

HIGHTECH FORUM

Bio-IT-Innovationen

Konvergenz von Biowissenschaften und
Informationstechnologien

Ein Impulspapier aus dem Hightech-Forum*

* Dieses Impulspapier wurde auf der 6. Sitzung des Hightech-Forums am 30. September 2020 beraten. Die inhaltliche Verantwortung liegt bei den federführenden Mitgliedern: Prof. Dr. Christiane Woopen, Dr. Martin Brudermüller, Prof. Dr. Sabina Jeschke, Dr. Marion Jung und Prof. Johannes Vogel Ph. D.

1

Bedeutung von Bio-IT-Innovationen

Die Hightech-Strategie 2025 (HTS) verfolgt das übergeordnete Ziel, zu nachhaltigen Lösungen für große gesellschaftliche Herausforderungen beizutragen. Neue, auch radikale Innovationspotenziale sollen durch das Zusammenwirken verschiedener Schlüsseltechnologien erschlossen werden. Das Hightech-Forum sieht insbesondere im Zusammenwirken von Biowissenschaften und Informationstechnologien das Potenzial für die erfolgreiche Umsetzung einiger der Missionen der HTS.¹

Bio-IT-Innovationen: Seit Mitte der 2000er-Jahre wurden rasante Fortschritte in den Biowissenschaften erzielt. Technologien, insbesondere Hochdurchsatzverfahren,^{2,3} die Synthese von DNA⁴ und die Genom-Editierung mit CRISPR⁵, führten zu einem enormen Zuwachs an Wissen und Eingriffsmöglichkeiten. Zahlreiche Start-ups sind in diesen Technologiefeldern entstanden. Einige wegweisende Bioökonomie-Innovationen in der Medizin, Gesundheits- und Ernährungswirtschaft sind bereits auf dem Markt.¹⁵ Dabei spielten parallele Fortschritte in den Informationstechnologien⁶ eine tragende Rolle. Die digitale Sammlung, Speicherung, Vernetzung und Analyse großer Datenmengen wurde zu einem zentralen Thema der Biowissenschaften⁷ und die Bioinformatik entwickelte sich zu einer Schlüsseldisziplin.

Fortschritte in den Biowissenschaften und in den Informationstechnologien inspirieren neue Forschungsfragen und Technologie-Entwicklungen in dem jeweils anderen Wissenschaftsbereich. Die Forschungsrichtung der synthetischen Biologie und des Bioengineering beschäftigt sich beispielsweise mit der Möglichkeit der Programmierung von biologischen Systemen für bestimmte Aufgaben.^{8,9} In den Informationstechnologien entstanden visionäre Projekte, von der Datenspeicherung in DNA¹⁰ bis hin zu neuromorphem Computing, z. B. im Human Brain Project.¹¹

Das Hightech-Forum beobachtet, dass Biowissenschaften und Informationstechnologien nun zusehends und in einer neuen Qualität und Intensität kombiniert werden und verschmelzen. Diese Konvergenz von Biologie und IT geht mit einem Paradigmenwechsel in beiden Gebieten einher. Auf der einen Seite wird „Leben“ zum Gegenstand digitaler Methoden und kann als digitale Information nachgebildet, erforscht, analysiert, aber auch verändert werden. In umgekehrter Richtung werden digitale Informationen in organische Materialien überführt, wie beim 3-D-Druck von biologischem Gewebe auf Basis von digitalen „Bauplänen“ oder der IT-gesteuerten Züchtung von Organismen.

Dadurch können sich bahnbrechende Bio-IT-Innovationen ergeben, die aber auch neue ethische und gesellschaftliche Herausforderungen mit sich bringen.

Gesellschaftliche und politische Relevanz: Bio-IT-Innovationen werden für Bereiche entwickelt, die für die Menschheit von elementarer Bedeutung sind. Insbesondere die Nachhaltigkeitsziele (SDGs) zu Gesundheit und Wohlergehen, nachhaltiger Ernährung sowie Klima- und Biodiversitätsschutz stehen im Vordergrund.^{a,12} Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Entwicklung technischer „Lösungen“ der Verantwortung von Wissenschaft, Politik und Gesellschaft schon gerecht wird. Zentrale Probleme in den Bereichen Gesundheit (von Mensch und Tier), Ernährung, Klima und Biodiversität haben im Wesentlichen soziale, wirtschaftliche und politische Ursachen, die nicht allein durch technische Innovationen behoben werden können. Daher ist eine frühzeitige Einbindung der Gesellschaft, die Erstellung ethischer Expertisen sowie die Weiterentwicklung des Responsible Research and Innovation (RRI) Framework von maßgeblicher Bedeutung. Bio-IT-Innovationen müssen immer von Anfang an mit sozialen Innovationen zusammengedacht werden.¹³

Mit diesem Impulspapier unterstreicht das Hightech-Forum den politischen und gesellschaftlichen Handlungsbedarf im Bereich der Bio-IT. Der Wettbewerb um wissenschaftliche Talente, um Daten- und Marktzugänge sowie um die wirtschaftliche Umsetzung hat nach Einschätzung des Hightech-Forums bereits begonnen. Hinzu kommt das wachsende Engagement kapitalstarker und teils monopolartiger Digitalunternehmen in traditionellen und neuen Märkten.

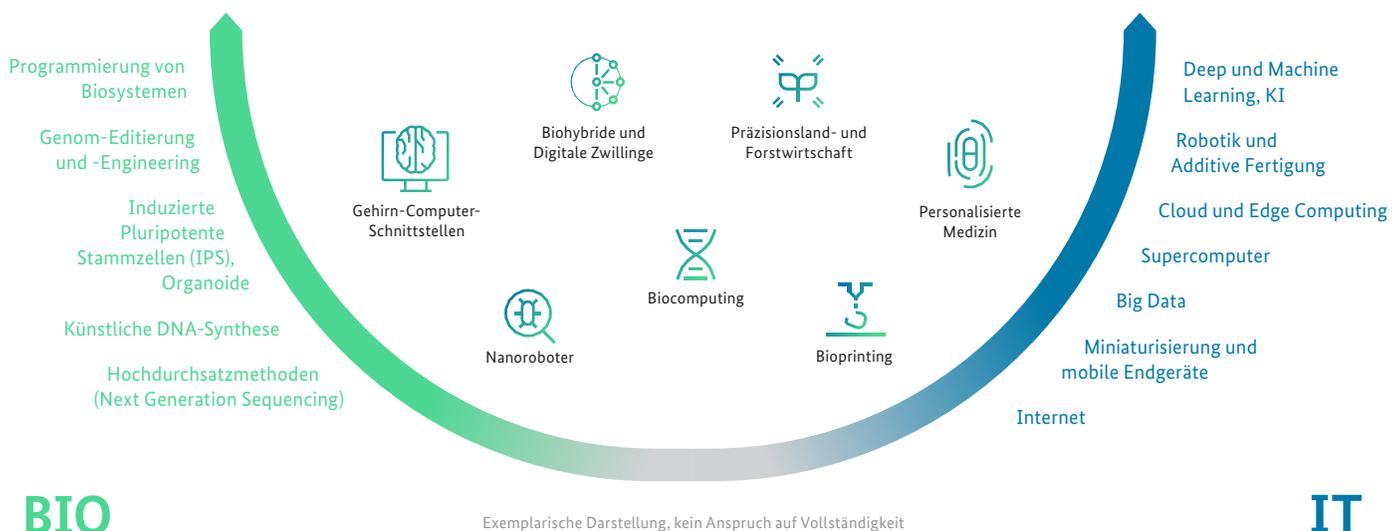
Die Voraussetzungen für Bio-IT-Innovationen sind in Deutschland in manchen Bereichen sehr gut. Nun geht es darum, das volle Potenzial zu entfalten. Dazu gehört auch eine breite gesellschaftliche Debatte über die ethischen und sozialen Herausforderungen von Bio-IT. Will man diese Entwicklungen zukünftig international auf Augenhöhe mitgestalten, sind die Akteure in Deutschland und Europa gefordert, über die exzellente Grundlagenforschung hinaus in die Entwicklung von Produkten und Anwendungen bis hin zu neuen Geschäftsmodellen zu investieren und dabei eine nachhaltige Entwicklung mit internationaler Vorbildfunktion voranzutreiben. Eine konstruktive Einbindung der Gesellschaft in Innovationsprojekte, z. B. über partizipative Produktentwicklung, für die hier angesprochenen zukunftsentscheidenden Fragen, ist von zentraler Bedeutung und sollte von der Politik unmittelbar mitgedacht und gefördert werden.

Dieses Impulspapier behandelt folgende Fragen:

- Welche Innovationspotenziale sind mit der Konvergenz von Bio-IT verbunden? (Kapitel 2)
- Wie ist das deutsche Innovationssystem für Bio-IT im internationalen Vergleich aufgestellt? (Kapitel 3)
- Welcher Handlungsbedarf ergibt sich für die Innovationspolitik? (Kapitel 4)

a Das Hightech-Forum hat sechs Kurz-Expertisen zu Bio-IT-Innovationen beauftragt, um die Potenziale und Herausforderungen für die Gesellschaft exemplarisch zu veranschaulichen.

Bio-IT entsteht aus der Verschmelzung von Biowissenschaften und IT



Exemplarische Darstellung, kein Anspruch auf Vollständigkeit

BIO

IT

Abb.: Verständnis von Bio-IT

2 Innovationspotenziale und bedeutende internationale Entwicklungen

Die Konvergenz von Bio- und Informationstechnologien kann zu grundlegenden Innovationen und Umbrüchen in sämtlichen Wirtschafts- und Lebensbereichen führen.^{14,15,16,17,18} Einerseits bauen „klassische Akteure“ aus den bereits heute biowissenschaftlich stark durchdrungenen Bereichen der Gesundheits-, Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft sowie der Umwelttechnologien ihre Leistungen aus. Andererseits tritt eine wachsende Zahl von „nicht-klassischen“ Akteuren – vor allem aus der Digitalwirtschaft – in diese Märkte ein. Zugleich sind radikal neue Produkte an der Schnittstelle zwischen Biologie und Technik, z. B. in der Elektronik und Robotik, zu erwarten, die auch erhebliche Fortschritte in der Bioökonomie ermöglichen. Massive FuE-Investitionen, Unternehmenskooperationen sowie Bio-IT-Gründungen werden im Zeithorizont von 15 bis 20 Jahren zu einem enormen Wissensgewinn und zu ganz neuen Handlungsmöglichkeiten, aber auch Herausforderungen führen.

Im Folgenden werden Innovations- und Nachhaltigkeitspotenziale von Bio-IT für die in der Hightech-Strategie definierten Missionen¹ aufgeführt. Beispiele von Initiativen globaler Unternehmen verdeutlichen internationale Entwicklungen. Diese Entwicklungen werfen weitreichende ethische Fragen auf, die sowohl den Einsatz der Technologien, die institutionellen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen für die Dynamik der Bio-IT-Entwicklung als auch ganz grundsätzlich das Menschenbild, unser Verhältnis zur Natur und unsere Vorstellungen von gesellschaftlichem Zusammenleben betreffen. Hierzu ist eine breite gesellschaftliche Debatte unverzichtbar und sollte in vielfältigen Formaten gefördert werden.

Intelligente Medizin und Bekämpfung von Krebs

Angestrebt wird eine Neuausrichtung der Medizin für eine treffsichere Behandlung insbesondere bei Krebs-, Immun- und Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die für einen Großteil der vorzeitigen Todesfälle in Industrieländern verantwortlich sind. Auf Grundlage eines systembiologischen Verständ-

nisses von Krankheitsursachen und -verlauf auf genetischer, zellulärer und metabolischer Ebene werden ermöglicht:¹⁹

- individualisierte Krankheitsmodelle und für den Patienten maßgeschneiderte Therapien^{20,21}
- die Modellierung kompletter Organe und Gewebe „in silico“ im Sinne eines Digitalen Zwillinges (und damit auch die Abkehr von Tierversuchen)^{20,22,23}
- die Produktion von Gewebe- und Organersatz aus körpereigenen Zellen auf Basis digitaler Modelle²⁴
- Einsätze von Nanorobotern im Körper, die Krankheiten frühzeitig erkennen, Gesundheitsdaten speichern und bei Bedarf gezielt Wirkstoffe freisetzen⁸

Die COVID-19-Pandemie zeigt, dass die Weltgemeinschaft beim Pandemie-Management großen Aufholbedarf hat. Eine Möglichkeit des Monitorings und der schnellen Kontrolle von Pandemien sind wiederholte, bevölkerungsweite Testreihen, die u. a. durch Bio-IT-Innovationen umsetzbar wären und die Ausbreitung des Virus innerhalb weniger Wochen entscheidend reduzieren könnten.^{22,25}

Beispiele für Initiativen von Global Playern

- Alphabet bündelte sein datengetriebenes Gesundheitsgeschäft 2019 unter „Google Health“ mit mehr als 500 Mitarbeitern. Zusätzlich werden Bio-IT-Innovationen bei den Tochtergesellschaften Verily (Life Sciences) und Calico (Ageing) vorangetrieben: z. B. die 500-Mio.-Euro-Initiative „Galvani Bioelectronics“ mit Glaxo Smith Kline. Miniatur-Implantate sollen elektrische Nervensignale messen und Unregelmäßigkeiten bei chronischen Erkrankungen korrigieren.²⁶
- Apple startete 2018 mit Kliniken für die eigene Belegschaft (AC Wellness), in denen Apples neue Healthcare-Produkte getestet werden sollen, z. B. Gesundheitsanwendungen, basierend auf Gentests.²⁷

Nachhaltigkeit, Klimaschutz und Energie

Land- und Forstwirtschaft sind für knapp ein Viertel der globalen CO₂-Emissionen verantwortlich. Sie haben ein hohes Einsparpotenzial durch Vermeidung von Emissionen und die zusätzliche Speicherung von CO₂ in Böden und Vegetation.²⁸ Die Präzisionsland- und Forstwirtschaft sollen dieses Potenzial heben. Anhand von Daten über Saatgut (Genetik), Bodenbeschaffenheit (Mikrobiom), Schädlingsbefall und Krankheiten (Taxonomie, Genetik) sowie das lokale Wetter können landwirtschaftliche Modelle entwickelt werden, die Aussaat- und Erntezeitpunkte sowie die Zufuhr von Nährstoffen, Pflanzenschutzmitteln und Wasser optimieren (Digital Farming).²⁹ Zudem werden autonome, kleine Land- und Forstmaschinen (z. B. Feld-Roboter) entwickelt, die, unterstützt von KI-Anwendungen, im Schwarm agieren können, besonders bodenschonend arbeiten und so u. a. die CO₂-Speicherung verbessern.³⁰ Daten über verschiedene Formen der Landnutzung dienen auch der Modellierung von Klimafolgen und der Entwicklung von Maßnahmen, siehe etwa das Projekt BLIZ.³¹ Biodiversität kann gefördert werden, siehe etwa das Projekt Lerchenbrot.³²

Beispiele für Initiativen von Global Playern

- Mit der Übernahme des Agrarchemiekonzerns Monsanto für über 60 Mrd. Euro kaufte sich Bayer 2018 die Digital-Tochter „The Climate Corporation“ inklusive der marktführenden Plattform für Präzisionslandwirtschaft. Monsanto hatte das Start-up 2013 für über 1 Mrd. US-Dollar erworben.³³
- BASF kaufte in der Folge des Bayer-Monsanto-Deals deren xarvio-Digitalplattform.³⁴ Zunehmend werden Cloud-to-Cloud-Zugänge zu den gesammelten Daten der Landmaschinenhersteller und der Plattformen geboten.³⁵

Als ein Leuchtturm-Projekt der Bioökonomie für eine treibhausgasneutrale Industrie gilt der technisch effiziente Nachbau der Photosynthese.^{41,42} Kohlenstoffverbindungen jeglicher Art sollen nachhaltig aus Licht, Wasser und CO₂ hergestellt werden, losgelöst von den Anbaulimitationen von Pflanzen. Die Projekte sind noch in der Grundlagenforschung, aber es gibt vielversprechende Durchbrüche: So ist es etwa gelungen, künstliche, „in silico“ entworfene Chloroplasten im Labor herzustellen, die CO₂ effizienter als Pflanzen mittels Lichtenergie binden und umwandeln können.⁴³

Für die ressourcenschonende Ernährungssicherung einer wachsenden Weltbevölkerung und insbesondere für die Versorgung in städtischen Ballungsräumen werden Indoor- und Urban-Farming-Systeme entwickelt, die ohne Ackerflächen auskommen und Rohstoffe so gut wie möglich im Kreislauf führen.³⁶ Die zunehmende Kenntnis des physiologischen Bedarfs von Pflanzen und des Zusammenspiels von Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren in Ökosystemen ermöglicht die Kultivierung in technischer Umgebung unter kontrollierten, teils automatisierten Bedingungen.

Die notwendigen und ineinandergreifenden Bio-IT-Innovationen sind umfassend. Der Bedarf reicht von der Zucht optimierter Pflanzen und Mikroorganismen über biologische Sensoren bis hin zu automatischen Beleuchtungs-, Bewässerungs- und kombinierten Anbausystemen, wie z. B. in der Aeroponik, Aquaponik oder Insektenzucht.³⁷

Beispiele für Initiativen von Global Playern

- Google Ventures investiert signifikante Summen in nachhaltige Ernährung und Urban Farming, beispielsweise das Foodtech-Start-up Impossible Foods³⁸ und das Urban-Farming-Start-up Bowery.³⁹
- 2019 übernimmt die Miele AG das insolvente Indoor-Farming-Start-up Agrilution.⁴⁰ In einer Art Kühlschrank ermöglichen spezielle Saattmatten, eine Nährstofflösung, LED-Licht und ein Bewässerungssystem die teilautomatisierte Aufzucht von Salaten und Kräutern.

Biologische Vielfalt erhalten

Global sind die Wildtierpopulationen in weniger als 50 Jahren um mehr als zwei Drittel reduziert worden.⁴⁴ Zahlreiche weitere Biodiversitäts-Indikatoren (z. B. GBO-5⁸⁸) zeigen, dass unsere Ökosysteme sich dramatisch und schnell verändern. Big Data und Bio-IT-Forschung versetzen die Menschheit zum ersten Mal in die Lage, die drastischen Auswirkungen des eigenen Tuns zu erfassen. Dazu gehört auch das Wissen um natürliche Varietäten und menschengemachte Veränderungen. Dies führt langsam zu einem Verständnis von ökosystemaren Prozessen mit verbessertem Prognosecharakter. Essenziell für die Regeneration der Natur sind ein geringerer Flächenverbrauch und Nutzungsdruck auf alle Naturräume.⁴⁵ Bio-IT-Innovationen, etwa der Bioökonomie, können maßgeblich hierzu beitragen.⁴² Zudem spielt Bio-IT bei der Entwicklung von automatisiertem Monitoring (z. B. mithilfe von biohybriden Robotern und bioinformatischen Modellierungen) und der Züchtung klimawandeladaptierter Varietäten (z. B. auf Basis von digitalen Sequenzinformationen) eine große Rolle.⁴⁶ Nicht zuletzt stellt die Vielfalt des Lebens ein wertvolles Reservoir für nachhaltige Innovationen dar, welches durch die Bio-IT für die Menschheit erschlossen werden kann.

Technik für den Menschen entwickeln und gestalten

Nahezu alle großen Digitalunternehmen investieren erhebliche Summen in Anwendungen, die durch die Kombination von Biowissenschaften und IT die Handlungsmöglichkeiten des Menschen erweitern sollen und damit in besonderer Weise Fragen nach dem Menschenbild und nach ethischen Maßstäben aufwerfen. Beispielsweise geht es um die Gedankensteuerung von digitalen Geräten und um Mensch-Maschine-Verbindungen, z. B. Bio-IT-Implantate, die das Hören, Sehen oder Fühlen ermöglichen.

Beispiele für Initiativen von Global Playern

- Facebook kaufte 2019 das Start-up CTRL-Labs für mehr als eine halbe Milliarde US-Dollar.⁴⁷ Entwickelt werden soll eine Gedankensteuerung für digitale Endgeräte.
- Microsoft lancierte 2019 mit der Station B sein erstes molekularbiologisches Labor in Cambridge (GB) und entwickelt „biological computing“. Gemeinsam mit der Universität Washington wurde 2019 im „Molecular Information Systems Laboratory“ das erste automatisierte System für DNA-Datenspeicherung und -abruf entwickelt.⁴⁸
- Elon Musk gründete 2016 das Neurotechnologie-Unternehmen Neuralink. 2020 wurde ein Chip präsentiert, dessen 1000 Elektroden mit Gehirngewebe verbunden sind. Ziel ist die Entwicklung einer bidirektionalen Kommunikationsschnittstelle, um z. B. Musik direkt im Gehirn zu hören oder Videospiele zu steuern.⁴⁹

3

Innovationssystem für Bio-IT im internationalen Vergleich

Die bereits etablierten Innovationsstandorte für IT, Biotechnologie und Life Sciences, allen voran die Ost- und Westküste der USA, aber auch China, Japan und Großbritannien, gelten bei den anspruchsvollen Bio-IT-Entwicklungen als Wegbereiter.^{14,50,51} Deutschland ist in einigen zentralen FuE-Bereichen international wettbewerbsfähig. Neben exzellenter Grundlagenforschung und anwendungsnaher Technologieentwicklung sind in Deutschland nahezu alle globalen Life-Science-Konzerne angesiedelt, die über erhebliches Industrie-Know-how verfügen. Aufholbedarf besteht bei der Vernetzung und beim Transfer von akademischer Forschung und unkonventionellen Ideen in die Anwendung. Kritisch für die Zukunft sind die Finanzierung und Kommerzialisierung von visionären Ideen, insbesondere durch Start-ups, sowie die gesellschaftliche Mitgestaltung und Einbindung.

Der Innovationssystem-Ansatz geht davon aus, dass Innovationen das Ergebnis des Austauschs und der Beziehungen zwischen den Akteuren sind, die neues Wissen produzieren, weitergeben und anwenden.^{52,53} In diesem Papier kann lediglich eine erste, qualitative Einschätzung des Innovationssystems auf Basis der durchgeführten Recherchen, Kurz-Experten und Gespräche vorgenommen werden. Die Datenlage ist gerade in neuen Technologiefeldern, die (noch) keine eigene Branche bilden, dürftig.

Ausbildung: Der wissenschaftliche Nachwuchs in Deutschland gilt in den Biowissenschaften und Informationstechnologien als gut ausgebildet und die Kosten für wissenschaftliches Personal als wettbewerbsfähig. Ein Beleg für die hohe Leistungsfähigkeit der Studierenden sind z. B. die Erfolge deutscher Teams beim jährlich stattfindenden iGem-Wettbewerb in der synthetischen Biologie, welche in der Bio-IT eine große Rolle spielt.^{54,55}

Unkonventionelle Bio-IT-Innovationen erfordern eine hohe Multidisziplinarität, d. h. Kenntnisse in Molekularbiologie, Physik, Chemie, Mathematik, Computerwissenschaften, Elektrotechnik, Robotik etc. In dieser Hinsicht ist die Ausbildung an deutschen Universitäten noch zu wenig flexibel und interdisziplinär. Meist müssen vollwertige Zweitstudien absolviert werden, während an Universitäten in den USA z. B. multidisziplinäre Bioengineering-Fakultäten existieren⁵⁶ und auch Studiengänge individuell zusammengestellt werden können.

Wissenschaft: Ähnlich wie in der Ausbildung gilt Deutschland in der Grundlagenforschung an den Schnittstellen von Biowissenschaften und Informationstechnologien als kompetent und gut ausgestattet. In den Life Sciences sind deutsche Forschungszentren bei High-Impact-Publikationen gemeinsam mit den USA führend. Ebenso gelten die Biochemie (z. B. RNA- und DNA-Forschung), die Biophysik, Bionanotechnologie und teils auch die Bioinformatik als international wettbewerbsfähig. Anders sieht es jedoch bei Patentanmeldungen und Ausgründungen aus.⁵⁹ Anwendungs- und produktorientierte sowie interdisziplinäre Forschung sind noch keine Stärke deutscher Wissenschaftszentren. Zudem ist die Bio-IT-Forschung stark fragmentiert und auf die klassischen Anwendungsfelder, allen voran die Biomedizin, gerichtet. Unkonventionellere technologische Anwendungen sind die Ausnahme, z. B. gibt es nur ein Pro-

jekt zur „DNA-Datenspeicherung“.⁵⁷ Auch die in Deutschland starke Robotik und Elektronik haben biologische Technologien bislang kaum für sich entdeckt. In Japan⁵⁸ und den USA⁵⁹ beispielsweise findet die Konvergenz in stärkerem Maße statt.

Die Recherchen zeigen zudem, dass es in Deutschland für visionäre Bio-IT-Forschung kein international führendes Zentrum gibt, das alle relevanten Fachkompetenzen miteinander verbindet. Die Vernetzung unter den Forschungsgruppen und den wirtschaftlichen Akteuren ist noch nicht ausreichend. In der Bioinformatik wurden etwa 40 Forschungsgruppen im deutschen Netzwerk für Bioinformatik (de.NBI) über eine föderative Cloud-Lösung verbunden.⁶⁰ Europäische Zentren (z. B. EMBL-EBI⁶¹, Hub des europäischen ELIXIR-Netzwerks⁶²) sind in Großbritannien angesiedelt. Die Zusammenarbeit nach dem Brexit ist zu klären.

Technologietransfer und Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie: Deutschland verfügt über kompetente Innovations-Akteure in Bio-IT-Bereichen. Die Zusammenarbeit in Verbundprojekten und Clustern wird auch öffentlich gefördert. Dennoch entspricht die Transferleistung nicht den Ergebnissen an den global führenden Bio-IT-Standorten. Es geht insbesondere darum, in kurzer Zeit technologische Entwicklungen und großes Know-how aus verschiedensten Bereichen für die Markteinführung einer Innovation zusammenzubringen. Die USA sind hier bei Start-ups führend. Aber auch Chinas Cluster-Ansatz, bei dem die gesamte Entwicklungskette vom Forschungslabor bis zur Kommerzialisierung durch Unternehmen an einem Ort gebündelt wird, zeigt Erfolge.^{46,47,63}

In Deutschland werden die fragmentierende Regionalisierung von Clustern sowie die starke Trennung zwischen akademischer Spitzenforschung und wirtschaftlicher Anwendung im Bio-IT-Bereich als hinderlich angeführt. Es fehlt ein Gravitationszentrum, wo sich Expertise und unternehmerische Motivation treffen. Es gibt nicht „das“ Zentrum oder „das“ Spin-out-Labor für Bio-IT-Innovationen. Zwar gibt es zahlreiche Acceleratoren, Gründerzentren und Technologietransfer-Stellen, die an oder im Umfeld von Universitäten angesiedelt sind. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler erhalten jedoch wenig akademische Anerkennung und Unterstützung für die Entwicklung von Prototypen und die Validierung von Forschungsergebnissen mit

der Industrie. Das geistige Eigentum an ihren Erfindungen halten die Universitäten und Wissenschaftsorganisationen als Dienstgeber (§§ 13, 14 ArbNErfG). Für Ausgründungen, die bei der Finanzierung auf Patente oder exklusive Lizenzen angewiesen sind, ergeben sich in der Praxis einige Hürden, wenn die Patentanmeldung, -aufrechterhaltung und -verwertung durch den Dienstgeber abgewickelt wird.

Produktion und industrielle Akteure: Während Unternehmen etwa aus den Bereichen Pharma, Chemie, Life Sciences, Pflanzenzucht, Agrartechnik und Ernährung in Deutschland bereits in eigene Bio-IT-Innovationen investieren, fehlen die großen Digitalunternehmen und KI-Pioniere, die z. B. in den USA, Israel und Asien das Feld nach vorn treiben. Technologieplattformen zur automatisierten Produktion und Qualitätssicherung müssen z. B. in der personalisierten Medizin und der synthetischen Biologie erst entwickelt werden. Eine Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Akteure fällt zum aktuellen Zeitpunkt schwer.

Gesellschaft, Nachfrage und politische Rahmenbedingungen: Als eine gute Grundvoraussetzung für Bio-IT-Innovationen gilt die breite Zustimmung der Bevölkerung zu Klima- und Biodiversitätsschutz und zu einem Wandel hin zu mehr Nachhaltigkeit. Die Rolle, die Bio-IT hier spielt, ist allerdings noch wenig verstanden.⁶⁴ Die Marktperspektiven für Bio-IT-Innovationen sind gesellschaftlich bedingt vielfältig.

Häufig erfordern diese Entwicklungen den Einsatz von Biotechnologie und moderner Gentechnik. Während dies in der Medizin von der Bevölkerung zumeist akzeptiert wird,^{65,66} wird es für die Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft noch weitgehend abgelehnt.^{67,68} Daher ist abzuklären, wie schon in der Entwicklung von Bio-IT-Innovationen eine notwendige Verzahnung von Innovationsideen und Nachhaltigkeit erreicht werden kann. Zudem wurde in den Beratungen des Hightech-Forums hervorgehoben, dass ein unsicheres regulatorisches Umfeld für Bio-IT-Innovationen als Barriere für die Finanzierung und Kommerzialisierung angesehen wird.⁶⁹

Kapitalmärkte und Finanzierung: In Deutschland ist der Zugang zu Wagnis- und Wachstumskapital für visionäre Hightech-Gründungen unzureichend.^{70,71,72,89} Bio-IT-Innovationen sind noch in einer frühen Anwendungsphase und erfordern einen langfristigen Investitionshorizont („geduldiges Kapital“). Die Entwicklung von marktreifen „Produkten“ kostet häufig mehrere hundert Millionen Euro.^{14,15,73} Im Vergleich mit den USA, Großbritannien, aber auch der Schweiz und Frankreich sind die Investitionsanreize (z. B. Verlustvorträge und steuerfreie Reinvestitionen von Gewinnen aus Unternehmensverkäufen) und Rahmenbedingungen (z. B. für wissenschaftliche Ausgründungen) in Deutschland wenig attraktiv für private Kapitalgeber.^{72,73,89}

4

Handlungsempfehlungen

Bio-IT-Innovationen sind für Deutschland hochrelevant. Die Verschmelzung von Biowissenschaften und IT in Verbindung mit Gesundheits- und Ernährungswirtschaft, Prozesstechnik, Automatisierung und Sensorik bietet enorme Innovationspotenziale für stark wachsende Zukunftsmärkte. Andere Global Player, insbesondere Digital- und Technologieunternehmen, haben dies verstanden. Angesichts der massiven Investitionen muss sich Deutschland bemühen, die Konvergenz der Technologien auf Augenhöhe mitzugestalten.

Bio-IT-Agenda umsetzen und innovative Förderprogramme einrichten: Die Innovationsförderung sollte Bio-IT als multidisziplinäres Querschnittsthema behandeln. Das Hightech-Forum empfiehlt, die im Koalitionsvertrag verankerte „Agenda von der Biologie zur Innovation“ klarer und umfassender in Richtung Bio-IT zu definieren und als eigenständige Strategie umzusetzen. Noch vor Ablauf der aktuellen Legislaturperiode sollte ein Umsetzungskonzept inklusive innovativer Förderprogramme zur interdisziplinären Vernetzung der Akteure und zu Partizipation vorgelegt und angestoßen werden. Aufgrund ihrer hohen gesellschaftlichen und ökonomischen Relevanz sollten Bio-IT-Innovationen zu einem Kernbestandteil einer weiterentwickelten Hightech-Strategie werden.

Ambitioniertes Bio-IT-Forschungszentrum aufbauen: Das Hightech-Forum empfiehlt, ein Bio-IT-Zentrum einzurichten, das alle relevanten Fachkompetenzen miteinander verbindet und FuE auf internationalem Niveau vorantreibt. Dies erfordert den Aufbau einer neuen Einrichtung, verbunden mit der Vernetzung bereits existierender Nuclei und Initiati-

ven. In dem Zentrum sollte ein Verbund aus Einrichtungen der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung und der Wirtschaft deutschlandweit integrativ zusammenarbeiten, z. B. Bio-IT-relevante Cluster. Das Zentrum sollte insbesondere auf dem de.NBI-Netzwerk⁵⁶ aufbauen und relevante Software, Methoden und Datenbestände in Deutschland und Europa vernetzen und zur Verfügung stellen, beispielsweise jene der Nationalen Forschungsdateninfrastruktur (NFDI)⁷⁴ oder des europäischen Distributed System of Scientific Collections (DiSSCo)⁷⁵.

Potenziale biologischer Daten nutzen: Biologische Sammlungen, Datenbanken und Data Sciences sind die unabdingbare Grundlage für eine Vielzahl an Bio-IT-Innovationen. Der Forschungs- und Ausbildungsbedarf in der Bioinformatik und bei KI und Automatisierungstechnologien ist groß und sollte durch anwendungsnahe Bio-IT-Förderprogramme unterstützt werden.

Das Hightech-Forum ist der Überzeugung, dass ein gemeinsamer europäischer Markt für Daten und Cloud-Computing

gerade in den Bereichen, welche die Hightech-Strategie in den Missionen adressiert, für die Innovations- und Konkurrenzfähigkeit Europas unverzichtbar ist. Zur Gestaltung der dafür erforderlichen rechtlichen Rahmenbedingungen und ethischen Standards haben die Datenethikkommission⁷⁶ und die Wettbewerbskommission 4.0⁷⁷ zahlreiche Empfehlungen vorgelegt. Das Hightech-Forum empfiehlt der Bundesregierung, diese – soweit noch nicht geschehen – zügig aufzugreifen und auch im Rahmen der deutschen Ratspräsidentschaft auf europäischer Ebene einzubringen.

Prototyping und Zugang zu Bio-IT-Infrastruktur: Für die Förderung des Transfers von Bio-IT-Forschungsergebnissen in die Anwendung sollten niedrigschwellige Förderungen für Prototyp-Entwicklungen aufgesetzt werden. Der Zugang zu modernster Infrastruktur und technischen Dienstleistungen ist für Gründungen fundamental. Dies kann von spezialisierten Unternehmen oder Einrichtungen der angewandten Forschung übernommen werden. Wichtig sind freie Zugänge zu passend ausgestatteten Inkubatoren oder sogenannten Biofoundries⁷⁸. Auch für die Industrie sind Demonstratoren und Pilotanlagen zur Entwicklung neuer Herstellungstechnologien wichtig. Das Hightech-Forum empfiehlt den Aufbau von multidisziplinären Hubs oder Foundries insbesondere für unkonventionelle Bio-IT-Innovationen, mit hoher Anwendungsorientierung und enger Vernetzung mit der Gesellschaft, angewandter Forschung und Wirtschaft.

Anreize für Ausgründungen und Hightech-Start-ups schaffen: Der Transfer von exzellenter Bio-IT-Grundlagenforschung in Unternehmen und insbesondere Start-ups muss verbessert werden. Während kulturelle Faktoren politisch nur indirekt zu beeinflussen sind, kann die Finanzierungssituation kurzfristig deutlich verbessert werden.^{72,89} Das Hightech-Forum sieht die Notwendigkeit für eine stärkere Förderung von Transfer in Verbundprojekten sowie für klare Investitionsanreize, z. B. neue, unbürokratische Steueranreizmodelle, und für mehr regulatorische Handlungsspielräume bezüglich der Freigabe und Verwertung von Schutzrechten für Ausgründungen.⁷⁹

Ausbildungs- und Transferprogramme für Bio-IT: Um der Verbindung von Bio- und IT-Ansätzen gerecht zu werden, sollten eigenständige Strukturen, z. B. fakultätsübergreifende Zentren und Studiengänge zu Bio-IT oder Bio-Engineering, an Universitäten eingerichtet werden. Eine Flexibilisierung der Ausbildung in Form von frei wählbaren Modulen über natur-, sozial-, geistes-, IT- und ingenieurwissenschaftliche Fachrichtungen hinweg ist erforderlich, ohne jedoch die solide Fachausbildung in einem Gebiet zu vernachlässigen.⁸⁰ Hier ist auch die Reflexion zu ethischen und gesellschaftlichen Fragen zu integrieren.

In der Qualifizierung von wissenschaftlichem Bio-IT-Nachwuchs gibt es bereits gute Initiativen, die auf biowissenschaftliche Anwendungen konzentriert sind.⁸¹ Diese könnten ausgebaut werden, sodass auch unkonventionelle und technische Anwendungen in den Fokus rücken. Duale Karrierewege und temporäre Jobwechsel zwischen Unternehmen

und Wissenschaftsorganisationen sind erforderlich, um die Transferkompetenzen zu stärken.⁸²

Gesellschaftliche Partizipation fördern und sichern:

Bio-IT-Innovationen werden das Leben von Bürgerinnen und Bürgern auf vielfältige Weise verändern und werfen grundlegende Fragen des Verständnisses von organischer und anorganischer Natur sowie von Digitalem und Analogem auf. Dies umfasst auch das Verständnis von Biodiversität und Nachhaltigkeit sowie von Autonomie, Privatheit und persönlicher Integrität. Vor diesem Hintergrund ist im Sinne einer verantwortungsvollen Forschung und Entwicklung die Einbeziehung der Öffentlichkeit schon von Beginn an in der Forschungsförderung zu unterstützen.⁸³ Da innovative Beteiligungsformate noch wenig erprobt und beforscht sind, sollte dies Teil der staatlichen Förderung für den Bio-IT-Bereich sein, z. B. im Stile der Makerversities.⁸⁴

Rechtssicherheit für die Kommerzialisierung und Governance von Bio-IT-Innovationen verbessern:

Rechtsunsicherheiten bei der Zulassung und im Betrieb von Innovationen, die mithilfe von neuen Technologien entwickelt wurden, sind eine erhebliche Barriere für die Kommerzialisierung. Deutschland sollte insbesondere die Entwicklung innovativer rechtswissenschaftlicher Lösungen für emergente und konvergierende Technologien fördern, in Reallaboren testen und diese auch auf EU-Ebene einbringen.

(Inter-)Nationalen Dialog zu Ethik und Bio-IT-Sicherheit gestalten:

Deutschland muss sich konstruktiv in die Diskussionen zu Ethik und Sicherheit von Bio-IT-Innovationen im Kontext existierender Gesetze sowie laufender (inter-)nationaler Verhandlungen und Vereinbarungen in der Biotechnologie, der Medizin, der Künstlichen Intelligenz, der Biodiversität etc. einbringen und darauf hinwirken, dass die Grund- und Menschenrechte respektiert und die Prinzipien verantwortungsvoller Forschung und Innovation (RRI) und „Ethics by Design“ verfolgt werden.

Mit Blick auf die Sicherheit von Bio-IT-Innovationen sind technologieimmanente Risiken sowie Risiken durch missbräuchliche Verwendung zu bewerten und zu überwachen. Die Ansätze zu Biosicherheit des Deutschen Ethikrats⁸⁵ sowie der DFG/Leopoldina⁸⁶ sollten auf den Bio-IT-Bereich angewendet und entsprechend adaptiert werden. Wichtig ist die systematische Berücksichtigung von Bio-IT-Risiken in Ausbildung und Forschung. Die Politik muss ein stärkeres Engagement und den Dialog der Akteure in (inter-)nationalen Foren und Arbeitsgruppen fordern und fördern. Insbesondere sind nicht nur Normen in Forschungseinrichtungen und auf staatlicher Ebene zu entwickeln und zu etablieren, sondern auch die Privatwirtschaft und gesellschaftlichen Akteure (organisierte Zivilgesellschaft, Biohacker, Community Labs etc.) einzubinden.⁸⁷

Literaturverzeichnis

- 1 Missionen der Hightech-Strategie. Verfügbar unter www.hightech-strategie.de/de/missionen-1725.html | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 2 Mit neuartigen Hochdurchsatz-Methoden lassen sich z. B. das gesamte Genom, Transkriptom oder Proteom einer Zelle, eines Gewebes, eines Organs oder eines Organismus erfassen. Sie haben die Erforschung biologischer Systeme grundlegend verändert. Eine besondere Rolle spielen dabei die neuesten Sequenziertechnologien (Next Generation Sequencing, NGS). Mit diesen Technologien können molekulare Veränderungen, die mit Erkrankungen wie z. B. Krebs einhergehen, umfassend und detailliert erfasst werden. Vgl. Deutsches Krebsforschungszentrum DKFZ. Verfügbar unter www.dkfz.de/de/bioinformatikomics/index.php | Letzter Zugriff am 15.8.2020.
- 3 Goodwin, S.; McPherson, J.; McCombie, W. (2016): Coming of age: ten years of next-generation sequencing technologies. In: *Nature Reviews Genetics*, 17, 333–351.
- 4 Nowogrodzki, A. (2018): The automatic-design tools that are changing synthetic biology. Verfügbar unter www.nature.com/articles/d41586-018-07662-w | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 5 Anzalone, A. V.; Koblan, L. W.; Liu, D. R. (2020): Genome editing with CRISPR–Cas nucleases, base editors, transposases and prime editors. In: *Nature Biotechnology*, 38, 824–844.
- 6 Zu den Informations- und Kommunikationstechnologien werden gemäß der Definition der OECD sowohl Informations- und Kommunikationstechnik (Computerbau, elektronische Bauelemente, Unterhaltungselektronik etc.), Telekommunikationsdienste als auch Dienstleistungen (Software-Entwicklung, Datenverarbeitung) gezählt.
- 7 Lionelli, S. (Hrsg.) (2016): *Data-Centric Biology: A Philosophical Study*. Chicago: University of Chicago Press.
- 8 Siehe Kurz-Expertise: Simmel, F. (2020): Programmierbare Biosysteme und biohybride Nanoroboter. Verfügbar unter https://www.hightech-forum.de/wp-content/uploads/htf_expertise_simmel.pdf | Letzter Zugriff am 07.10.2020.
- 9 Molteni, M. (2010): Biology will be the next great computing platform. *Wired*. Verfügbar unter www.wired.com/story/biology-will-be-the-next-great-computing-platform/ | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 10 Extance, A. (2016): How DNA could store all the world's data. In: *Nature*, 537, 22–24. Verfügbar unter www.nature.com/news/how-dna-could-store-all-the-world-s-data-1.20496 | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 11 Markram, H. (2012): The Human Brain Project. Building a vast digital simulation of the brain could transform neuroscience and medicine and reveal new ways of making more powerful computers. In: *The Scientific American*, 306 (5), 50–55. Verfügbar unter www.engr.colostate.edu/~memoni/IU193/ArticlesForStudents/2012/0612050HumanBrainProject.pdf | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 12 El-Chichakli, B.; Braun, J. von; Lang, C.; Barben, D.; Philp, J. (2016): Five cornerstones of a global Bioeconomy. In: *Nature*, 535, 221–223. Verfügbar unter www.nature.com/news/policy-five-cornerstones-of-a-global-bio-economy-1.20228 | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 13 Hightech-Forum (2019): Impulspapier Soziale Innovationen. Verfügbar unter www.hightech-forum.de/publication/soziale-innovationen/ | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 14 Portincaso, M.; de la Tour, A.; Soussan, P. (2019): The dawn of the deep-tech-ecosystem. Boston Consulting Group. Verfügbar unter www.bcg.com/publications/2019/dawn-deep-tech-ecosystem | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 15 Chui, M.; Evers, M.; Zheng, A. (2020): How the Biorevolution could transform global competitive landscapes. McKinsey Global Institute. Verfügbar unter www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/how-the-bio-revolution-could-transform-the-competitive-landscape?cid=eml-web | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 16 Conde, J.; Pande, V.: The century of biology. Andreessen Horowitz. Verfügbar unter <https://a16z.com/2017/06/21/jorge-conde-bio-fund/> | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 17 Chief Scientific Adviser to the President of the European Commission, Anne Clover (2012): *The 21st Century: The age of biology*. Verfügbar unter www.search.oecd.org/sti/emerging-tech/A%20Glover.pdf | Letzter Zugriff 02.09.2020.
- 18 Gartner Research (2019): *Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. A Gartner Special Report*. Verfügbar unter www.gartner.com/en/doc/432920-top-10-strategic-technology-trends-for-2020 | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 19 Rajewsky, N.; Almouzni, G.; Gorski, S.; et al. (2020): LifeTime and improving European Healthcare through cell-based interceptive medicine. In: *Nature* 2020, in press. Verfügbar unter www.nature.com/articles/s41586-020-2715-9 | Letzter Zugriff am 08.09.2020.
- 20 Siehe Kurz-Expertise: Rajewsky, N. (2020): Einzelzellanalysen als Paradigma der Bio-IT-Innovation in der Medizin. Verfügbar unter www.hightech-forum.de/wp-content/uploads/htf_expertise_n-rajewsky.pdf | Letzter Zugriff am 07.10.2020.
- 21 Mehr Informationen zu personalisierter Medizin und Zelltherapien siehe Verband Forschender Arzneimittelhersteller. Verfügbar unter www.vfa.de/de/medizin-forschung/personalisierte-medicin/ | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 22 Siehe Kurz-Expertise: Lehrach, H. (2020): Case report for Bio-IT innovations in medicine and health: How can we handle major threats to our health and survival rationally? Verfügbar unter www.hightech-forum.de/wp-content/uploads/htf_expertise_lehrach.pdf | Letzter Zugriff am 07.10.2020.
- 23 Siehe Kurz-Expertise: Kurtz, A.; Fuhr, A.; Zimmermann, H. (2020): Biohybride als Fallbeispiel für Bio-IT-Innovationen. Verfügbar unter www.hightech-forum.de/wp-content/uploads/htf_expertise_zimmermann-kurtz.pdf | Letzter Zugriff am 07.10.2020.
- 24 IZB Biotech News (2018): In fünf Jahren werden mit dem 3D-Biodrucker menschliche Organe hergestellt. Verfügbar unter <https://www.izb-online.de/in-fuenf-jahren-werden-mit-dem-3d-biodrucker-menschliche-organe-hergestellt/> | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 25 Meyer, R.; Madrigal, A. C. (2020): The Plan That Could Give Us Our Lives Back. In: *The Atlantic*. Verfügbar unter <http://www.theatlantic.com/health/archive/2020/08/how-to-test-every-american-for-covid-19-every-day/615217> | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 26 Donner, S. (2020): Bioelektronik als neue medizinische Disziplin. Kleine Stromstöße mit heilsamer Wirkung. In: *Der Tagesspiegel*. Verfügbar unter www.tagesspiegel.de/wissen/bioelektronik-als-neue-medizinische-disziplin-kleine-stromstoesse-mit-heilsamer-wirkung/25774902.html | Letzter Zugriff am 15.09.2020.
- 27 Farr, C. (2019): Apple is offering free genetic tests to all its silicon valley employees. *CNBC*. Verfügbar unter www.cnn.com/2019/12/13/apple-teams-with-color-to-offer-free-dna-tests-to-employees.html | Letzter Zugriff am 08.10.2020.
- 28 International Panel on Climate Change (2019): *Summary for Policymakers. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Verfügbar unter www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2020/02/SPM_Updated-Jan20.pdf | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 29 Bokelmann, W.; Dornberg, A.; Schwerdtner, W.; Kuntosch, A.; Busse, M.; König, B.; Siebert, R.; Koschätzky, K.; Stahlecker, T. (2012): *Sektorstudie zur Untersuchung des Innovationssystems der deutschen Landwirtschaft*. Berlin: Humboldt-Universität.
- 30 Für eine Übersicht zu KI und Robotik in der Landwirtschaft, siehe Lohmann, B.; Graf, P. (2020): *Bioökonomie und Künstliche Intelligenz*. Verfügbar unter <https://biooekonomie.de/biooekonomie-und-kuenstliche-intelligenz> | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 31 *Blick in die Zukunft*. Verfügbar unter www.bayklif-bliz.de/de/bliz-uber-sicht/ | Letzter Zugriff am 02.09.2020.

- 32 Lerchenbrot. Verfügbar unter www.lerchenbrot.de/ | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 33 Grefe, Ch. (2019): Das wächst auch ohne Gift. In: Die Zeit. Nr. 43/2019. Verfügbar unter www.zeit.de/2019/43/glyphosat-monsanto-bayer-uebernahme-pflanzenschutzmittel-unkraut | Letzter Zugriff am 06.09.2020.
- 34 xarvio-Digitalplattform. Verfügbar unter www.xarvio.com/de/de.html | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 35 CLAAS Gruppe (2019): Pressemitteilung. Erste direkte Cloud-to-Cloud Lösung für die Landwirtschaft. Verfügbar unter www.claas-gruppe.com/presse/medien/pressemitteilungen/erste-direkte-cloud-to-cloud-loesung-fuer-die-landwirtschaft-/2055522 | Letzter Zugriff am 02.09.2020.
- 36 Thomaier, S.; Specht, K.; Henckel, D.; Dierich, A. (2014): Farming in and on urban buildings: Present practice and specific novelties of Zero-Acreage Farming (ZFarming). In: Renewable agriculture and food systems, 30 (1), 43–54.
- 37 Siehe Kurz-Expertise: Ziemssen, F. (2020): Bio-IT-Innovationen in der Land- und Lebensmittelwirtschaft. Verfügbar unter www.hightech-forum.de/wp-content/uploads/htf_expertise_ziemssen.pdf | Letzter Zugriff am 07.10.2020.
- 38 Impossible Foods. Verfügbar unter <https://impossiblefoods.com/mission/> | Letzter Zugriff am 05.09.2020.
- 39 Bowery farming. Verfügbar unter boweryfarming.com/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 40 Agrilution. Verfügbar unter agrilution.com/de | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 41 acatech (2018): Künstliche Photosynthese. Forschungsstand, wissenschaftlich-technische Herausforderungen und Perspektiven. Verfügbar unter www.acatech.de/publikation/kuenstliche-photosynthese-forschungsstand-wissenschaftlich-technische-herausforderungen-und-perspektiven/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 42 Bioökonomierat (2015): Global visions for the Bioeconomy – an international Delphi-Study. Verfügbar unter www.biooekonomierat.de/publikationen/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 43 Miller, T. E.; Beneyton, T.; Schwander, T.; Diehl, C.; Girault, M.; McLean, R.; Chotel, T.; Claus, P.; Socorro Cortina, N.; Baret, J.-C.; Erb, T. J. (2020): Light-powered CO₂ fixation in a chloroplast mimic with natural and synthetic parts. In: Science, 368 (6491), 649–654.
- 44 WWF (2020) Living Planet Report 2020 – Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M.; Petersen, T. (Hrsg.). Word Wildlife Fund. Verfügbar unter www.wwf.de/living-planet-report | Letzter Zugriff am 29.09.2020.
- 45 34 Díaz, S.; Settele, E.; Brondizio, E. S.; Ngo, H. T.; Guèze, M.; Agard, J.; Arneeth, A.; Balvanera, P.; Brauman, K. A.; Butchart, S. H. M.; Chan, A.; Garibaldi, L. A.; Ichii J. Liu, K.; Subramanian, S. M.; Midgley, G. F.; Miloslavich, P.; Molnar, Z.; Obura, D.; Pfaff, A.; Polasky, S.; Purvis, A.; Razaque, J.; Reyers, B.; Roy Chowdhury, R.; Shin, Y. J.; Visseren-Hamakers, I. J.; Willis, K. J.; Zayas, C. N. (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services. Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Verfügbar unter <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579> | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 46 Siehe Kurz-Expertise: König-Ries, B. (2020): Chancen und Herausforderungen von Bio-IT für Biodiversitätsmonitoring und Artenschutz: von periodischen Bewertungen zu Echtzeiterfassung und -intervention. Verfügbar unter https://www.hightech-forum.de/wp-content/uploads/htf_expertise_koenig-ries.pdf | Letzter Zugriff am 07.10.2020.
- 47 Wagner, K. (2019): Facebook to buy startup for controlling computers with your mind. Bloomberg. Verfügbar unter www.bloomberg.com/news/articles/2019-09-23/facebook-to-buy-startup-for-controlling-computers-with-your-mind?srnd=premium | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 48 Ceze, L., Nivala, J.; Strauss, K. (2019): Molecular digital data storage using DNA. In: Nature Reviews Genetics, 20, 456–466. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1038/s41576-019-0125-3> | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 49 Kühl, E. (2020): Ein Neuralink für deine Gedanken. Spektrum. Verfügbar unter www.spektrum.de/news/was-kann-das-gehirn-implantat-von-neuralink-das-andere-nicht-koennen/1765066 | Letzter Zugriff am 06.09.2020.
- 50 BioFutures Initiative: Insights into the European synthetic biology ecosystem. Verfügbar unter medium.com/@biofuturesinitiative/insights-into-the-european-synthetic-biology-ecosystem-7c6d916ab90 | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 51 Cumbers, J. (2019): Trade deal or not, China is investing big in synthetic biology. Forbes. Verfügbar unter www.forbes.com/sites/johncumbers/2019/08/26/trade-deal-or-no-china-is-investing-big-in-synthetic-biology/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 52 Edquist, C. (Hrsg.) (1997): Systems of innovation. Technologies, institutions and organizations. London: Pinter.
- 53 Hekkert, M. P.; Suurs, R. A. A.; Negro, S.; Kuhlmann, S.; Smits, R. E. H. M. (2007): Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. In: Technological forecasting and social change, 74 (4), 413–432. Verfügbar unter <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.03.002> | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 54 iGEM Competition. Verfügbar unter www.igem.org | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 55 Bioökonomie.de (2018): Boston: Marburg und München gewinnen iGEM. Verfügbar unter www.biooekonomie.de/node/102978 | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 56 Zum Beispiel das Harvard University Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering. Verfügbar unter www.wyss.harvard.edu/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 57 Projekt MOSLA, Synmikro Marburg. Verfügbar unter www.mosla.mathe-matik.uni-marburg.de/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 58 Molecular Robotics: A grant-in-aid for scientific research on innovative areas. Verfügbar unter en.molecular-robotics.org/research-contents/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 59 Zum Beispiel The Molecular Information Systems Lab (MISL). Verfügbar unter <https://misl.cs.washington.edu/> | Letzter Zugriff am 06.09.2020.
- 60 de.NBI Cloud. German network for bioinformatics infrastructure. Verfügbar unter www.denbi.de/cloud | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 61 EMBL-EBI. Verfügbar unter www.ebi.ac.uk/research | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 62 ELIXIR-Netzwerk. Verfügbar unter www.elixir-europe.org | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 63 Startup Genome and Hello Tomorrow (2019): Global Startup Ecosystem Report 2019. Verfügbar unter startupgenome.com/all-reports | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 64 acatech und Körber Stiftung (2020): TechnikRadar 2020. Was die Deutschen über Technik denken. Verfügbar unter www.acatech.de/publikation/technik-radar-2020/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 65 Amgen: Studie: Biopharmazeutika sind den meisten Deutschen unbekannt. Verfügbar unter www.amgen.de/medien/news/389/studie-biopharmazeutika-sind-den-meisten-deutschen-unbekannt/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 66 Wilddesign: INTAKT – High-Tech Forschungsprojekt zu interaktiven Mikroimplantaten startet. Verfügbar unter wilddesign.de/blog/de/intakt-mikroimplantate-usability/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 67 Hempel, C.; Will, S.; Zander, K. (2019): Bioökonomie aus Sicht der Bevölkerung. Thünen Working Paper 115. Verfügbar unter literatur.thuenen.de/digbib_extern/dn060609.pdf | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 68 Gaskell, G.; Stares, S.; Allansdottir, A.; Allum, N.; Castro, P.; Esmer, Y.; Fischler, C.; Jackson, J.; Kronberger, N.; Hampel, J.; Mejlgaard, N.; Quintanilha, A.; Rammer, A.; Revuelta, G.; Stoneman, P.; Torgersen, H.; Wagner, W. (2010): Europeans and biotechnology in 2010. Winds of change? A report to the European Commission's Directorate-General for Research. Verfügbar unter ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/europeans-biotechnology-in-2010_en.pdf | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 69 Siehe z. B. Seitz, C. (2019): Dynamik im biotechnologischen Fortschritt – Dynamik auch im Recht? In: Europäische Zeitschrift für Wirtschaftsrecht, 30 (1), 1–48.
- 70 Bersch, J.; Gottschalk, S. (2019): Unternehmensdynamik in der Wissenswirtschaft in Deutschland 2017, Gründungen und Schließungen von Unternehmen, Gründungsdynamik in den Bundesländern, internationaler Vergleich, Wagniskapital-Investitionen in Deutschland und im internationalen Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem. Berlin: EFI. Verfügbar unter www.e-fi.de/fileadmin/Innovationsstudien_2019/StuDIS_03_2019.pdf | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 71 CBInsights (2019): The 2019 Global CVC Report. Verfügbar unter www.cbinsights.com/reports/CB-Insights_CVC-Report-2019.pdf | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 72 acatech (Hrsg.) (2017): Innovationspotenziale der Biotechnologie (acatech IMPULS), München: Herbert Utz Verlag.
- 73 Bialojan, S. (2020): Deutscher Biotechnologie Report. EY. Verfügbar unter www.ey.com/de_de/news/2020/04/ey-biotech-report-2020 | Letzter Zugriff am 03.09.2020.

- 74 Forschungsdaten.org: Geplante NFDI Konsortien. Verfügbar unter www.forschungsdaten.org/index.php/Geplante_NFDI_Konsortien#.C3.9Cber-sicht_der_NFDI-Konsortien | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 75 DiSSCo-Infrastruktur. Verfügbar unter www.dissco.eu/ | Letzter Zugriff am 29.09.2020.
- 76 Datenethikkommission (2019): Gutachten der Datenethikkommission. Verfügbar unter www.bundesregierung.de/breg-de/service/publikationen/gutachten-der-datenethikkommission-langfassung-1685238 | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 77 Wettbewerbskommission 4.0 (2019): Ein neuer Wettbewerbsrahmen für die Digitalwirtschaft. Verfügbar unter www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Wirtschaft/bericht-der-kommission-wettbewerbsrecht-4-0.html | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 78 Hillson, N.; Caddick, M.; Cai, Y.; Carrasco, J. A.; Wook Chang, M.; Curach, N. C.; Bell, D. J.; Le Feuvre, R.; Friedman, D. C.; Fu, X.; Gold, N. D.; Herrgård, M. J.; Holowko, M. B.; Johnson, J. R.; Johnson, R. A.; Keasling, J. D.; Kitney, R. I.; Kondo, A.; Liu, C.; Martin, V. J. J.; Menolascina, F.; Ogino, C.; Patron, N. J.; Pavan, M.; Poh, C. L.; Pretorius, I. S.; Rosser, S. J.; Scrutton, N. S.; Storch, M.; Tekotte, H.; Travník, E.; Vickers, C. E.; Yew, W. S.; Yuan, Y.; Zhao, H.; Freemont, P. S. (2019): Building a global alliance of biofoundries. In: Nature. Verfügbar unter www.nature.com/articles/s41467-019-10079-2. | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 79 Hightech-Forum (2020): Impulspapier Offene Wissenschaft und Innovation. | Verfügbar unter www.hightech-forum.de/publication/offene-wissenschaft-und-innovation/ | Letzter Zugriff am 07.10.2020.
- 80 Dies wird als Konzept der „T-Shaped-Engineers“ diskutiert, siehe z. B. Tranquillo, J. (2017): The T-Shaped Engineer. In: Journal of Engineering Education Transformations, 30 (4), 12–24. Verfügbar unter www.i-scholar.in/index.php/JEETRIT/issue/view/14779 | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 81 Beispielsweise vergibt die Joachim Herz Stiftung seit 2015 Fellowships für interdisziplinäre Forschung an der Schnittstelle von Bio- und IT in den Lebenswissenschaften. Der Technologiepark Heidelberg und das Innovation Lab führen jährlich einen Life Science meets IT Hackathon mit Studierenden und jungen Fachkräften aus unterschiedlichen Disziplinen durch, um Lösungen für Gesundheits Herausforderungen zu finden. Auch der iGem-Studentenwettbewerb fördert die multidisziplinäre Zusammenarbeit und die Internationalisierung von Studierenden in der synthetischen Biologie.
- 82 Hightech-Forum (2020): Impulspapier Innovation und Qualifikation. Verfügbar unter <https://www.hightech-forum.de/publication/innovation-und-qualifikation/> | Letzter Zugriff am 10.09.2020.
- 83 Für Technologien, die stark in verschiedene Gesellschaftsbereiche einwirken, bedeutet Science Literacy nicht nur ein Verständnis von Bio-IT-Technologien, sondern auch, dass Expertise aus den Sozialwissenschaften (z. B. mögliche Veränderungen in der Ernährung oder Gesundheitsfürsorge), den Geisteswissenschaften (z. B. bildende Künste als Hilfe der Artikulierung von Zukunftsvorstellungen) oder angrenzenden Bereichen der Naturwissenschaften (Ökologie, Nachhaltigkeitsforschung) einbezogen werden müssen, um Bürgerinnen und Bürgern ein breiteres Verständnis der möglichen Entwicklungen näherzubringen.
- 84 Siehe z. B. Makerversity. Verfügbar unter makerversity.org/ | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 85 Deutscher Ethikrat (2014): Biosicherheit – Freiheit und Verantwortung in der Wissenschaft Stellungnahme. Verfügbar unter: www.ethikrat.org/fileadmin/Publikationen/Stellungnahmen/deutsch/stellungnahme-biosicherheit.pdf | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 86 DFG und Leopoldina (2014): Wissenschaftsfreiheit und Wissenschaftsverantwortung Empfehlungen zum Umgang mit sicherheitsrelevanter Forschung. Verfügbar unter www.dfg.de/download/pdf/dfg_im_profil/reden_stellungnahmen/2014/dfg-leopoldina_forschungsrisiken_de_en.pdf | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 87 Brockmann, K.; Bauer, S.; Boulanin, V. (2019): Bio plus x: Arms control and the convergence of biology and emerging technologies. SIPRI. Verfügbar unter www.sipri.org/publications/2019/other-publications/bio-plus-x-arms-control-and-convergence-biology-and-emerging-technologies | Letzter Zugriff am 03.09.2020.
- 88 Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2020). Global Biodiversity Outlook 5 – Summary for Policy Makers. Montréal. Verfügbar unter www.cbd.int/gbo5 | Letzter Zugriff am 29.09.2020.
- 89 KfW Research (2020): KfW Venture Capital Studie 2020. VC-Markt in Deutschland: Reif für den nächsten Entwicklungsschritt. KfW Bankengruppe. Verfügbar unter www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Studien-und-Materialien/KfW-Venture-Capital-Studie-2020.pdf | Letzter Zugriff am 30.09.2020.

Über dieses Impulspapier

Die Inhalte des vorliegenden Impulspapiers wurden im aktuellen Hightech-Forum auf der Sitzung am 30. September 2020 beraten und kommentiert. Sie stellen keinen einstimmigen Beschluss des Gremiums dar.

Die in diesem Impulspapier dargelegten Positionen geben nicht notwendigerweise die Meinung der Bundesregierung wieder.

Dieses Impulspapier wurde von den Mitgliedern des Thementeam „Bio-IT-Innovationen“ des Hightech-Forums Prof. Dr. Christiane Woopen (Themensprecherin), Dr. Martin Brudermüller, Prof. Dr. Sabina Jeschke, Dr. Marion Jung und Prof. Johannes Vogel Ph.D., erarbeitet, mit dem Ziel, die Bundesregierung bei der Umsetzung der Hightech-Strategie 2025 zu beraten.

Es beruht auf einem offenen, partizipativen Beratungsprozess (s. u.) sowie der Beratung durch die Mitglieder des Hightech-Forums.

Danksagung und beteiligte Organisationen

Die Mitglieder des Hightech-Forums danken:

- den Fragebogenrespondenten, den Teilnehmenden und Impulsgeberinnen/-gebern des digitalen Workshops „Synbio World Café“, der am 9. Juli 2020 von der German Association for Synthetic Biology in Partnerschaft mit dem Hightech-Forum durchgeführt wurde
- den Teilnehmenden des digitalen Regionaldialogs „Bio-IT für die Gesundheit“ im Rahmen des Beteiligungsprozesses des Bundesministeriums für Bildung und Forschung zur Hightech-Strategie 2025 und unter Partnerschaft des Centers for Ethics, Rights, Economics, and Social Sciences of Health (ceres) der Universität zu Köln, 11. August bis 1. September 2020: www.mitmachen-hts.de/dialoge/bio-it-fuer-die-gesundheit#uip-1

Besonderer Dank ergeht an die Autoren und Autorinnen der Kurz-Expertisen zu Bio-IT-Anwendungen:

- **Dr. Andreas Kurtz, Dr. Antonie Fuhr** und **Prof. Dr. Heiko Zimmermann**, Fraunhofer Institut für Biomedizinische Technik IBMT
- **Prof. Dr. Birgitta König-Ries**, Institut für Informatik, Friedrich-Schiller-Universität Jena
- **Prof. Dr. Hans Lehrach**, Alacris Theranostics GmbH, Max Planck Institute for Molecular Genetics
- **Prof. Dr. Nikolaus Rajewsky**, Berliner Institut für Medizinische Systembiologie, Max Delbrück Center for Molecular Medicine
- **Prof. Dr. Friedrich C. Simmel**, Physik-Department, Technische Universität München
- **Fabio Ziemssen**, NX Food GmbH, Düsseldorf

sowie an die folgenden Gesprächspartner und Gesprächspartnerinnen für die wertvollen Erläuterungen, Hinweise und Anregungen:

- **Dr. Ali Ertürk**, Direktor, Institute for Tissue Engineering and Regenerative Medicine, Helmholtz Zentrum München

- **Prof. Dr. Dr. Ulrike Köhl**, Institutsleiterin, Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI
- **Dr. Nicolas Krink**, Head of the Steering Committee, German Association for Synthetic Biology
- **Dr. Georg Käbb**, Geschäftsführer, Biotechnologie Cluster Bayern, und Sprecher, Arbeitskreis der Bioregionen Deutschlands
- **Prof. Dr. Claudia Seitz**, Gastprofessorin, Rechtswissenschaftliche Fakultät Universität Gent, und Lehrbeauftragte der Universitäten Bonn und Basel
- **Prof. Dr. Alfred Pühler**, Koordinator, Deutsches Netzwerk für Bioinformatik-Infrastruktur, und stv. Leiter des deutschen Knotens im ELIXIR-Netzwerk
- **Dr. Vera Ortseifen**, Koordinatorin des deutschen Knotens im ELIXIR-Netzwerk und Vorstandsmitglied, Zentrum für Biotechnologie, Universität Bielefeld
- **Dr. Thomas Doppelberger**, Leitung, Fraunhofer Venture
- **Stefan Vilsmeier**, Vorstand, Brainlab AG

Über das Hightech-Forum

Die Mitglieder des Hightech-Forums wurden im Jahr 2019 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung für den Zeitraum der aktuellen Legislaturperiode berufen. Sie üben ihre Funktion ehrenamtlich neben ihrer beruflichen Funktion aus. Die Geschäftsstelle des Hightech-Forums unterstützt die Vorsitzenden und Mitglieder des Hightech-Forums in ihrer Gremienarbeit und wird finanziert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung. Die Geschäftsstelle ist bei der Fraunhofer-Gesellschaft angesiedelt.

Fraunhofer-Forum Berlin

Anna-Louisa-Karsch-Straße 2, 10178 Berlin
www.hightech-forum.de

Dr. Beate El-Chichakli

Leitung Programmmanagement
Geschäftsstelle Hightech-Forum
chichakli@hightech-forum.de
T. 030 688 3759 1613

Kontakt | Presse

Valerie Ponell

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
ponell@hightech-forum.de
T. 030 688 3759 1621

Redaktionsschluss

13. Oktober 2020

Gefördert durch das

