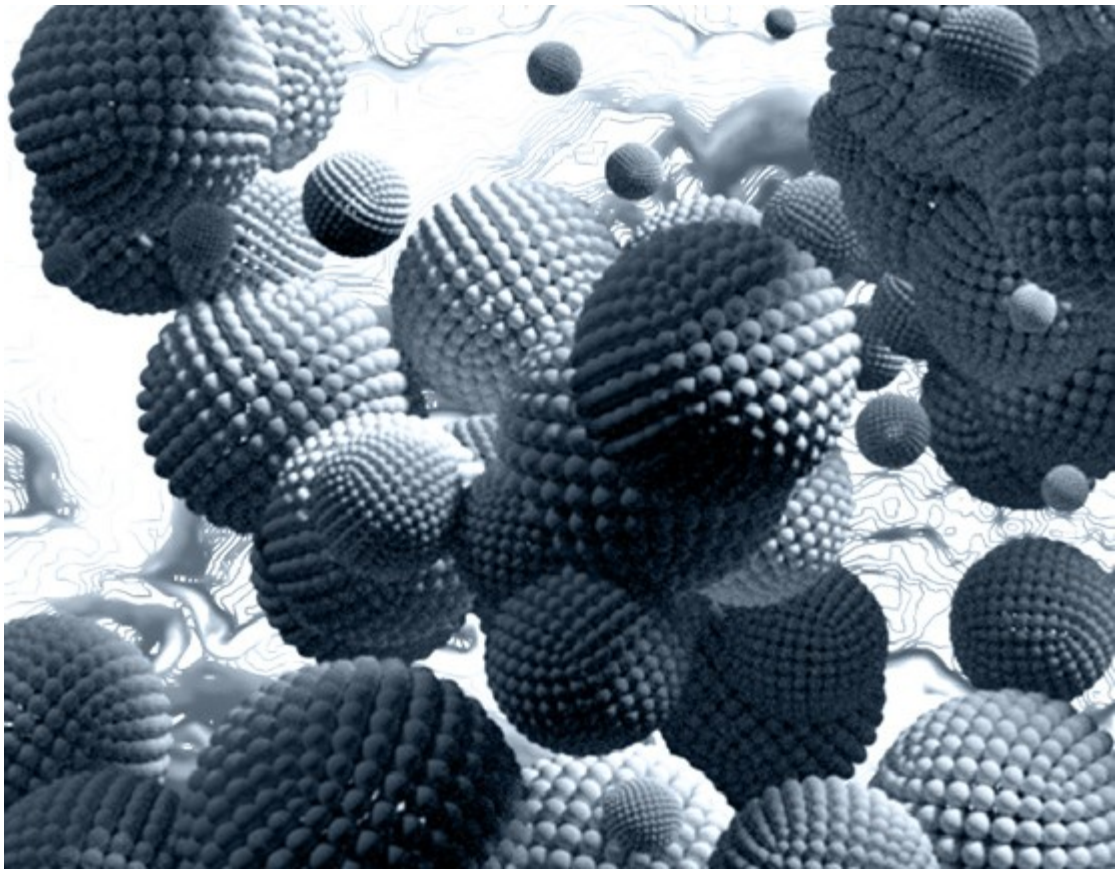


Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich?	Welche Kombinationen von biologischen und digitalen Technologien ermöglichen dies?	Was ist heute möglich?
Neue Wege zur Veränderung des Menschen - seines Körpers, seines Geistes und seines Verhaltens (Fortsetzung)		
Neue Wege zur Überwachung, Steuerung und Beeinflussung von Körperfunktionen sowie zur Vorhersage, Diagnose und Behandlung von Krankheiten	• Die Gensequenzierung ganzer Proben hilft uns, komplexe Umgebungen wie das menschliche Mikrobiom zu verstehen • Digitale Geräte können getragen oder in den Körper eingebettet werden, um Funktionen zu behandeln und zu überwachen • Systeme für maschinelles Lernen können Sterblichkeit und Behandlungsergebnisse vorhersagen	• Die Flüssigbiopsie von Guardant erweist sich bei Patienten mit Lungenkrebs als genauer und schneller als eine Gewebebiopsie[18] • Forscher der University of Waterloo entwickeln einen sich selbst versorgenden Sensor für die medizinische Überwachung[19] • Amazon-Patent ermöglicht es Alexa, Husten oder Erkältung zu erkennen[20] • KI gibt verlässliche Koma-Prognosen ab[21]
Schaffung neuer Organe und Verbesserung der menschlichen Funktionalität	• 3D-gedruckte Gewebe auf der Grundlage digitaler Entwürfe und Produktionswerkzeuge können maßgeschneiderte Organe herstellen • Biohacking mit implantierten digitalen Geräten zur Verbesserung der Körperfunktionen	• Bioingenieure haben erfolgreich 3D-gedruckte Strukturen hergestellt, die Lungengewebe und Blutgefäße nachahmen[22] • Im Labor gezüchtete Nieren erweisen sich bei Tierempfängern als voll funktionsfähig[23] • Implantierte Chips für eine sehr persönliche Version der Zwei-Faktoren-Authentifizierung[24]

Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich?	Welche Kombinationen von biologischen und digitalen Technologien ermöglichen dies?	Was ist heute möglich?
Neue Wege zur Veränderung des Menschen - seines Körpers, seines Geistes und seines Verhaltens (Fortsetzung)		
Neue Wege, die Welt zu erleben und mit ihr zu interagieren	• Gehirn-Maschine-Schnittstellen, die die Steuerung von Maschinen durch Gehirnsignale ermöglichen • Prothesen, die mithilfe von Algorithmen des maschinellen Lernens die Funktionalität und Sensibilität erweitern	• Neuralink kündigte eine integrierte Brain-Machine-Interface-Plattform mit Tausenden von Kanälen an[25] • Infinite Biomedical hat für sein Deep-Learning-gesteuertes Prothesensteuerungs-system von der FDA die Zugelassung bekommen[26] • FDA veröffentlicht regulatorische Leitlinien für hirngesteuerte Prothesen[27]
Schaffung neuer Organe und Verbesserung der menschlichen Funktionalität	• Techniken des maschinellen Lernens zur Simulation der Proteinfaltung und zur Entwicklung von Arzneimitteln • 3D-Druck von Gewebe zum Testen von Therapien • Nanoroboter und Nanomaterialien können in Lebewesen wirken und Medikamente präzise abgeben • Maschinelles Lernen kann den Ausgang von klinischen Studien vorhersagen	• KI-Algorithmen zur Proteinfaltung lösen Strukturen schneller als je zuvor[28] • Die neuseeländische Wissenschaftlerin Shalini Bio-Printing von Tumorzellen, in der Hoffnung, Tumore zu züchten, um herauszufinden, welche Behandlungen am besten wirken[29] • Winzige Roboter krabbeln durch den Mäusemagen, um Geschwüre zu heilen[30] • MIT-Forscher wenden KI-Techniken an, um Ergebnisse klinischer Studien vorherzusagen[31]

Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich?	Welche Kombinationen von biologischen und digitalen Technologien ermöglichen dies?	Was ist heute möglich?
Neue Wege zur Veränderung oder Schaffung anderer Organismen		
Änderung der Art oder Menge der Inputs, die Organismen für ihr Wachstum benötigen	• Fortschritte bei der Gen-Sequenzierung und -Editierung, wie CRISPR/Cas9	• Verbesserte Photosynthese in transgenen Tabakpflanzen macht sie 40% produktiver[32]
Schaffung völlig neuer Organismen mit maßgeschneiderten Eigenschaften	• Die synthetische Biologie lässt sich bei der Entwicklung und Konstruktion neuer biologischer Einheiten von der Biologie, den Ingenieurwissenschaften, der Informatik und der Physik inspirieren. • Künstliche Intelligenz kann helfen, Mikroorganismen mit spezifischen Eigenschaften zu entwickeln	• Ähnlich wie CAD-Tools helfen viele Open-Source-Softwareprogramme den Forschern, komplexe genetische Schaltkreise in lebenden Organismen zu analysieren und zu entwerfen, die bestimmte Funktionen erfüllen[33] • Gingko Bioworks entwickelt maßgeschneiderte Organismen, um "Technologie durch Biologie zu ersetzen"[34] • Wissenschaftler nutzen maschinelles Lernen, um die Biokraftstoffproduktion zu beschleunigen[35] • Wie digitale Schaltkreise ermöglicht ein "Biomultimeter" namens PERSIA den Forschern, biologische Funktionen von genetischen Schaltkreisen in vitro und in Echtzeit zu messen[36]

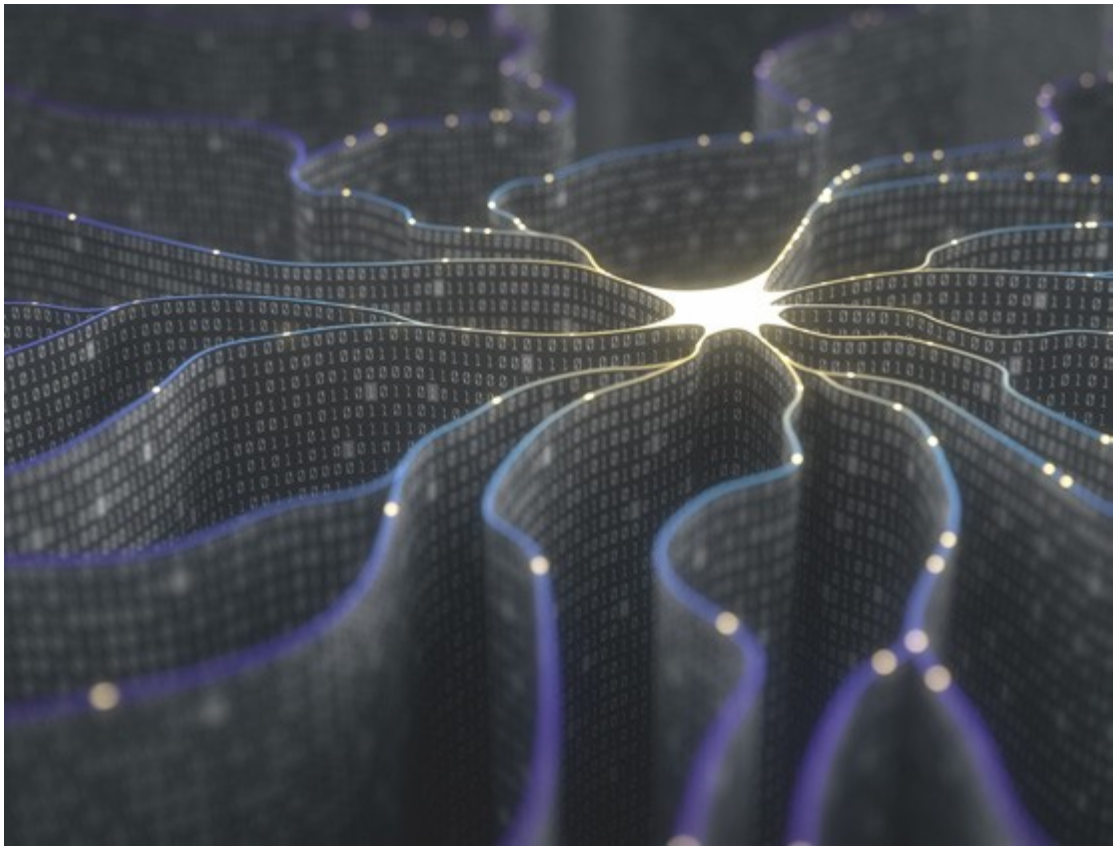
Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich?	Welche Kombinationen von biologischen und digitalen Technologien ermöglichen dies?	Was ist heute möglich?
Neue Wege zur Veränderung oder Schaffung anderer Organismen (Fortsetzung)		
Ändern, was und wie Organismen Stoffe produzieren	• Fortschritte bei der Gen-Sequenzierung und -Editierung, wie CRISPR/Cas9	• Forscher nutzen Bakterien zur Synthese von Butanol aus Wasser, C02 und Sonnenlicht[37]

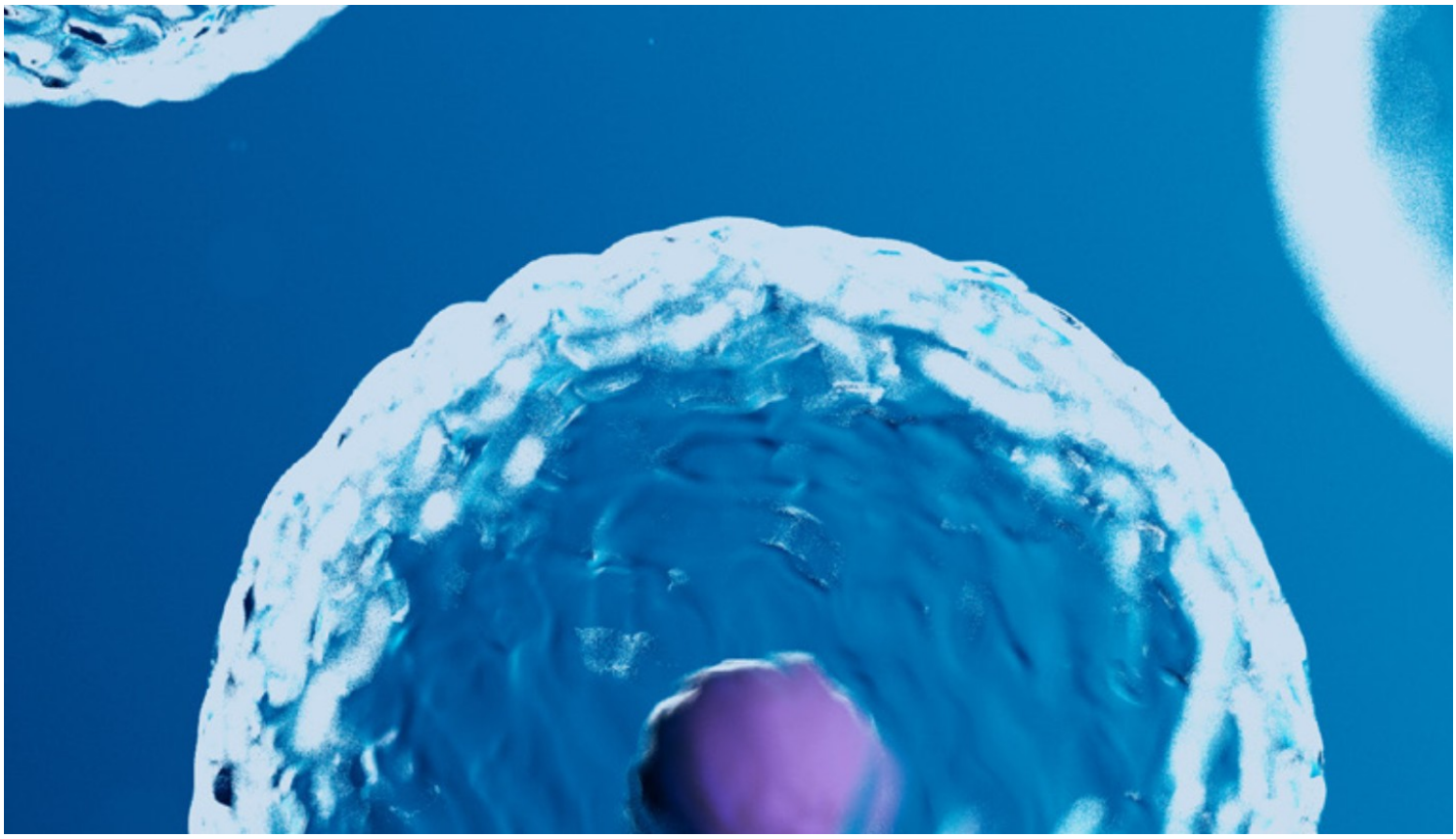


Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich?	Welche Kombinationen von biologischen und digitalen Technologien ermöglichen dies?	Was ist heute möglich?
Neue Wege zur Veränderung von Ökosystemen		
Veränderung und Ausrottung ganzer Arten	• Keimbahn-Editierung mit Ansätzen wie CRISPR und Gene Drives, die neue Möglichkeiten zur Veränderung von Ökosystemen oder Wildtieren schaffen	• Target Malaria setzt gentechnisch veränderte Stechmücken in Burkina Faso in einem Gene-Drive-Versuch frei[38]
Veränderung der natürlichen Umwelt in großem Maßstab	• Geoengineering-Ansätze, die die Kohlenstoffbindung oder die Sonnen-reflexion genau modellieren	• Entwicklung von Mikroorganismen in Torfmooren zur Speicherung und Bindung von Kohlenstoff und zum Ausgleich des Klimawandels[39]
Vorhersage und Management der Ausbreitung von Organismen	• Die digitale Epidemiologie stützt sich auf digitale Kommunikations-technologien und Analytik, um Krankheiten zu verfolgen	• Flutracking[40] und InfluenzaNet nutzen digital vernetzte Netzwerke von Freiwilligen, um Grippeausbrüche zu verfolgen
Neue Wege zur Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen		
Neue Wege der Informations-speicherung durch biologische Systeme	• Speicherung großer Mengen digitaler Informationen in biologischen Systemen über längere Zeiträume als die derzeitige Technologie	• Microsoft und die Universität von Washington demonstrieren das erste vollautomatische System zur Speicherung von DNA-Daten[41]

Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich?	Welche Kombinationen von biologischen und digitalen Technologien ermöglichen dies?	Was ist heute möglich?
Neue Wege zur Erfassung, Speicherung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen (Fortsetzung)		
Verwandlung von Organismen in Biocomputer	• Verwendung von biologischen Organismen und Attributen zur Durchführung von Berechnungen	• CRISPR zum Bau von Dual-Core-Computern in menschlichen Zellen[42]
Schaffung biomimetischer Materialien	• Sich von biologischen Systemen inspirieren lassen, um effizientere elektronische und digitale Systeme zu entwickeln	• Forscher schaffen künstliche Haut und Nervensysteme mit höherer Empfindlichkeit als menschliche Haut[43]
Neue Wege zum Management von biologischer Innovation, Produktion und Lieferketten		
Effizientere und skalierbare Forschungs- und Produktionsansätze	• Einsatz digitaler Systeme zur Steigerung der biologischen Produktion • Einsatz digitaler Systeme zur Automatisierung der Forschung	• Fraunhofer automatisiert die Kultivierung von Mikroalgen in Photobioreaktoren[44] • Die Labor-automatisierung beschleunigt die Forschung[45] • Roboterbauern haben selbst erfolgreich Gerste angebaut und geerntet[46] • Auf dem Weg zur autonomen Entdeckung von Antibiotika[47]

Welche neuen Möglichkeiten eröffnen sich?	Welche Kombinationen von biologischen und digitalen Technologien ermöglichen dies?	Was ist heute möglich?
Neue Wege zum Management von biologischer Innovation, Produktion und Lieferketten (Fortsetzung)		
Zunehmend offenes und effizientes Lieferkettenmanagement	• Maschinelles Lernen mit verbesserten Normen können Materialien effizienter prüfen	• Blockchain wird zur "Quelle der Wahrheit" für Biopharma[48]
Offene Zusammenarbeit bei Zelllinien und Genomen zur Unterstützung der Forschung	• Digitale Netze zur Unterstützung des effizienten Austauschs von biologischen Materialien und Codes	• Der gefrorene Bauernhof: Schaffung eines Lagers für saubere Fleischzelllinien[49]





Was sind mögliche Merkmale des biodigitalen Systems?

Ausgehend von den ersten Signalen könnten die Merkmale des biodigitalen Systems folgende sein:

- Demokratisierung
- Dezentralisierung
- Geographische Diffusion
- Skalierbarkeit
- Personalisierung
- Vertrauen in Daten

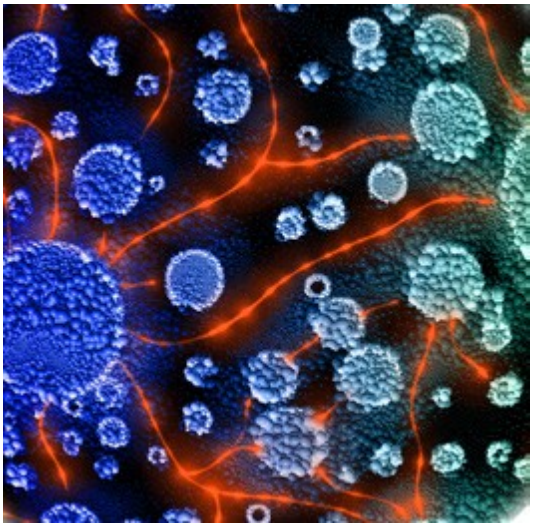
Im Folgenden werden die einzelnen potenziellen Merkmale der biodigitalen Technologie und ihre potenziellen Auswirkungen beschrieben.

Demokratisierung

Bis vor kurzem wurden Zellbiologie und Biotechnologie im Allgemeinen in sterilen Labors und spezialisierten Fabriken entwickelt und hergestellt, wobei teure Geräte und Fachwissen zum Einsatz kamen.

Dank der Fortschritte bei Software und Hardware werden diese Beschränkungen für die Biowissenschaften und die biotechnologische Produktion nun aufgehoben. Die Möglichkeit, Systeme fernzusteuern und Anweisungen in digitaler Form zu übermitteln, sowie ein höherer Automatisierungsgrad führen dazu, dass die biologische Produktion näher an die Verbraucher heranrückt.

Im Versandhandel erhältliche Bioengineering- oder CRISPR-Kits ermöglichen es Biohackern beispielsweise, genetische Veränderungen zu Hause durchzuführen. Zu den relativ erschwinglichen Online-Angeboten gehört ein "Genetic Design Starter Kit" für 30 USD, mit dem ein Anfänger bequem vom Küchentisch aus ein Gen in eine Qualle einfügen kann, um sie zum Leuchten zu bringen.[50] Mit einem anderen CRISPR-Kit kann der Käufer für 159 USD Genomveränderungen in fortpflanzungsfähigen Bakterien vornehmen.[51] Ein drittes "Molekularbiologie und Gentechnik"-Starterkit kostet weniger als 170 USD.[52]



Die sinkenden Kosten der Genomsequenzierung sind ein weiteres Beispiel dafür, dass die Biotechnologie immer breiter verfügbar wird. Die erste Sequenzierung des gesamten Genoms (Lesen aller 3 Milliarden Basenpaare) im Jahr 2003 dauerte 13 Jahre und kostete mehr als 3 Milliarden USD. Bis 2016 war der Preis auf etwa 1000 USD gesunken. Im Juli 2019 kostete sie 599 USD, und das Genetikunternehmen Veritas Genetics prognostiziert, dass der Preis bis 2022 auf unter 200 USD sinken wird.[53] Infolgedessen hat sich ein Verbraucher-markt für die Genotypisierung (die Sequenzen von weniger als 1 % des Genoms) ist entstanden, um Menschen zu unterstützen, die sich für ihr Erbe oder gezielte Gesundheitsinformationen interessieren, wie z. B. bei Diensten wie 23andme.com.

Dezentralisierung

In dem Maße, wie die Möglichkeiten der synthetischen Biologie zunehmen, könnten wir eine dezentralere Produktion erleben. Produkte, die bisher an einem bestimmten geografischen Ort hergestellt oder gewonnen werden mussten, könnten in größerem Umfang produziert werden, da die Menschen immer besser in der Lage sind, organische und anorganische Verbindungen durch schnellere, billigere und maßgeschneiderte chemische und biologische Prozesse zusammenzusetzen - oder zu züchten.

Dazu gehört auch die Möglichkeit, Lebens-mittel zu erzeugen und Fleisch zu produzieren, ohne dass dafür Ackerland benötigt wird.[54] Fleisch aus dem Labor - Zellen, die sich entwickeln, um Muskelzellen und kultiviertes Fleisch in einer überwachten Umgebung zu produzieren - könnte ein entscheidender Faktor für die Dezentralisierung mehrerer Branchen sein, von der Landwirtschaft bis zur Schifffahrt.

Das japanische Biotech-Unternehmen Spiber hat ein gentechnisch verändertes Protein namens Brewed Protein[55] entwickelt, das als Textil in der Modeindustrie oder als robustes Material in der Bau- und Automobilindustrie verwendet werden kann. Und Biomasse, die vor Ort in algenbasierten Bioreaktoren[56] unter Abscheidung von Kohlendioxid erzeugt wird, könnte in Produkte wie Kraftstoffe, Kunststoffe und Kosmetika umgewandelt werden.

Geographische Diffusion

Die Dezentralisierung könnte es den rohstoffarmen Volkswirtschaften ermöglichen, mit den rohstoffreichen Nationen bei der Produktion von Gütern zu konkurrieren, indem biodigitale Technologien zur Herstellung von Materialien eingesetzt werden, die bisher importiert werden mussten.

Das wachsende Interesse an quelloffener und öffentlich zugänglicher Forschung könnte eine rasche geografische Verbreitung ermöglichen. Generell könnte die Verbreitung von biodigitalem Wissen schnell voranschreiten, wenn die Bereitschaft besteht, Informationen zu teilen. Einige Forscher gewähren Zugang zu allen ihren Daten. So vermarkten beispielsweise Pionier-Bioingenieure der University of Washington die jüngsten Durchbrüche bei 3D-Organen. Über ihr Unternehmen Volumetric haben sie alle Quelldaten aus ihren Experimenten mit 3D-gedruckten Gefäßnetzwerken frei zugänglich gemacht.[57]

Skalierbarkeit

Eine schnelle Skalierung ist sowohl in der digitalen als auch in der biologischen Welt möglich. Daten können schnell kopiert werden, und einfache biologische Organismen können sich im Allgemeinen leicht vermehren. Das bedeutet, dass eine zusätzliche Produktionseinheit in beiden Bereichen schnell und einfach geschaffen werden kann.

Mit anderen Worten: Die biodigitale Wirtschaft könnte sich durch sehr niedrige Grenzproduktionskosten auszeichnen. Unter der Voraussetzung, dass es einen Wettbewerb zwischen den Anbietern gibt, könnte dieses Merkmal die Kosten vieler biodigitaler Waren oder Dienstleistungen für die Verbraucher erheblich senken.

Niedrige Grenzproduktionskosten und leichte Replizierbarkeit bedeuten auch, dass Innovationen in der biodigitalen Konvergenzwirtschaft in hohem Maße skalierbar sein könnten.

Personalisierung

Biologische Systeme sind einfach und komplex zugleich. Als dynamische Systeme können sie auf unvorhergesehene Weise reagieren oder vielfältige Auswirkungen haben, die sich nicht leicht auseinanderhalten lassen. Diese Komplexität ist eher ein Merkmal biologischer Systeme als ein Fehler, denn sie bedeutet, dass die Systeme sehr anpassungsfähig und vielfältig sein können. Dies deutet darauf hin, dass es viele Wege geben kann, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen, und folglich das Potenzial für ein hohes Maß an individueller Anpassung besteht.

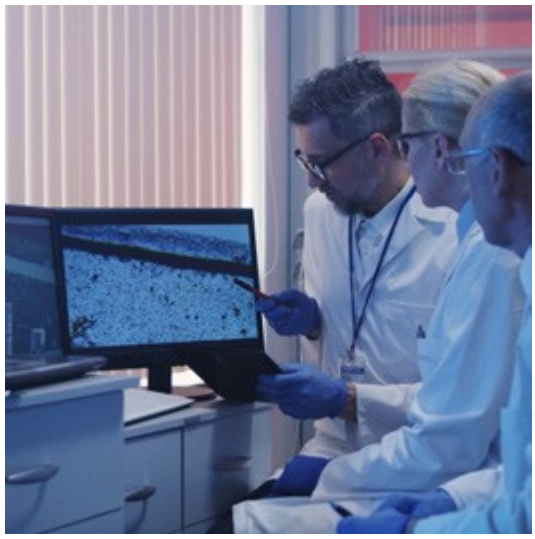
Produktionskonzepte und -geräte könnten diese Komplexität nutzen, um aus einem einzigen System mehrere maßgeschneiderte biologische Produkte zu erzeugen. So können Unternehmen, die synthetische Biologie entwickeln, aufgrund von Verbundvorteilen Hunderte verschiedener Organismen und Produkte mit ähnlichen Verfahren herstellen.[58]

Ein Beispiel für die biologische Komplexität im Gesundheitswesen ist unser wachsendes Verständnis des menschlichen Mikrobioms - der Billionen von nicht-menschlichen Bakterien, die in und auf unserem Körper leben und schätzungsweise genauso viele oder mehr menschliche Zellen haben als wir selbst. Unser Mikrobiom beeinflusst viele verschiedene Aspekte unseres Lebens, von der Verdauung über die Stimmung bis hin zum Körpergeruch. Biologisch-digitale Therapien, die auf das Mikrobiom abzielen und für maximale Effizienz personalisiert sind, könnten als erste auf den Markt kommen.

Vertrauen in Daten

Die Technologien und Anwendungen, die die biodigitale Konvergenz kennzeichnen, werden ohne eine große Menge an Daten nicht funktionieren können. Der Bereich der Bioinformatik beispielsweise nutzt digitale Werkzeuge und Datenanalysen, um biologische Systeme zu verstehen,[59] und setzt Deep-Learning-Algorithmen ein, um Bilder von Zellen zu analysieren und Muster zu erkennen, die für Menschen unmöglich zu erkennen wären.[60] Techniken wie die Gensequenzierung der nächsten Generation sind enorm datenintensiv, was neue Herausforderungen für die gemeinsame Nutzung, Archivierung, Integration und Analyse dieser Daten schafft.[61]

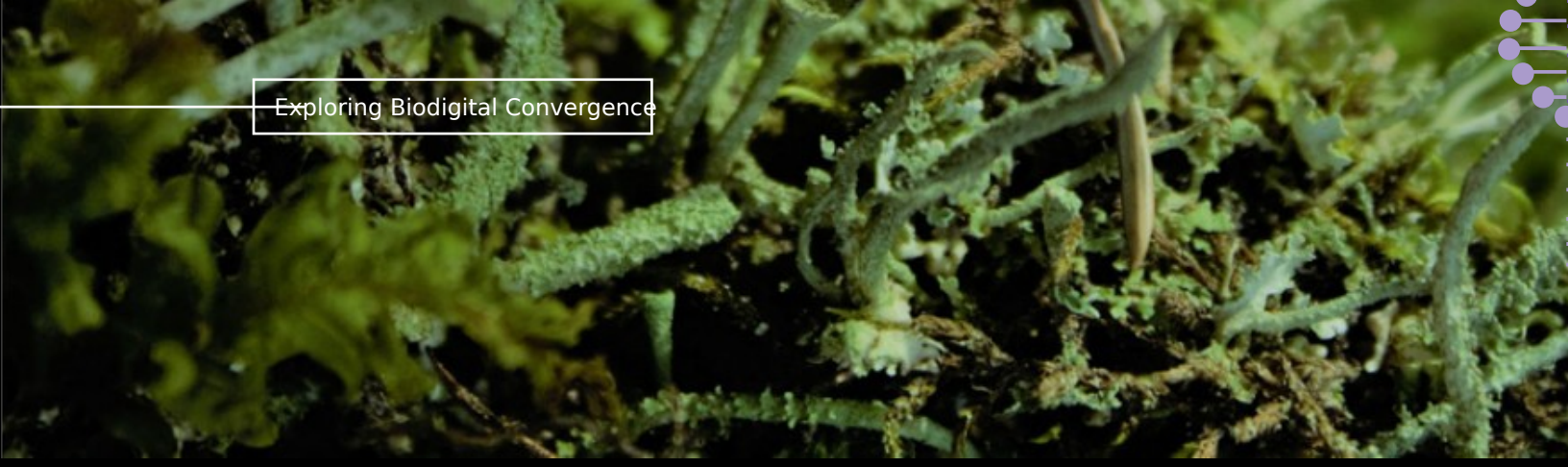
Der globale Bioinformatikmarkt wird voraussichtlich von 7,73 Mrd. USD im Jahr 2018 auf 13,50 Mrd. USD im Jahr 2023 anwachsen, bei einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von 14,5 %.[62] Die Datenwachstumsrate, die diese Expansion vorantreiben wird, könnte diesen Wert noch übertreffen.



Die benötigten Daten sind sehr vielfältig. Auch im Vorfeld der Produktionsprozesse können Daten in Form von Genomen, Phänotypen und Umweltkontexten einer Vielzahl von Menschen und einer breiten Palette einzigartiger Organismen einen wichtigen Wert darstellen. Bioprospecting ist bereits ein wichtiger Aspekt der Arzneimittelentwicklung und könnte noch an Bedeutung gewinnen - und zu größeren Kontroversen im Gesundheitswesen führen.[63]

Um das volle Potenzial der biodigitalen Konvergenz auszuschöpfen, ist daher möglicherweise ein ständiger Datenfluss erforderlich. Die Erfassung, Verwaltung, gemeinsame Nutzung und Verwaltung dieser Daten könnte sich zu einem ressourcenintensiven Prozess und zu einer höher entwickelten Industrie entwickeln.

What are possible characteristics of the biodigital system?



Was sind die ersten politischen Fragen?

Die oben beschriebene Dynamik der biodigitalen Welt - Demokratisierung, Dezentralisierung, geografische Verbreitung, Skalierbarkeit, Anpassung und Datenabhängigkeit - kann dazu führen, dass Einzelpersonen, Regierungen, Organisationen und die Industrie ihre Arbeitsweise ändern müssen.

Policy Horizons wird die potenziellen Auswirkungen der biodigitalen Konvergenz in einer bevorstehenden detaillierten Foresight-Studie untersuchen. Der folgende Abschnitt beleuchtet einige erste politikrelevante Fragen zu den Bereichen Wirtschaft, Soziales, Ökologie, Geopolitik und Governance.

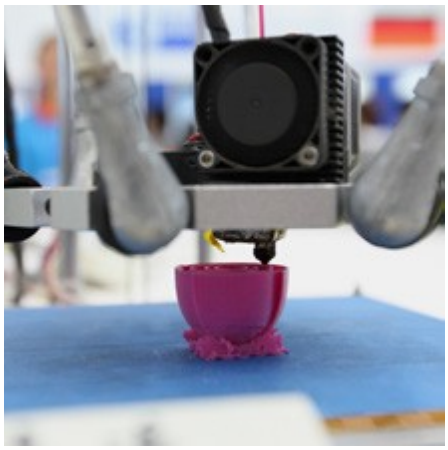
Wirtschaft

Könnten traditionelle, ressourcenbasierte Wettbewerbsvorteile schwinden?

Die Produktionssysteme - ihre Struktur, wer sie kontrolliert und wer von ihrem Wert profitiert - könnten sich im Zuge der biodigitalen Konvergenz deutlich verändern.

Die Nachfrage nach vielen traditionellen Gütern, einschließlich Rohstoffen, könnte zurückgehen, wenn wir biologisch hergestellte Alternativen entwickeln. Eine Umstellung auf eine verteilte biotechnologische Produktion könnte die Vorrangstellung der Verteilung von Land oder anderen natürlichen Ressourcen zwischen Ländern und Regionen verringern.

Die Demokratisierung und Dezentralisierung der Produktion könnte eine Herausforderung für Länder, Regionen, Gemeinden und Unternehmen darstellen, die sich bei der Herstellung von Waren und Dienstleistungen auf knappe natürliche Ressourcen oder einzigartige geografische Faktoren verlassen haben. Hersteller, die sich auf die Nähe oder den besonderen Zugang zu derzeit knappen Ressourcen verlassen, könnten unter Druck geraten, neue Technologien und Ansätze zu entwickeln oder zu übernehmen[64] , um wettbewerbsfähig zu bleiben.



Müssten die Systeme der allgemeinen und beruflichen Bildung angepasst werden, um mögliche Qualifikationslücken zu schließen?

Die Produktion und die Endanwendung von biodigitalen Technologien könnten einfacher werden, aber ihr Design und ihre Entwicklung könnten technisch anspruchsvoll bleiben. Die Nachfrage nach digitalen und biologischen Fähigkeiten könnte im Zuge der biodigitalen Konvergenz steigen, und diejenigen, die an der Schnittstelle zwischen diesen beiden Bereichen agieren können, könnten sehr gefragt sein. Die Nachfrage nach Talenten könnte das Angebot übersteigen, zumindest vorübergehend.

Wie könnten die Rahmenbedingungen für Datenschutz und geistiges Eigentum im biodigitalen Zeitalter aussehen?

Die potenziellen Auswirkungen biodigitaler Dienstleistungen können zu Veränderungen in den nationalen oder globalen Regelungen für geistige Eigentumsrechte führen, insbesondere als Reaktion auf neue bahnbrechende Gesundheitstherapien, Innovationen in der Landwirtschaft, die für die Ernährungssicherheit besonders wichtig sind, und Ansätze, die den Klimawandel abschwächen könnten.

Vorschriften zum Schutz des geistigen Eigentums und des Datenschutzes könnten sich in der biodigitalen Welt als Engpässe erweisen, die sowohl Anreize als auch Beschränkungen für Innovationen bieten.
Alternativ könnte ein demokratisierter Zugang zu biodigitalen Werkzeugen die Reproduktion vieler geschützter biodigitaler Innovationen mit parallelen, aber unterschiedlichen Ansätzen erleichtern, was den Wettbewerb verstärken und die durch geistiges Eigentum erzielten Gewinne verringern würde.

Wie kann die Politik ein wettbewerbsfähiges Unternehmensumfeld in einer biodigitalen Welt fördern?

Plattformen können in einer Welt, in der biologische und digitale Systeme eng miteinander verbunden sind, eine wichtige Rolle spielen, wie dies bei Online-Werbung, sozialen Netzwerken und E-Commerce der Fall ist. Die Datenpolitik könnte einen Einfluss darauf haben, ob große Organisationen in einer biodigitalen Wirtschaft einen Vorteil haben, der auf der exklusiven Fähigkeit beruht, auf große Datenmengen zuzugreifen, sie zu erwerben, zu verwalten und zu sichern.

Die datenabhängige Natur der biodigitalen Konvergenz bedeutet, dass die Nachfrage nach Daten - insbesondere nach menschlichen, tierischen, pflanzlichen und bakteriellen Daten - erheblich steigen könnte. Große Plattformen könnten potenziell große Mengen an Informationen über Personen, ihr Umfeld und die natürliche Welt sammeln und kontrollieren. Einige Plattformen könnten versuchen, durch den Betrieb eines geschlossenen biodigitalen Ökosystems Werte zu schaffen.

"Die Zukunft ist nicht mehr das, was sie einmal war"

Das Biodigitale könnte sich auf vielfältige Weise entfalten, und eine Zukunft, in der es Teil der menschlichen Existenz ist, könnte ganz anders aussehen. Die folgenden Erzählungen sind zwar hypothetisch, beschreiben aber Szenarien, die sich aus der Konvergenz von biologischen und digitalen Systemen ergeben könnten.

Radikale Lebensverlängerung: Nach einem Jahrzehnt der Simulation der menschlichen Biochemie mit Hilfe des maschinellen Lernens hat ein asiatisches Unternehmen als erstes eine radikale Therapie zur Lebensverlängerung entwickelt und patentiert. Die Therapie, die auf der Veränderung des menschlichen Genoms in den Zellen des gesamten Körpers beruht, verlangsamt den Zellverfall dramatisch und verlängert das Leben der Anwender um bis zu 15 Jahre, ist jedoch nur für Menschen unter 40 Jahren wirksam. Die Behandlung wird weltweit für 10 Millionen USD pro Kurs vermarktet. Innerhalb des ersten Monats nach der Ankündigung haben sich mehr als 5.000 Patienten für die Behandlung angemeldet, darunter 120 Kanadier. Inspiriert durch: Barclays Beyond 100 Bericht über Langlebigkeit[65]

Lebensmittel, die auf Ihr einzigartiges Verdauungssystem zugeschnitten sind: Eines der am schnellsten wachsenden Unternehmen in der Lebensmittelbranche nutzt die Mikrobiomanalyse, um personalisierte und dynamische Ernährungspläne zu erstellen. MyBestBiome verspricht, dass Sie mehr Energie haben und sich besser fühlen werden, da die Lebensmittel genau auf Ihren Körper - und die Billionen nicht-menschlicher Organismen, die Teil Ihres Mikrobioms sind - abgestimmt sind. Darüber hinaus stammen 90 % des tierischen Proteins aus speziell gezüchteten Insekten aus nachhaltiger Produktion. Der Haken an der Sache? Sie müssen dem Unternehmen Zugriffs- und Datenrechte auf Ihr gesamtes Biom gewähren, um das Produkt und seine angeblichen Gesundheitsvorteile zu erhalten. Inspiriert von: Food Design To Feed the Human Gut Microbiota[66]

Neurotech-Albtraum: Ein führender kanadischer Supermarkt hat ein schlechtes Jahr hinter sich. Er ist in einen Skandal um verschiedene Funktionen seines Kundenbindungsprogramms verwickelt worden. Das "Your Choice"-Programm bietet Sonderrabatte und Vorbestellungen, wenn Sie dem Programm vollen Zugang zu Ihrem "digitalen Zwilling" gewähren, d. h., Sie geben ihm vollen Zugriff auf Ihr Leben und Ihre Aktivitäten. Ein durchgesickerter interner Bericht legt nahe, dass diese Daten in Verbindung mit aufdringlichen Neurotechnologien verwendet werden, um die Mitglieder zu mehr Konsum zu bewegen. Im Mittelpunkt des Skandals steht die Tatsache, dass der Supermarkt im Grunde genommen den Zugang zu den Köpfen der Mitglieder von "Your Choice" verkauft und damit gezielte Verbrauchermanipulation in großem Stil betreibt. Inspiriert durch: Auf dem Weg zu neuen Menschenrechten im Zeitalter der Neurowissenschaften und Neurotechnologie[67]

Soziales

Könnte sich die gesellschaftliche Einstellung zu Gesundheit und Lebensstil ändern?

Was es bedeutet, gesund zu sein, kann sich im Zuge der biodigitalen Konvergenz ändern und die sozialen Beziehungen beeinflussen. Heutzutage wird Gesundheit meist mit der Fähigkeit assoziiert, Krankheiten zu vermeiden und an einer ganzen Reihe von menschlichen Aktivitäten teilzunehmen.

In einer biodigitalen Konvergenz kann detailliertes, vermitteltes Wissen über den menschlichen Körper, das Mikrobiom und biologische Funktionen neue Möglichkeiten schaffen, unsere Gesundheit zu verstehen und zu beeinflussen. Die Maximierung der Gesundheit könnte eine breite Palette präziserer verhaltens- und ernährungsbezogener Interventionen beinhalten. In dem Maße, wie der Zugang zu Daten erleichtert wird, könnte Gesundheit zu einem Statussymbol werden. Der Zugang zu und die Finanzierung von Nootropika (Medikamente zur Verbesserung der Gehirnfunktion) könnten sozialpolitische Fragen aufwerfen.

Während die Fortschritte die Gesundheit erheblich verbessern könnten, sehen manche die verbesserten biodigitalen Technologien als eine Möglichkeit, die Auswirkungen eines ungesunden Lebensstils abzumildern.

Welche politischen Maßnahmen könnten dazu beitragen, gesundheitliche Ungleichheit zu bekämpfen?

Die biodigitale Konvergenz könnte die Entwicklung von Technologien beschleunigen, die die menschlichen Fähigkeiten über die Norm hinaus steigern, sei es durch Medikamente, Nahrungsergänzungsmittel, Prothesen oder Neurotechnologien. Ein ungleicher Zugang zu teuren Technologien könnte die wirtschaftliche Ungleichheit weiter verstärken.

Auch wenn der ungleiche Zugang benachteiligte und gefährdete Gruppen beeinträchtigen könnte, könnte die Demokratisierung biodigitaler Gesundheitsprodukte und -dienste einen Teil dieser Kluft ausgleichen. Wenn wir zum Beispiel lebensrettende oder lebensverbessernde Medikamente sicher, zuverlässig und kostengünstig herstellen können, könnte die Ungleichheit im Gesundheitsbereich entsprechend abnehmen.

Welche Maßnahmen könnten das Vertrauen zwischen Partnern und Interessengruppen fördern?

Die biodigitale Konvergenz stützt sich auf ein breites Spektrum biologischer Daten, was die Beziehung zwischen Bürgern und Unternehmen, die Dienstleistungen anbieten, verändern kann. Die Beziehung zwischen Unternehmen und Einzelpersonen kann ein höheres Maß an Vertrauen erfordern, da die Unternehmen Zugang zu sehr intimen Daten über unser Leben und unseren Körper suchen.

So könnten beispielsweise menschliche "digitale Zwillinge" über das Gesundheitswesen hinaus zu einem wertvollen Gut werden. Sozialdienste, das Justizsystem, Umweltdienste und Bildungsanbieter müssen möglicherweise mit immer intimeren Daten, die sich auf die Menschen und ihre Umgebung beziehen, vertraut sein, diese verwalten und darauf reagieren.

Eine öffentlich akzeptierte Datenpolitik kann manchmal die biodigitale Konvergenz ermöglichen, manchmal aber auch Hindernisse schaffen. Die Leichtigkeit, mit der viele Parteien personenbezogene Daten in Bezug auf das Genom, das Biom, die Gesundheitsmarker und den Kontext einer Person extrahieren oder nutzen könnten, könnte neue Anforderungen an die Regulierung schaffen, die über die bestehenden Gesetze zum Schutz personenbezogener Gesundheitsinformationen hinausgehen. Da die genetische Sequenzierung immer billiger und verbreiteter wird, könnten Bedenken hinsichtlich des Datenschutzes, die bisher weitgehend auf das Justizsystem und die Versicherungspraxis beschränkt waren, auch in anderen Bereichen menschlicher Aktivitäten aufkommen.

Die allgegenwärtige genetische Sequenzierung könnte Auswirkungen auf die Privatsphäre und die Zustimmung von Familien und Gemeinschaften haben, da der DNA-Test einer einzelnen Person Informationen über ihre biologischen Verwandten liefert. Seit Jahrzehnten sind indigene Gemeinschaften führend bei der Formulierung gemeinschaftsbezogener ethischer Grundsätze für die Forschung, insbesondere in Bezug auf genetische und gesundheitliche Informationen.[68] Regierungen müssen möglicherweise über die individuelle Privatsphäre hinaus denken und das Konzept der kollektiven Privatsphäre in Betracht ziehen, insbesondere wenn genetische Daten die Rechte oder Freiheiten anderer beeinträchtigen könnten.

Umwelt

Welche Veränderungen könnten bei der Flächennutzung und in der natürlichen Umwelt eintreten?

Die biodigitale Konvergenz könnte unsere Instrumente und Werte in Bezug auf Land und die natürliche Umwelt verändern.

Wenn sich die Nachfrage von einigen traditionell produzierten Rohstoffen wegbewegt, können die Preise für ihre Ressourcen sinken, was zu einer veränderten Landnutzung führt. Industriegebiete können auf Kosten von landwirtschaftlichen Flächen an Wert gewinnen, während Gebiete mit besonderer biologischer Vielfalt an Wert und Bedeutung gewinnen können, wenn sie Daten, ökologische Dienstleistungen und Rohstoffe für das Bioprospecting anbieten.

Das Ausmaß des Klimaproblems könnte Geoengineering und Bioengineering attraktiver und realisierbar machen. Die Freisetzung maßgeschneiderter Mikroorganismen könnte dazu beitragen, dass Moorgebiete Kohlendioxid effizienter absorbieren.[69]

Der biodigital Weg könnte den Weg in Richtung Nachhaltigkeit und Kreislaufwirtschaft ebnen, indem Materialien effizienter genutzt und die Auswirkungen von Produktion und Ressourcengewinnung auf die Umwelt verringert werden. Das Fraunhofer IGB hat beispielsweise einen neuartigen Ansatz zur Herstellung von Biokunststoffen entwickelt, die biologisch abbaubar und für die Verwendung in Lebensmitteln sicher sind. Die daraus resultierenden anorganisch-organischen Hybridpolymere verhindern, dass Gase und Dämpfe die Lebensmittel beeinträchtigen, und können sowohl auf Biokunststoff- als auch auf Papierverpackungen aufgebracht werden, so dass beschichtete Produkte (z. B. Verpackungen für Speisen zum Mitnehmen) vollständig biologisch abbaubar sind.[70]

Geopolitisch

Welche politischen Maßnahmen sind erforderlich, um in einer globalen biodigitalen Welt wettbewerbsfähig zu sein?

Die wirtschaftlichen Vorteile der biodigitalen Konvergenz beflügeln bereits den nationalen Wettbewerb sowie die Bemühungen zum Schutz von Branchen und zur Verhinderung ausländischer Übernahmen inländischer Innovationen in einigen Ländern. So sind beispielsweise eine Reihe von Geschäften, an denen ausländische Investoren in US-Biotech-Firmen beteiligt waren, gescheitert, seit der Kongress 2018 eine Aktualisierung des Foreign Investment Risk Review Management Act in Kraft gesetzt hat. Die vom Committee on Foreign Investment in the United States verwalteten Änderungen schränken internationale Investitionen in US-Biotechnologie-unternehmen ein.[71]

Die Länder könnten auch beginnen, auf der Grundlage von Strenge und Schnelligkeit der behördlichen Genehmigungen miteinander zu konkurrieren. Einige Länder könnten versuchen, Investitionen anzulocken, indem sie ein regulatorisches Umfeld bieten, das einen schnellen biodigitalen Fortschritt begünstigt, möglicherweise auf Kosten der vorherrschenden bioethischen Normen und Praktiken, die anderswo durchgesetzt werden.

Was ist erforderlich, um die Sicherheit der Bürger in der biodigitalen Welt zu schützen?

Die synthetische Biologie könnte viele Technologien mit doppeltem Verwendungszweck umfassen, die sowohl für zivile als auch für militärische Zwecke eingesetzt werden könnten. Mikroorganismen können Krankheitserreger oder Toxine produzieren. Der Umgang mit der böswilligen Nutzung von Technologien - insbesondere von solchen, die verbreitet werden - in der biodigitalen Welt ist bereits ein Problem.[72]

Biosicherheit könnte in einer Welt, die von biodigitalen Systemen abhängt, wichtig sein. Die DARPA-Initiative "Safe Genes" zielt beispielsweise darauf ab, Werkzeuge zu entwickeln, um die Auswirkungen der Genom-Editierung, einschließlich Gene Drives, in biologischen Systemen zu kontrollieren, zu bekämpfen und möglicherweise umzukehren.[73]

Es besteht auch die Möglichkeit der böswilligen, rücksichtslosen oder versehentlichen Freisetzung von tödlichen, im Labor hergestellten Viren. So konnte ein Virologe an der Universität von Alberta mit Hilfe von Techniken der synthetischen Biologie die Pferdepocken (ein pockenähnliches Virus) nachbilden, indem er per Post bestellte DNA so zusammenfügte, dass sie mit der 2006 veröffentlichten Pferdepocken-Genomsequenz übereinstimmte.[74]

Governance

Wie können Regulierung und Politikgestaltung den sozialen Bedenken gegenüber biodigitalen Fortschritten Rechnung tragen?

Es gibt einen wichtigen Unterschied zwischen dem, was technologisch möglich ist, und dem, was gesellschaftlich akzeptabel ist. Die biodigitale Konvergenz könnte politische und regulatorische Lücken und Verzögerungen aufdecken, sowohl innerhalb als auch zwischen den Regierungen. Sie kann auch Möglichkeiten für neue integrierte und reaktionsschnelle Regulierungsansätze für biodigitale Systeme bieten, ähnlich wie andere aufkommende Technologien, die es ermöglichen, die Governance-Systeme flexibler zu gestalten.[75]

Die gesellschaftliche Akzeptanz kann für den Verlauf technologischer und regulatorischer Entwicklungen ausschlaggebend sein, insbesondere wenn es um die menschliche Fortpflanzung und Nahrungsmittelsysteme geht. So haben beispielsweise die unterschiedlichen rechtlichen und gesellschaftlichen Reaktionen auf gentechnisch veränderte Nutzpflanzen, die auf divergierende philosophische Risikomanagementansätze und eine unterschiedliche Machtdynamik zwischen dem privaten und dem öffentlichen Sektor zurückzuführen sind, zu einem sehr unterschiedlichen regulatorischen Umfeld in Nordamerika und Europa geführt.[76] Regulatorische Markteintrittsbarrieren könnten sich auf kleinere Marktteilnehmer auswirken, insbesondere in den Bereichen Lebensmittel und Gesundheitswesen, die stark reguliert sind und von der Rechtsprechung abhängen.

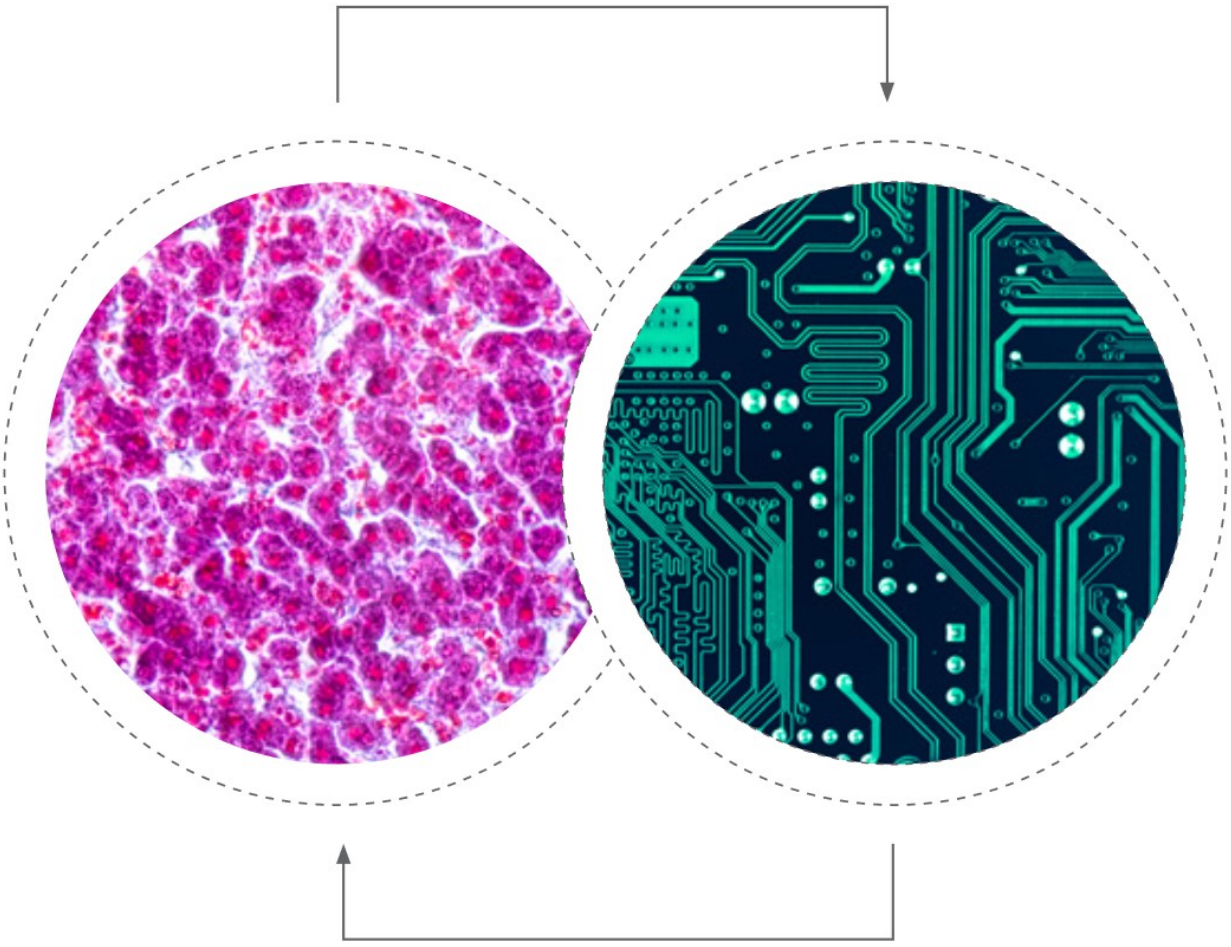
Soziale Belange wirken sich häufig auf Regulierungssysteme und Reformprozesse aus - insbesondere in Bezug auf Sicherheit, Preisgestaltung, Zugang und Arbeitsrechte. Und die soziale Lizenz kann oft eine stärkere Triebkraft für die Einhaltung der Vorschriften sein als die Rechtsmittel oder die Durchsetzung.[77]
Die Perspektiven auf biodigitale Technologien können von Gruppe zu Gruppe unterschiedlich sein, und verschiedene ethische Traditionen, einschließlich indigener Perspektiven[78] und Kenntnisse, könnten dazu beitragen, durchdachte Antworten zu finden.

Ist der derzeitige steuerliche Rahmen für die biodigitale Welt geeignet?

Die Merkmale des digitalen Bereichs könnten sich auch auf den biodigitalen Bereich erstrecken und die Nachverfolgung und Erhebung von Steuern erschweren. Dies könnte wiederum zu Problemen bei der Frage führen, was besteuert wird und von welcher Gerichtsbarkeit.[79] Der Wert der potenziellen Lizenzierung einer biodigitalen Ware ergibt sich aus ihren Komponenten und nicht aus dem kombinierten Endprodukt. Dies könnte die Möglichkeiten der Behörden einschränken, Steuern auf den Verkauf des Endprodukts zu erheben, was die Gesamteinnahmen an Mehrwertsteuern verringern könnte.

Müssen die öffentlichen Finanzsysteme neu bewertet werden, um in der biodigitalen Welt nachhaltig zu sein?

Zusätzlich zu den Vorteilen eines längeren Lebens könnte die höhere Lebenserwartung eine Herausforderung für die Steuer-, Sozialversicherungs-, Gesundheits- und Wohnungssysteme darstellen, sollten die gesundheitlichen Vorteile der biodigitalen Konvergenz erheblich sein. Rentenfonds, öffentliche Gesundheitsausgaben und die Unterbringung älterer Menschen könnten sowohl positive als auch negative Auswirkungen erfahren.



Politisch relevante Fragen, die sich aus der biodigitalen Konvergenz ergeben

Wirtschaft

- Könnten traditionelle ressourcenbasierte Wettbewerbsvorteile schwinden?
- Müssten die Systeme der allgemeinen und beruflichen Bildung angepasst werden, um mögliche Qualifikationslücken zu schließen?
- Wie könnten die Rahmenbedingungen für Datenschutz und geistiges Eigentum im biodigitalen Zeitalter aussehen?
- Wie kann die Politik ein wettbewerbsfähiges Unternehmensumfeld in einer biodigitalen Welt fördern?

Soziales

- Könnte sich die gesellschaftliche Einstellung zu Gesundheit und Lebensstil ändern?
- Welche politischen Maßnahmen könnten dazu beitragen, gesundheitliche Ungleichheit zu bekämpfen?
- Welche Maßnahmen könnten das Vertrauen zwischen Partnern und Interessengruppen fördern?

Umwelt

- Welche Veränderungen könnten bei der Flächennutzung und in der natürlichen Umwelt eintreten?

Geopolitik

- Welche politischen Maßnahmen sind erforderlich, um in einer globalen biodigitalen Welt wettbewerbsfähig zu sein?
- Was ist erforderlich, um die Sicherheit der Bürger in der biodigitalen Welt zu schützen?

Governance

- Wie können Regulierung und Politikgestaltung den sozialen Bedenken gegenüber biodigitalen Fortschritten Rechnung tragen?
- Ist der derzeitige steuerliche Rahmen für die biodigitale Welt geeignet?
- Müssen die öffentlichen Finanzsysteme neu bewertet werden, um in der biodigitalen Welt nachhaltig zu sein?

Schlussfolgerung

Wir könnten an der Schwelle zu einer langfristigen biodigitalen Transformation unserer Wirtschaft, Gesellschaft, Institutionen und Umwelt stehen. Diese biodigitale Konvergenz könnte die Art und Weise verändern, wie wir Güter und Dienstleistungen produzieren und konsumieren, wie wir miteinander in Beziehung treten, wie wir unseren Körper pflegen und ergänzen, wie wir Daten erfassen und verarbeiten, wie wir Entscheidungen treffen und unseren Platz in Ökosystemen verwalten.

In den späten 1970er und frühen 1980er Jahren begannen die Kanadier und die politischen Entscheidungsträger zu verstehen, dass das digitale Zeitalter vor ihnen lag. Die ersten Akteure ergriffen die Chancen, erkannten die Herausforderungen und leiteten eine geschickte Politik ein, die seit Jahrzehnten Vorteile bringt. Jetzt könnte es an der Zeit sein, ähnliche Investitionen zu tätigen und durchdachte Entscheidungen zu treffen, um Kanada durch den Beginn einer biodigitalen Konvergenz zu führen.

Policy Horizons freut sich auf die Zusammenarbeit mit Partnern und Interessenvertretern, um in diesem Bereich eine politisch relevante Vorausschau zu entwickeln.

Danksagung

Policy Horizons ist federführend in einem Bereich der Zukunftsforschung, der als biodigitale Konvergenz bezeichnet wird. Dieses Sondierungspapier bildet den ersten Rahmen für eine bevorstehende eingehende Foresight-Studie. In dem Maße, wie sich dieser neue Bereich herausbildet, werden wir weiterhin plausible Zukunftsszenarien für die biodigitale Konvergenz und die sich daraus ergebenden politischen Fragen untersuchen.

Projektteam zur Erforschung der biodigitalen Konvergenz

Marcus Ballinger , Manager

Steffen Christensen , Senior Foresight Analyst

Nicholas Davis , SWIFT Partners Sàrl

Pierre-Olivier DesMarchais , Foresight Analyst

Avalyne Diotte , Foresight Analyst

Kristel Van der Elst , Director General

Eric Ward , Senior Director

Communications

Maryam Alam , Communications Advisor

Nelly Leonidis , Manager

Alain Piquette , Graphic Designer

Nadia Zwierzchowska , Editor

Wir möchten uns bei unseren Kollegen Imran Arshad, Pascale Louis und Claudia Meneses für ihre Unterstützung bei diesem Projekt bedanken.

Wir freuen uns auf die Zusammenarbeit mit Partnern und Interessengruppen bei der Untersuchung der biodigitalen Konvergenz.

horizons.gc.ca

Fußnoten

01 Kevin Warwick. “Implications and consequences of robots with biological brains.” Ethics and Information Technology. (2010): 223-234 https://www.researchgate.net/publication/225865087_Implications_and_consequences_of_robots_with_biological_brains

02 Josh L. Morgan and Jeff W. Lichtman. “Digital tissue and what it may reveal about the brain.” BMC Biology. (2017). https://bmcbiol.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12915-017-0436-9

03 Elon Musk, Neuralink. “An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels.” (2019). https://www.biorxiv.org/content/10.1101/703801v2.full

04 Toffler Associates. “Bio-Digital Convergence: The Human as Critical Infrastructure?” (2016). https://www.tofflerassociates.com/vanishing-point/biodigital-convergence-the-human-as-critical-infrastructure

05 Emily Matchar. “Turning Dragonflies Into drones.” Smithsonian (2017). https://www.smithsonianmag.com/innovation/turning-dragonflies-drones-180962097/

06 Travis M. Andrews. “Navy grants $750,000 to develop bomb-sniffing locusts.” Washington Post (2016). https://www.washingtonpost.com/news/morning-mix/wp/2016/07/06/navy-grants-750000-to-develop-cyborg-locusts-to-sniff-out-bombs/

07 Kate O’Riordan. “Revisiting Digital Technologies: Envisioning Biodigital Bodies.” (2011). https://www.researchgate.net/publication/272554346_Revisiting_Digital_Technologies_Envisioning_Biodigital_Bodies

08 Victor Tangermann. “Scientists Gene-Edited Tequila Bacteria To Make Cannabinoids.” Neoscope, Futurism.com. March 27, 2019, https://futurism.com/scientists-gene-edited-tequila-bacteria-cannabinoids

09 Ian Sample. “World’s first living organism with fully redesigned DNA created.” The Guardian, May 15, 2019, https://www.theguardian.com/science/2019/may/15/cambridge-scientists-create-worlds-first-living-organism-with-fully-redesigned-dna

10 Hyojin Kim, Daniel Bojar, and Martin Fussenegger. “A CRISPR/Cas9-based central processing unit to program complex logic computation in human cells”, PNAS April 9, 2019, https://doi.org/10.1073/pnas.1821740116

11 Nethaji J.Gallage and Birger Lindberg Møller. “Vanillin–Bioconversion and Bioengineering of the Most Popular Plant Flavor and Its De Novo Biosynthesis in the Vanilla Orchid.” Molecular Plant Volume 8, Issue 1, 5 January 2015: 40-57. https://doi.org/10.1016/j.molp.2014.11.008

12 The belief that “living organisms are fundamentally different from non-living entities because they contain some non-physical element or are governed by different principles than are inanimate things.” https://en.wikipedia.org/wiki/Vitalism

13 “Printeria: Team Valencia”. IGEM, accessed August 5, 2019, http://2018.igem.org/Team:Valencia_UPV

14 “CRISPR babies: more details on the experiment that shocked the world,” New Scientist, accessed August 28, 2019, https://www.newscientist.com/article/2186911-crispr-babies-more-details-on-the-experiment-that-shocked-the-world/

15 “Molecular biology meets computer science tools in new system for CRISPR,” Phys. org, accessed August 28, 2019, https://phys.org/news/2016-01-molecular-biology-science-tools-crispr.html

16 “Adaptive Assistance for Improved Well-Being and Productivity at Work,” SAP, accessed August 28, 2019, https://news.sap.com/2018/10/sap-emotiv-adaptive-assistance-well-being-productivity-work/

17 “People spent $1.9 billion last year on apps to keep their brains sharp as they age—here’s what actually works,” MarketWatch, accessed August 28, 2019, https://www.marketwatch.com/story/older-americans-spent-19-billion-last-year-on-apps-to-keep-their-brains-sharp-heres-what-actually-works-2019-05-24

18 “Guardant’s liquid biopsy matches tissue testing in lung cancer,” Vantage, accessed August 28, 2019, https://www.evaluate.com/vantage/articles/news/trial-results/guardants-liquid-biopsy-matches-tissue-testing-lung-cancer

19 “The Self-Powered Sensor That Could Enable Remote Medical Monitoring”, DZone, accessed August 28, 2019, https://dzone.com/articles/the-self-powered-sensor-that-could-enable-remote-m

20 “Amazon’s new patent will allow Alexa to detect a cough or a cold”, TheNextWeb, accessed August 28, 2019, https://thenextweb.com/artificial-intelligence/2018/10/15/amazons-new-patent-will-allow-alexa-to-detect-your-illness/

21 “AI gives reliable coma outcome prediction”, MedicalXpress, accessed August 28, 2019, https://medicalxpress.com/news/2019-06-ai-reliable-coma-outcome.html

22 “New Progress in the Biggest Challenge With 3D Printed Organs”, SingularityHub, accessed August 28, 2019, https://singularityhub.com/2019/05/07/new-progress-in-the-biggest-challenge-with-3d-printed-organs/

23 “Lab-Grown Kidneys Shown to Be Fully Functional in Animal Recipients”, ScienceAlert, accessed August 28, 2019, https://www.sciencealert.com/lab-grown-kidneys-shown-to-be-fully-functional-in-animal-recipients

24 “Man Meets Machine: What It Means to Be A Biohacker”, Thrillist, accessed August 28, 2019, https://www.thrillist.com/tech/nation/man-meets-machine-what-it-means-to-be-a-biohacker

25 Elon Musk, Neuralink. “An integrated brain-machine interface platform with thousands of channels”. BioRxiv. (2019) https://doi.org/10.1101/703801

26 “Bionic Limbs ‘learn’ To Open A Beer”, Wired, accessed August 28, 2019, https://www.wired.com/story/bionic-limbs-learn-to-open-a-beer/

27 “Implanted Brain-Computer Interface (BCI) Devices for Patients with Paralysis or Amputation - Non-clinical Testing and Clinical Considerations”. FDA. (2019). https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/implanted-brain-computer-interface-bci-devices-patients-paralysis-or-amputation-non-clinical-testing

28 “AI protein-folding algorithms solve structures faster than ever”, Nature, accessed August 28, 2019 https://www.nature.com/articles/d41586-019-01357-6

29 “Can bio-printing tumour cells, become a treatment against cancer?”, 3DNatives.com, accessed August 28, 2019 https://www.3dnatives.com/en/bio-printing-tumour-treatment-cancer-180920184/

30 Timothy Revell. “Tiny robots crawl through mouse’s stomach to heal ulcers”. New Scientist. (2017) https://www.newscientist.com/article/2144050-tiny-robots-crawl-through-mouses-stomach-to-heal-ulcers/#ixzz5v0xWhlrD

31 “MIT researchers apply AI techniques to predict clinical trial outcomes”, Clinical Trials Arena, accessed August 28, 2019, https://www.clinicaltrialsarena.com/news/mit-researchers-apply-ai-techniques/

32 Paul F. South et al. “Synthetic glycolate metabolism pathways stimulate crop growth and productivity in the field”. Science. Vol 363, Issue 6422, (January 2019)

33 Anna Nowogrodzki, “The automatic-design tools that are changing synthetic biology”. Nature, (December 2018) https://www.nature.com/articles/d41586-018-07662-w

34 “Biology By Design”, Ginkgo Bioworks, accessed August 28, 2019, https://www.ginkgobioworks.com/

35 “Scientists Use Machine Learning to Speed Up Biofuel Production”, R&D, accessed August 28, 2019, https://www.rdworldonline.com/scientists-use-machine-learning-to-speed-up-biofuel-production/

36 “A ‘biomultimeter’ lets scientists measure RNA and protein production in real time”, Lincoln Laboratory MIT , accessed October 17, 2019, https://www.ll.mit.edu/news/biomultimeter-lets-scientists-measure-rna-and-protein-production-real-time

37 Xufeng Liu et al. “Modular engineering for efficient photosynthetic biosynthesis of 1-butanol from CO2 in cyanobacteria”. Energy and Environmental Science, 2019.

38 “Target Malaria proceeded with a small-scale release of genetically modified sterile male mosquitoes in Bana, a village in Burkina Faso”, Target Malaria, accessed August 28, 2019, https://targetmalaria.org/target-malaria-proceeded-with-a-small-scale-release-of-genetically-modified-sterile-male-mosquitoes-in-bana-a-village-in-burkina-faso/

39 Christian Dunn, Nathalie Fenner, Anil Shirsat and Chris Freeman, “Options for Geoengineering the Climate via Microorganisms: A Peatland Case Study”, (2016). https://www.caister.com/hsp/abstracts/climate/12.html
“Climate Change and Microbial Ecology: Current Research and Future Trends”, Caister Academic Press, U.K., (2016) 185-200. https://doi.org/10.21775/9781910190319.12

40 “What is FluTracking?”, FluTracking, accessed August 28, 2019, https://info.flutracking.net/

41 “With a “hello,” Microsoft and UW demonstrate first fully automated DNA data storage”, Microsoft Innovation Stories, accessed August 28, 2019, https://news.microsoft.com/innovation-stories/hello-data-dna-storage/

42 “CRISPR used to build dual-core computers inside human cells”, New Atlas, accessed August 28, 2019, https://newatlas.com/crispr-cell-computer/59336/

43 Wang Wei Lee et al. “A neuro-inspired artificial peripheral nervous system for scalable electronic skins”. Science Robotics, Vol. 4, Issue 32, July 17, 2019.

44 “Process development in photobioreactors.” Fraunhofer IGB, accessed August 5, 2019 https://www.igb.fraunhofer.de/en/research/competences/environmental-biotechnology/microalgae/process-development-in-photobioreactors.html

45 “Taking Biotech to the Next Level with Laboratory Automation”, LabioTech.eu, accessed August 28, 2019, https://labiotech.eu/features/biotech-laboratory-automation/

46 Dyllan Furness. “Robot farmers have successfully planted and harvested barley by themselves”. Digital Trends, (2017), accessed August 28, 2019, https://www.digitaltrends.com/cool-tech/robot-farmers-harvest-barley/

47 Cesar de la Fuente-Nunez. “Toward Autonomous Antibiotic Discovery”. Systems; Washington Vol. 4, Iss. 3, (2019).

48 “Blockchain becomes a ‘source of truth’ for biopharma”, MedCityNews, accessed August 28, 2019, https://medcitynews.com/2018/12/blockchain-becomes-a-source-of-truth-for-biopharma/

49 “Gets 250.000 US$ to grow ethical meat in the lab”, University of Oslo, accessed August 28, 2019, https://www.med.uio.no/imb/english/about/news-and-events/news/2019/250000-dollars-from-gfi.html

50 “Genetic Design Starter Kit - Glowing Jellyfish Bacteria”, The Odin, accessed August 5, 2019 http://www.the-odin.com/colorbacteria/

51 “DIY CRISPR Kit”, The Odin, accessed August 5, 2019 http://www.the-odin.com/diy-crispr-kit/

52 “Genetic Engineering Home Lab Kit”, The Odin, accessed August 5, 2019 http://www.the-odin.com/genetic-engineering-home-lab-kit/

53 “Next in the Genomics Revolution: The Era of the “Social Genome”, Veritas, accessed August 21, 2019, https://www.veritasgenetics.com/next-genomics-revolution-era-social-genome

54 “Researchers using tissue engineering to create lab-grown meat. Phys. Org.” University of Bath, March 20, 2019. https://phys.org/news/2019-03-tissue-lab-grown-meat.html

55 Mai Lide, “Japan bio venture to sell jacket made with synthetic protein textile”, Kyodo New, August 29, 2019, accessed September 18th, 2019, https://english.kyodonews.net/news/2019/08/1a3e6ab4b4c7-japan-bio-venture-to-sell-jacket-made-with-synthetic-protein-textile.html

56 “Hypergiant Industries Launches Eos Bioreactor: A Prototype Bioreactor for Commercial and Personal Carbon Sequestration”, PR Newswire, September 17, 2019, accessed September 18th, 2019, https://www.prnewswire.com/news-releases/hypergiant-industries-launches-eos-bioreactor-a-prototype-bioreactor-for-commercial-and-personal-carbon-sequestration-300919790.html

57 “Bioengineers have cleared a major hurdle on the path to 3D printing replacement organs”. Innovation Toronto. May 4, 2019, https://www.innovationtoronto.com/2019/05/bioengineers-have-cleared-a-major-hurdle-on-the-path-to-3d-printing-replacement-organs/

58 “About”, Gingko Bioworks, accessed August 5, 2019, https://www.ginkgobioworks.com/about/

59 “Introduction to Bioinformatics. In: Yousef M., Allmer J. (eds miRNomics: MicroRNA Biology and Computational Analysis. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)”, vol 1107. Humana Press, Tolga Can. (2014)

60 Sarah Webb. “Deep learning for biology”, Nature, 554, 555-557 (2018). https://www.nature.com/articles/d41586-018-02174-z

61 Rashmi Tripathi, Pawan Sharma, Pavan Chakraborty & Pritish Kumar Varadwaj. “Next-generation sequencing revolution through big data analytics”, Frontiers in Life Science. Volume 9, Issue 2. (2016) https://doi.org/10.1080/21553769.2016.1178180

62 “Global Bioinformatics Market 2018-2023”. Research and Markets. September 20, 2018, accessed August 5, 2019, https://www.globenewswire.com/news-release/2018/09/20/1573558/0/en/Global-Bioinformatics-Market-2018-2023-Growing-Demand-for-Nucleic-Acid-and-Protein-Sequencing-Due-to-Reduction-in-Sequencing-Cost-and-Technological-Advancement.html

63 Bioprospecting - the search for naturally occurring chemical compounds and biological material - is an activity currently applied to non-human organisms. The importance of large datasets related to the biology and behaviour of individuals means that bioprospecting could be extended to humans as well, with researchers and firms actively looking to sample specific racial, ethnic or cultural groups for specific genes or micro-biome characteristics.
Padma Nambisan. “Protection of Traditional Knowledge Associated with Genetic Resources. In: An Introduction to Ethical, Safety and Intellectual Property Rights Issues in Biotechnology.” 345-356. (2017) https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809231-6.00016-8.

64 “Process development in photobioreactors”, Fraunhofer IGB. accessed August 5, 2019 https://www.igb.fraunhofer.de/en/research/competences/environmental-biotechnology/microalgae/process-development-in-photobioreactors.html

65 “Beyond 100: Whitepaper”, Barclays. November 23, 2018, https://privatebank.barclays.com/news-and-insights/beyond-100/beyond-100-impact-of-longevity-on-family-future-and-investments/

66 “Food Design to Feed the Human Gut Microbiota”, PMC. March 22, 2018, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5951603/

67 “Towards new human rights in the age of neuroscience and neurotechnology”, BMC. 26 April 2017, https://lsspjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40504-017-0050-1

68 The First Nations Principles of OCAP®, First Nations Information Governance Centre, accessed October 9, 2019. https://fnigc.ca/OCAP

69 Christian Dunn, Nathalie Fenner, Anil Shirsat and Chris Freeman. “Options for Geoengineering the Climate via Microorganisms: A Peatland Case Study. In: Climate Change and Microbial Ecology: Current Research and Future Trends (Edited by: Jürgen Marxsen).” Caister Academic Press, U.K. (2016): 185-200. https://doi.org/10.21775/9781910190319.12

70 “Whitepaper: Biological Transformation and the Bioeconomy.” Fraunhofer. (2019) https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/Publications/Brochures/whitepaper-biological-transformation-and-bioeconomy.pdf.

71 Steve Dickman. “US Crackdown On Foreign Biotech Investment Makes Us Poorer, Not Safer.” Forbes, May 24, 2019, accessed August 5, 2019, https://www.forbes.com/sites/stevedickman/2019/05/24/us-crackdown-on-foreign-biotech-investment-makes-us-poorer-not-safer/#333027e35581

72 “A Proposed Framework for Identifying Potential Biodefense Vulnerabilities Posed by Synthetic Biology: Interim Report”, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC: The National Academies Press. (2017) https://doi.org/10.17226/24832

73 “Safe Genes”, DARPA, accessed August 5, 2019, https://www.darpa.mil/program/safe-genes

74 David Kushner. “Synthetic Biology Could Bring a Pox on Us All”, Wired. March 25, 2019, accessed August 5, 2019 https://www.wired.com/story/synthetic-biology-vaccines-viruses-horsepox/

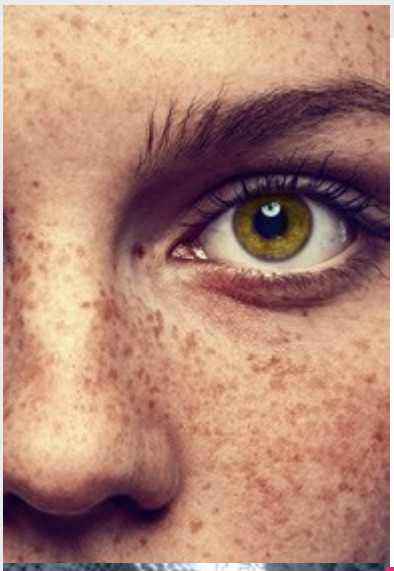
75 “Agile Governance: Reimagining Policy-making in the Fourth Industrial Revolution”, Whitepaper. World Economic Forum. (2018) http://www3.weforum.org/docs/WEF_Agile_Governance_Reimagining_Policy-making_4IR_report.pdf

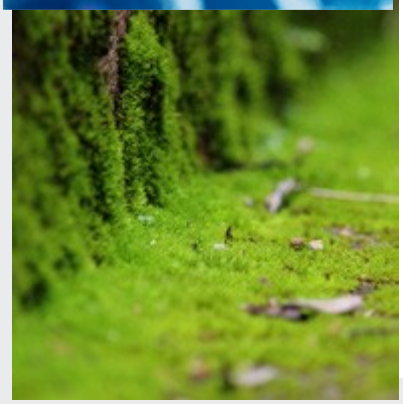
76 Jessica Lau. “Same Science Different Policies. Signal to Noise, Regulating Genetically Modified Foods in the U.S. and Europe.” Harvard University. August 9, 2015. http://sitn.hms.harvard.edu/flash/2015/same-science-different-policies/

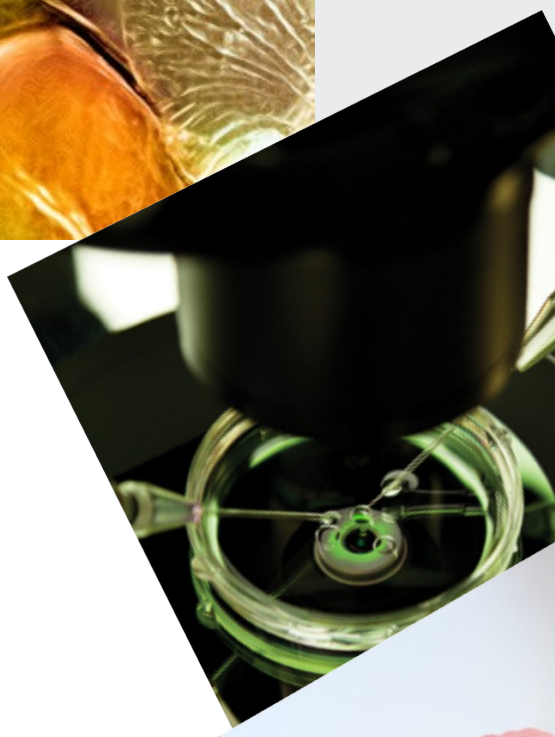
77 Neil Gunningham, Robert A. Kagan and Dorothy Thornton. “Social License and Environmental Protection: Why Businesses Go Beyond Compliance.” Law and Social Inquiry, Volume 29, Issue 2 Spring 2004: 307-341 https://doi.org/10.1111/j.1747-4469.2004.tb00338.x

78 New Zealand’s requirement to take Maori perspectives into account in regulating gene editing, described in M. Hudson, A. Mead, D. Chagné, N. Roskruge, S. Morrison, P. Wilcox, A. Andrew. “Indigenous Perspectives and Gene Editing in Aotearoa New Zealand.” Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, Volume 7, 2019 https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2019.00070/full

79 “In a world of 3D printing, how will you be taxed?”, EY Global, 26 April 2018, https://www.ey.com/en_gl/trust/in-a-world-of-3d-printing--how-will-you-be-taxed







horizons.gc.ca