

IM+io

BEST & NEXT PRACTICES AUS DIGITALISIERUNG | MANAGEMENT | WISSENSCHAFT

im-io.de

IM+io

Juni 2025

Heft 02

9,80 €

ISSN 1616-1017

G 9765F

Biotech: Innovationsschub aus Deutschland

2

August-Wilhelm
Scheer Institut
Digital Research



Übermorgen schon heute lesen?

Der IM+io Newsletter liefert, was wirklich zählt:
einmal im Monat im Posteingang.



IM+io



Jetzt abonnieren und mitlesen:
www.im-io.de/newsletter

Impulse aus der Natur:



Wie deutsche Innovationen neue Wege öffnen

Biotechnologie steht heute wie kaum ein anderes Feld für das Zusammenspiel von wissenschaftlicher Exzellenz, technologischer Innovation und gesellschaftlicher Verantwortung. Sie liefert Antworten auf einige der drängendsten Fragen unserer Zeit: Wie sichern wir die Ernährung einer wachsenden Weltbevölkerung? Wie gestalten wir eine nachhaltige Industrie? Und wie ermöglichen wir eine präzisere, personalisierte Medizin?

Die Beiträge dieser Ausgabe der IM+io zeigen eindrucksvoll, wie vielfältig und kraftvoll die Innovationslandschaft in Deutschland inzwischen ist. Projekte wie „Grow Detect AI“ verdeutlichen, wie durch die Verknüpfung von KI, Sensorik und Blockchain völlig neue Wege beschritten werden können, um alternative Proteinquellen effizienter und nachhaltiger zu erschließen. Solche Ansätze sind unverzichtbar, um zukünftige Ernährungssysteme resilienter und umweltfreundlicher zu gestalten.

Auch im Gesundheitsbereich eröffnet die Kombination aus Biotechnologie und Digitalisierung neue Horizonte. Der Einsatz Virtueller Zwillinge und Künstlicher Intelligenz in der adaptiven Zelltherapie beispielsweise zeigt, wie patient:innenindividuelle Modelle die Immuntherapie nicht nur effektiver, sondern auch sicherer machen können. Gerade in der Onkologie und bei schweren Erkrankungen verspricht dieser datengetriebene Ansatz einen Quantensprung in der Therapieentwicklung.

Ein zentraler Fokus dieser Ausgabe liegt auf dem Konzept der biologischen Transformation: Dabei werden biologische Prozesse, Strukturen und Mechanismen systematisch

genutzt, um industrielle Innovationen hervorzubringen. Es geht also nicht um die bloße Optimierung bestehender Technologien, sondern um ein neues Verständnis von Wertschöpfung, das sich an der Natur orientiert. Die vorgestellten Forschungsergebnisse und Praxisansätze zeigen: Diese Entwicklung ist längst angelaufen und prägt bereits heute zukunftsfähige Branchenstrukturen.

Was alle Beiträge dieser Ausgabe verbindet, ist der Geist der Interdisziplinarität. Innovation entsteht dort, wo klassische Grenzen zwischen Wissenschaftsdisziplinen überwunden werden. Wo Biotechnologie, Digitalisierung, Produktionsprozesse und neue Geschäftsmodelle ineinandergreifen. Deutschland hat auf diesem Gebiet enormes Potenzial – nicht nur durch exzellente Forschung, sondern auch durch eine zunehmend lebendige Gründungsszene und starke industrielle Netzwerke.

Um diese Chancen zu nutzen, braucht es nicht nur technologische Exzellenz, sondern auch den erfolgreichen Transfer in Praxis und Gesellschaft. Biotechnologische Innovationen entfalten ihr Potenzial nur, wenn sie angenommen und als Teil einer nachhaltigen Zukunft verstanden werden.

Nutzen Sie die Beiträge dieser Ausgabe als Inspiration und lassen Sie uns gemeinsam die Stärken der deutschen Biotechnologie weiterentwickeln.

Eine anregende Lektüre wünsche ich Ihnen!

Ihr
Prof. Dr. August-Wilhelm Scheer

Inhalt

Innovation Lounge

- 6 **Biotech Excellence mit KI**
Ein Kommentar von August-Wilhelm Scheer, Herausgeber IM+io

KOLUMNE PERSPEKTIVWECHSEL

- 9 **Biotechnologie – klug vernetzt oder kläglich abgehängt?**
Sandra Ehlen, Chefredakteurin IM+io

Schwerpunkte

- 10 **Gefühlvolle Avatare: Digitale Unterstützung für mehr psychische Resilienz**
Eva Möhler, Jan Alexandersson, Andrea Dixius, Patrick Gebhard, Projekt Skills4Kids
- 16 **Was wäre, wenn...: Szenarien der Zelltherapie digital durchgespielt**
Ulrike Weirauch, Christoph Kämpf, Kristin Reiche, Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI
- 17 **START-UP IM SPOTLIGHT**
- 20 **You shall not pass: Wie zellfreie Moleküle das Böse bekämpfen**
Im Gespräch mit Patrick Grossmann, Invitris
- 24 **Virtuelle Körper, echte Chancen – Für eine Medizin, die Geschlecht mitdenkt**
Laura Steffny, August-Wilhelm Scheer Institut
- 28 **Mission Possible: Ein Enzym verlässt den Naturpfad**
Im Gespräch mit Helena Schulz-Mirbach, Philipp Wichmann, Ari Satanowski, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology
- 34 **Digitalisierung als Wachstumstreiber für aufstrebende Märkte**
Urs Liebau, Jana Smolka, Tom Patzwald, August-Wilhelm Scheer Institut
- 38 **Futter aus dem Ferment: Der Weg vom Bakterienstamm zum Proteinpulver**
Im Gespräch mit Julian Schildknecht, MicroHarvest
- 42 **Kultiviert statt geschlachtet: Fleischproduktion jenseits der Weide**
Im Gespräch mit Malte Tiburcy, MyriaMeat

42

Kultiviert statt geschlachtet: Fleischproduktion jenseits der Weide



50

Fein gesponnen: Was Hightech-Garne von der Natur lernen



©Adobe Stock | 1019179533 | Elena Bilusjak

- 46** **Wie Algorithmen Bakterien zu Biofabriken machen**
Hagen von Strünc, Institut für Systembiotechnologie
- 50** **Fein gesponnen: Was Hightech-Garne von der Natur lernen**
Im Gespräch mit Isabel Rosenberger, AMSilk
- 54** **Ernte 2.0: Wenn Reststoffe zu Ressourcen werden**
Michael Zavrel, Technische Universität München
- 58** **MeerWert schaffen: Mit Algen nachhaltig entwickeln**
Im Gespräch mit Levent Piker, oceanBASIS
- 62** **Zwischen Zahnrad und Zelle: Bioprozesse als Teil industrieller Wertschöpfung**
Arber Shoshi, Maximilian Dörr, Yannick Baumgarten, Robert Miehe, Thomas Bauernhansl, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
- 66** **Vom All auf den Acker: Wenn Satelliten die Saat lenken**
Im Gespräch mit Daniel Lenfort, MyDataPlant
- 72** **Start mit Stolpern: Was Biotech-Innovationen zum Scheitern bringt**
Max Pöhlmann, Ralf Huss, BioM Biotech Cluster Development GmbH
- 76** **BERRY Smart – Geerntet mit System**
Im Gespräch mit Hannah Louise Brown, Organifarms
- 80** **Code statt Klemmbrett: Wie Prozesse intelligent wachsen**
Ralf Schmidt, Scheer GmbH
- IM+io INTERNATIONAL**
- 84** **Sweat Signals: What Your Skin Knows Before You Do**
Chang-Ho Han, KIST Europe
- Out of the Box**
- 88** **KI in Unternehmen: Vom Experiment zur Notwendigkeit**
Isabell M. Welp, TUM, Mario Pofahl, Linklaters
- Impressum**

Biotech Excellence mit KI

Ein Kommentar von August-Wilhelm Scheer, Herausgeber IM+io

In der deutschen Wirtschaft stehen die Zeichen auf anhaltende Rezession. Ein Grund dafür liegt auch darin, dass wir uns vor allem mit den Herausforderungen der sicher notwendigen Transformation bestehender Industrien beschäftigen. Dabei vernachlässigen wir andere wichtige zukunftsorientierte Felder. Wir fokussieren uns viel zu wenig auf jene Branchen, die, weil jung, softwaregestützt und ohne etablierte Strukturen, eine hohe Innovationskraft haben. Ein Paradebeispiel dafür ist das Segment der Biotechnologie. Hier haben wir unstrittig eine hervorragende Forschungslandschaft. Neben Partnern in der medizinischen und industriellen Biotechnologie verfügt Deutschland zudem (noch) über erfolgreiche Pharma- und Chemieunternehmen. Die Chancen, die sich nun aus der Verknüpfung von Künstlicher Intelligenz und Datennutzung mit biotechnologischen Entwicklungen ergeben, eröffnen vielfältige Möglichkeiten für neue Entwicklungssprünge.

Von der Simulation klinischer Studien über die Auswertung großer Datenmengen bis hin zur Entwicklung personalisierter Medikamente bietet der Einsatz von Künstlicher Intelligenz hohes Potenzial für biowissenschaftliche Innovation. Die Frage ist, ob Forschung, Unternehmen und auch die Politik alle wichtigen Schritte tun, um die Gunst der Stunde zu nutzen. Ob es gelingt, Biotechnologie-Hubs mit internationaler Strahlkraft auf- und auszubauen.

Noch treibt auch Insider die Sorge um, dass dieses Potenzial nicht genug erkannt und entsprechend gefördert wird. Eine Ursache dafür ist die Gründerszene. In einem so zukunftsweisenden Bereich wie dem der Biotechnologie sind Start-up Unternehmen wichtige Innovationstreiber. Hemmschuh ist hier zunehmend die Frühphasenfinanzierung zu Beginn der Unternehmensgründung. 2023 wurde Kapital in Höhe von 203 Millionen Euro von Biotech-Start-ups in der Frühphase eingesammelt, was



Adobe Stock | 1034832146 | jsuru

den geringsten Wert der vergangenen sechs Jahre darstellt. Insgesamt gab es 18 Investitionsrunden in der Frühphase, das durchschnittliche Transaktionsvolumen schrumpfte auf 11 Millionen Euro und lag damit deutlich unter dem 6-Jahres-Durchschnitt von 21 Millionen Euro. Diese Entwicklung allein ist beunruhigend.

Auch sollte ein deutlich stärkerer Fokus auf den Technologietransfer von Hochschulen und Forschungseinrichtungen in die unternehmerische Umsetzung gelegt werden. Dazu gehören Kooperationen mit der Industrie, Patentanmeldungen und grundlegende Anreize für die kommerzielle Verwertung von Forschungsergebnissen. Hier sind die Forschungseinrichtungen und Hochschulen auch selbst gefragt. Es könnten deutliche Anreize gesetzt werden, wenn Berufungen nicht grundsätzlich auf der Basis von publizierten Ergebnissen, sondern auch von deren praxisbezogener Verwertung abhingen.

Wie es gehen kann, zeigt sich exemplarisch beim BioPharma Cluster South Germany: Das Cluster ist ein weltweit erfolgreicher Biotech-Standort und versteht sich als Herzstück der biopharmazeutischen Entwicklung und Produktion. Man hat sich zum Ziel gesetzt, eine innovationsgetriebene Umgebung für die Forschung, Entwicklung und Produktion von Biopharmazeutika und Therapien zu entwickeln. Dabei profitiert man von der räumlichen Verdichtung von grundlagenorientierten sowie angewandten Forschungseinrichtungen und global erfolgreichen Unternehmen, die alle Teile der biopharmazeutischen Wertschöpfungskette abbilden. Zum Cluster gehören unterdessen mehr als 100 Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus der Biotechnologie, der Pharmazie und der Medizintechnik. Dank der Kooperationen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft gelingt es, innovative Forschung erfolgreich in die Anwendung zu bringen.

Die Biotechnologie-Branche ist hochinnovativ, in vielen Bereichen gründergetrieben und kapitalintensiv. Deutschland bietet die Grundvoraussetzungen dafür, in diesem Feld eine Spitzenposition einzunehmen. Voraussetzung ist allerdings, dass aus Spitzenforschung auch Spitzenprodukte entstehen, die über strategisch durchdachte Planungs- und Vertriebsansätze internationale Märkte erobern. Die erfolgreiche Kommerzialisierung bietet nicht nur die Chance auf ein neues Standbein für die Exportnation Deutschland, sie ermöglicht zugleich auch künftige kapitalintensive Forschung und Gründung. Wir brauchen Technologietransferereinheiten an Hochschulen und Forschungseinrichtungen, die dafür sorgen, dass die Forschung nicht im Elfenbeinturm eingeschlossen wird. Und dies gilt nicht nur für die Biotech-Branche, sondern überall dort, wo wir mit innovativen Forschungsergebnissen neue Märkte erschließen können. ■



**Prof. Dr. Dr. h.c. mult.
August-Wilhelm Scheer**

August-Wilhelm Scheer ist einer der prägendsten Wissenschaftler und Unternehmer der deutschen Wirtschaftsinformatik und Softwareindustrie. Als Unternehmer und Protagonist der Zukunftsprjekte „Industrie 4.0“ und „Smart Service World“ der Bundesregierung arbeitet er aktiv an der Ausgestaltung der Digital Economy. Prof. Scheer hat mehrere IT-Unternehmen mit den Schwerpunkten Software-Entwicklung und IT-Beratung gegründet. Zu dem Unternehmensnetzwerk mit über 1200 Mitarbeitenden gehört auch die Scheer IDS GmbH, die mit rund 600 Mitarbeitenden IT-Beratungs- und Implementierungsprojekte durchführt.

Kontakt

scheer@scheer-holding.com
www.scheer-blog.com

Die Biotechnologie-Branche ist hochinnovativ, in vielen Bereichen gründergetrieben und kapitalintensiv.



INTRAPRENEURSHIP SPRINT

AGIL DENKEN, INNOVATIV HANDELN

AGIL, FLEXIBEL UND INNOVATIV IN EINEM DYNAMISCHEN UMFELD

Der Intrapreneurship SPRINT steigert nachhaltig die Innovationskraft in Ihrem Unternehmen, indem er Ihre Mitarbeitenden dazu befähigt, agil und flexibel zu handeln und dabei innovative Ideen effektiv umzusetzen.

IHRE VORTEILE

ENTWICKLUNG RELEVANTER FUTURE SKILLS

Mitarbeitende lernen, wie sie auf die Herausforderungen der Zukunft reagieren und innovative Lösungen entwickeln.

BEFÄHIGUNG ZUR ROLLE ALS INNOVATIONSTREIBENDE

Intrapreneurship Sprint vermittelt innovative Methoden und Tools, die es Ihren Mitarbeitenden ermöglicht, Innovationsprojekte effizienter zu gestalten.

NACHHALTIGE STEIGERUNG DER INNOVATIONSKRAFT

Ihre Mitarbeitenden etablieren eine agile Denkweise, wodurch die Reaktionsfähigkeit auf Marktveränderungen und externe Trends erhöht wird.

Estella Kirsch
Incubation Professional
Mail: estella.kirsch@aws-institut.de
Tel.: +49 681 96777 157

August-Wilhelm
Scheer Institut 
Digital Research 

Tomas Cerniauskas
Incubation Professional
Mail: tomas.cerniauskas@aws-institut.de
Tel.: +49 681 93511 106

Biotechnologie – klug vernetzt oder kläglich abgehängt?

Sandra Ehlen, Chefredakteurin IM+io



Sandra Ehlen

Mit über fünfzehn Jahren Erfahrung als Führungskraft in verschiedenen fachlichen Bereichen ist Sandra Ehlen aktuell Geschäftsführerin am August-Wilhelm Scheer Institut für digitale Produkte und Prozesse. Zuvor war sie bei Villeroy & Boch tätig, wo ihr Schwerpunkt auf Innovationsmanagement und der Entwicklung neuer Produkte lag. Ihr Fokus zielt auf eine offene Kommunikationskultur sowie dem Aufbau leistungsstarker Teams, die ziel- und ergebnisorientiert arbeiten. Mit einer vielseitigen Perspektive, Engagement und einem praxisnahen Ansatz verbindet sie kurzfristige Wirkung mit langfristiger Strategie.

Kontakt

sandra.ehlen@aws-institut.de
www.aws-institut.de

Deutschland liebt seine Industrie. Und es liebt seine Wissenschaft. Aber was es noch immer zu wenig beherrscht, ist das Zusammenspiel beider. In kaum einem Technologiefeld ist das gerade so offensichtlich – und so gefährlich – wie in der Biotechnologie. Hat Deutschland seinen Status als Apotheke der Welt noch?

Während die USA mit Wagniskapital nur so um sich werfen und China milliarden-schwere Biotech-Hubs aus dem Boden stampft, laboriert Deutschland an alten Systemgrenzen: Hier die akademische Forschung, dort die Wirtschaft – gehemmt durch Bürokratie, Sicherheitsbedenken und ein Bildungssystem, das Innovationen oft ausbremst, bevor sie überhaupt in Fahrt kommen.

Dabei hat Deutschland bereits oft gezeigt, dass es geht. BioNTech ist das Paradebeispiel: Ein Spin-off der Universität Mainz, entstanden aus langjähriger Grundlagenforschung, klug vernetzt mit dem Know-how industrieller Partner, gepusht durch mutige Finanzierungsmodelle. Ein globales Vorzeigeprojekt, das beweist, was möglich ist, wenn Wissenschaft, Unternehmertum und Politik an einem Strang ziehen.

Aber es gibt auch die andere Seite. Die Geschichte von CureVac mahnt zur Vorsicht. Auch hier: ein vielversprechendes deutsches Biotech-Unternehmen mit mRNA-Fokus, eng verknüpft mit der Universität Tübingen. Doch im entscheidenden Moment fehlten industrielle Partner, regulatorische Agilität – und vielleicht auch strategische Weitsicht. Der Impfstoff kam zu spät, mit zu geringer Wirksamkeit. Das Potenzial verpuffte. Heute hinkt CureVac dem Markt hinterher – trotz wissenschaftlicher Brillanz.

Was trennt Erfolg von Misserfolg? Oft ist es nicht das Labor, sondern das System dahinter: die Frage, wie gut es Forschung erlaubt, wirtschaftlich zu denken – und wie schnell Industrie bereit ist, akademisches Wissen in unternehmerischen Mut zu übersetzen.

Was fehlt, ist ein strategisches Ökosystem: eines, das kluge Talente, mutige Gründende, erfahrene Unternehmen und visionäre

Investierende nicht nur vernetzt, sondern systematisch zusammenarbeiten lässt. In den USA gibt es Boston, in China Suzhou – und in Deutschland Berlin, Hamburg, Köln, Leipzig, München. Die vollständige Liste würde diese Kolumne schnell sprengen. Denn hierzulande bauen die Universitäten ihre eigenen Biotech-Hubs auf, anstatt auf ein gemeinsames Zentrum mit kritischer Masse zu setzen.

Warum ist Vernetzung und kritische Masse wichtig? Innovation entsteht an den Schnittstellen von Wissenschaft und Industrie – durch Reibung, Herausforderung, Zusammenarbeit. Doch wer in Deutschland diese Schnittstelle betritt, stößt oft auf mehr Formulare als Fördernde.

Was wäre der Perspektivwechsel? Nicht mehr nur unsere Forschung schützen, sondern sie wirksam machen. Nicht auf Impulse aus China oder den USA warten, sondern eigene Spielregeln definieren. Deutschland hat Talente, Technologien und Ressourcen – aber auch den Willen zur echten Verzahnung? Statt Verwaltungsdenken braucht es eine Ermöglickungskultur: mit flexibler Forschungsförderung, erleichterten Ausgründungen und starken Public-Private-Partnerships, die Kooperationen beschleunigen. ■



Gefühlvolle Avatare: Digitale Unterstützung für mehr psychische Resilienz

Eva Möhler, Jan Alexandersson, Andrea Dixius, Patrick Gebhard, Projekt Skills4Kids

Wenn ein Kind bei Kummer heimlich zur Süßigkeitenschublade greift, wenn Jugendliche ihre Angst in Rückzug oder Selbstverletzung verwandeln – dann fehlen oft gesunde Strategien, um mit belastenden Gefühlen umzugehen. Viele Heranwachsende wirken äußerlich unauffällig, doch in ihnen tobt ein innerer Kampf mit Wut, Scham oder Traurigkeit. Wie lässt sich emotionale Stärke früh fördern, bevor sich ungesunde Muster festsetzen und dauerhaft die seelische und körperliche Gesundheit gefährden?



Prof. Dr. Eva Möhler

Eva Möhler ist Lehrstuhlinhaberin und Chefärztin für Kinder- und Jugendpsychiatrie am UKS. Forschungsschwerpunkt: Early Life Stress. Sie ist Mitinitiatorin des START-Programms in langjähriger Zusammenarbeit mit Andrea Dixius.

Kontakt

eva.moehler@uks.eu
www.startyourway.de

© AdobeStock | 1339638839 | Kootenay

Viele Menschen – bereits schon Kinder und Jugendliche – greifen bei Stress oder unangenehmen Gefühlen oft zu ungesunden Mitteln wie Essen, Alkohol oder Zigaretten. Diese Strategien helfen kurzfristig, schaden aber auf Dauer der Gesundheit. Damit es gar nicht so weit kommt, ist es wichtig, schon früh gesunde Wege im Umgang mit Gefühlen zu lernen. Denn wenn man als Kind lernt, gut mit Stress und Frust umzugehen, bleibt das meist ein Leben lang so. Diese frühen Erfahrungen bestimmen später, wie gut Erwachsene mit Belastungen zurecht kommen und see-

lisch stabil bleiben (Dixius & Möhler, 2021).

Skills4Kids – ein digitaler Ansatz für gesunde Emotionsregulation

Das Projekt Skills4Kids setzt genau dort an: Es will Kinder und Jugendliche frühzeitig dabei unterstützen, besser mit ihren Gefühlen umzugehen. Dafür nutzt es eine moderne, digitale Anwendung mit Künstlicher Intelligenz, die bei der Erkennung und Bewältigung von Stress helfen kann. Die Methoden, die dabei vermittelt werden, stammen aus dem bewährten



Dr. Jan Alexandersson

Jan Alexandersson ist Research Fellow am DFKI im Forschungsbereich Cognitive Assistants und leitet das Kompetenzzentrum Ambient Assisted Living. Er forscht zu dialogbasierten Assistenzsystemen, Barrierefreiheit, Mobilität und eHealth.

Kontakt

jan.alexandersson@dfki.de
www.dfki.de

Abbildung: Sinnbild für eine KI-gestützte Therapie.

START-Programm (Stressbewältigung und Affektregulationstraining). Dieses Programm wurde bereits erfolgreich im realen Leben eingesetzt und hat gezeigt, dass es Kindern und Jugendlichen hilft, gesunde Wege im Umgang mit ihren Emotionen zu finden (Dixius und Möhler, 2017, 2021, Dixius, Goth und Möhler, 2021, Dixius et al., 2023).

Mehr Reichweite durch digitale Zugänge

Eine digitale Anwendung wie Skills4Kids kann viel mehr Kinder und Jugendliche erreichen als ein herkömmliches Therapieprogramm, für das man eigens eine Klinik oder Praxis aufsuchen müsste. Anders als viele andere digitale Angebote – von denen es für Kinder deutlich weniger gibt als für Erwachsene – arbeitet Skills4Kids mit einem sprechenden interaktiven Avatar. Dieser Avatar ist wie eine digitale Begleitperson, die den Kindern zuhört, mit ihnen spricht und sie motiviert. Die Verbindung zwischen Kind und Avatar hilft dabei, Vertrauen aufzubauen und die Übungen regelmäßig zu nutzen. So bekommen besonders belastete Kinder und Jugendliche genau die Unterstützung, die sie aktuell dringend brauchen.

Skills4Kids ist eine moderne und vielseitige Lösung, die bestehende Therapien sinnvoll ergänzt. Mit Hilfe der digitalen Technik

können mehr junge Menschen gezielt gefördert werden. Die eingesetzten Methoden sind so aufgebaut, dass sie sich auch für andere Altersgruppen und Anwendungsbereiche gut anpassen lassen.

Wenn man als Kind lernt, gut mit Stress und Frust umzugehen, bleibt das meist ein Leben lang so.

Pilotstudie zur Anwendung und Wirksamkeit von Skills4Kids

Im Rahmen einer Pilotstudie wird untersucht, wie sich der Umgang mit Gefühlen bei den teilnehmenden Kindern und Jugendlichen durch die Nutzung von Skills4Kids verändert. Dabei wird vor und nach der Anwendung gemessen, wie gut die Emotionsregulation gelingt. Zusätzlich werden technische Funktionen, die Akzeptanz der App und ihre praktische Wirkung im Alltag bewertet. Diese Ergebnisse sind eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung der Anwendung.

Ein besonderer Vorteil von Skills4Kids liegt in der transparenten und datenschutzkonformen Gestaltung. Die App zeigt nachvollziehbar, wie gut bestimmte Übungen wirken – sowohl für Fachkräfte als auch für die Kinder und Jugendlichen selbst. Das hilft, gezielt passende Unterstützung anzubieten.

Im nächsten Schritt ist eine größere wissenschaftliche Untersuchung geplant – eine sogenannte randomisiert-kontrollierte Studie. Sie soll zeigen, ob Skills4Kids auch im größeren Rahmen zuverlässig funktioniert. Langfristig ist geplant, dass die Anwendung von gesetzlichen Krankenkassen übernommen wird (vgl. SGB V). Auch andere leistungstragende Stellen wie die Unfall-, Sozial- oder Pflegeversicherung (nach SGB VII, SGB XII, SGB XIV) sowie



private Krankenversicherungen sollen dabei einbezogen werden.

Zielgruppe im Fokus: Wie die Anwendung getestet wird

Auf Basis des bereits geprüften START-Programms, das mit vielen Materialien zur Förderung eines gesunden Umgangs mit Gefühlen bei Kindern entwickelt wurde, entsteht nun eine digitale Version. Diese enthält auch einen ansprechenden, sozial handelnden Avatar und richtet sich an alle Kinder und Jugendlichen ab 11 Jahren – nicht nur an psychisch erkrankte.

Zunächst wird die digitale Anwendung gemeinsam mit besonders belasteten Kindern und Jugendlichen weiterentwickelt. Fünf Patient:innen aus der Kinder- und Jugendpsychiatrie mit emotionaler Dysregulation geben dabei aktiv Rückmeldungen, um die Machbarkeit (Feasibility) und Sicherheit (Safety) der App zu prüfen. Anschließend wird Skills4Kids zur weiteren Überprüfung an jeweils 50 Jugendliche mit ähnlichen Problemen ausgegeben.

Um die Wirkung zu messen, wird die Fähigkeit zur Emotionsregulation vor und nach der vierwöchigen Nutzung erfasst. Dafür kommt ein anerkanntes Testverfahren zum Einsatz: der FEEL-KJ (Grob und Smolenski, 2006). Dieses Instrument zeigt, ob die Kinder eher gesunde (adaptive) oder eher ungünstige (maladaptive) Strategien im Umgang mit ihren Gefühlen verwenden – bei Teilnehmenden im Alter von 10 bis 18 Jahren.

Von der Pilotgruppe zum flächendeckenden Einsatz

Wenn die Pilotstudie zeigt, dass die App gut funktioniert (gute Feasibility und Safety) und sie tatsächlich hilft, gesunde Strategien im Umgang mit Gefühlen zu stärken oder ungesunde zu verringern, soll das Projekt ausgeweitet werden. Dann sollen auch Jugendliche erreicht werden, die keine psychiatrische Diagnose haben – etwa in Schulen oder anderen niedrighschwelliger Einrichtungen. Ziel ist ein breiter Einsatz als vorbeugende Maßnahme. Die geplante Weiterentwicklung baut direkt auf den Erkenntnissen aus der Pilotstudie im klinischen Bereich auf.

Wenn die weiteren Studien erfolgreich verlaufen, kann Skills4Kids langfristig einen wichtigen Beitrag zur öffentlichen Gesundheit leisten. Besonders hilfreich ist dabei, dass die

digitale Lösung es ermöglicht, genau zu messen, wie wirksam bestimmte Übungen oder Maßnahmen sind – und das auf eine transparente, datenschutzsichere und verständliche Weise.

Bewährte Grundlage: Das analoge START-Programm

Wie bereits erwähnt, dient die analoge Version des START-Programms und START-Kids als Vorlage für das Modell. Besonders wertvoll dabei sind die konkreten Erfahrungen aus der praktischen Umsetzung: Sie zeigen, welche Übungen bei Kindern und Jugendlichen gut ankommen und welche Methoden besonders wirksam sind. Diese Erkenntnisse fließen gezielt in die digitale Weiterentwicklung ein – zum Beispiel die altersgerechte Sprache, die anschauliche Gestaltung und in den klaren Aufbau der Materialien.

Ein großer Vorteil des Programms liegt in der ansprechenden Gestaltung der Materialien. Diese laden Kinder und Jugendliche aktiv zur Teilnahme ein und fördern so eine hohe Verbindlichkeit im Verlauf der Übungen. Gerade Kinder mit stark eingeschränkter Fähigkeit zur Emotionsregulation profitieren oft nicht ausreichend von herkömmlichen Präventionsangeboten. Häufig fehlt es ihnen an Motivation oder sie haben Schwierigkeiten, Programme mit höheren Anforderungen zu verstehen oder durchzuhalten.

Die bisherigen Ergebnisse zeigen jedoch, dass das START-Programm auch unter diesen Bedingungen gut funktioniert: Die Teilnehmenden konnten durchweg aktiv mitmachen, und selbst Kinder mit kognitiven Einschränkungen entwickelten ein gutes Verständnis für die



Andrea Dixius

Andrea Dixius ist Diplom-Psychologin, Psychotherapeutin und leitende Psychologin im Bereich Kinder- und Jugendpsychiatrie. Sie entwickelte das internationale START-Programm zur Emotionsregulation mit und ist tätig in Forschung, Lehre und Traumatherapie.

Kontakt

andrea.dixius@uks.eu
www.startyourway.de

Eine digitale Anwendung wie Skills4Kids kann viel mehr Kinder und Jugendliche erreichen als ein herkömmliches Therapieprogramm, für das man eigens eine Klinik oder Praxis aufsuchen müsste.



Patrick Gebhard

Patrick Gebhard ist Research Fellow am DFKI im Forschungsbereich Cognitive Assistants und leitet seit 2007 die Arbeitsgruppe Affective Computing. Er forscht zu sozio-emotionaler KI, Mensch-Technik-Interaktion und digitalen Therapie-systemen.

Kontakt

patrick.gebhard@dfki.de
www.dfki.de/~gebhard

Inhalte (Dixius und Möhler, 2017 und 2018, Dixius et al., 2023).

Niedrigschwelliger Zugang durch digitale Lösungen

Die digitalisierte Version von START könnte ein vielversprechender Ansatz sein, um Kinder frühzeitig spielerisch in ihrer Emotionsregulation zu stärken. Ziel ist es, durch diesen frühzeitigen Einsatz langfristig dabei zu helfen, schädlichem Substanzgebrauch – wie etwa übermäßigem Alkohol- oder Nikotinkonsum – und der Entwicklung chronischer Erkrankungen vorzubeugen. Der Einsatz einer digitalen Therapie soll nun die Behandlungs- und Anwendungsschwelle für Kinder und Jugendliche durch deutlich gesteigerte Attraktivität erheblich reduzieren. Gerade durch Elemente wie Gamification, personalisiertes Feedback oder Avatare entsteht eine motivierende Umgebung, die auch weniger therapeutische Kinder abholt. So wird Hilfe nicht nur verfügbar, sondern auch tatsächlich genutzt.

Digitale Weiterentwicklung für neue Zielgruppen

Weil ein gesunder Umgang mit Gefühlen so wichtig für die Entwicklung und seelische Widerstandskraft von Kindern ist, wurde das bewährte START-Therapieprogramm, das ursprünglich für Jugendliche entwickelt wurde (Dixius & Möhler, 2017a, 2017b, 2018, 2019, 2021), inzwischen auch für jüngere Kinder angepasst. Dieses neue Programm zur Förderung von Emotionsregulation und Stressresilienz wurde bereits erprobt und zeigt erste vielversprechende Ergebnisse (Dixius, Goth und Möhler, 2021). Die darin enthaltenen Materialien bilden nun eine wichtige Grundlage für die digitale Anwendung von Skills4Kids.

Durch die digitale Umsetzung wird das

START-Programm nun niedrigschwellig und alltagsnah zugänglich gemacht. So können auch Kinder ab 11 Jahren erreicht werden, die bislang wegen fehlender Motivation oder mangelnder therapeutischer Angebote keinen Zugang zu wirksamer Unterstützung hatten.

Digitale Avatare in der Therapie – aktuelle Forschung und Beispiele

Der Einsatz von interaktiven Avataren in der Therapie ist keine neue Idee. Erste wissenschaftliche Studien dazu wurden bereits von Bickmore und Kolleg:innen durchgeführt (Bickmore & Gruber, 2010). Auch in anderen Bereichen kamen Avatare schon zum Einsatz – zum Beispiel zur Unterstützung bei posttraumatischen Belastungsstörungen (PTBS) (DeVault et al., 2014) oder zur Begleitung von Menschen mit chronischen Schmerzen (Thiam et al., 2019).

Am Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) wurden in Projekten wie EmpaT (BMBF), TARDIS (EU), Emma und aktuell UBIDENZ (beide BMBF) digitale Avatare mit emotionaler Ausdrucksfähigkeit entwickelt. Sie wurden unter anderem eingesetzt, um soziale Kompetenzen zu fördern oder Menschen mit Erschöpfungssymptomen (beispielsweise Burnout) zu unterstützen.

Auch erste kommerzielle Systeme existieren bereits – zum Beispiel Chris, ein sprachgesteuerter Assistent fürs Auto, oder ElliQ, eine roboterähnliche Begleitung für ältere Menschen. Im Vergleich zum menschlichen Gesprächspersonen sind diese Systeme jedoch noch deutlich eingeschränkt, was echte soziale Interaktion betrifft. Projekte wie Skills4Kids können hier von bestehenden Entwicklungen profitieren und gezielt Synergien mit ähnlichen Forschungsansätzen nutzen.

Schule als Schlüssel: Wo Skills4Kids langfristig wirken kann

Ein zentrales Ziel des Projekts ist die Integration der App in schulische Präventionsarbeit. Schulen bieten einen niedrigschwelligen Zugang und erreichen Kinder, die außerhalb des therapeutischen Systems oft durchs Raster fallen. In einem möglichen nächsten Schritt soll die Anwendung über Schulsozialarbeitende oder Präventionsprogramme flächendeckend erprobt werden. So könnte emotionale Selbstregulation Teil des Schulalltags werden – ähnlich wie Ver-

Etwa 50 Prozent aller Kinder und Jugendlichen regulieren ihre Emotionen durch gesundheitsschädliches Verhalten – auch ohne formale Diagnose.

kehrserziehung oder Medienkompetenz.

Gerade im Schulkontext können Kinder in ihrem gewohnten Umfeld erreicht und gestärkt werden, bevor sich emotionale Belastungen verfestigen. Lehrkräfte und pädagogische Fachkräfte erhalten damit ein zusätzliches Werkzeug zur frühzeitigen Unterstützung.

Intelligente Technik trifft auf emotionale Entwicklung: Wie KI das Fühlen lernbar macht

Hinter der Anwendung von Skills4Kids steckt nicht nur psychologische Expertise, sondern auch modernste Forschung im Bereich Mensch-Technik-Interaktion. Koordiniert wird das Projekt vom Deutschen Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI), der führenden wirtschaftsnahen Forschungseinrichtung für KI-basierte Systeme in Deutschland. Ziel ist es, digitale Technologien nicht nur als technische Werkzeuge zu nutzen, sondern sie gezielt für die psychische Gesundheit von Kindern einzusetzen.

Das DFKI bringt seine Erfahrung in emotionaler Nutzenmodellierung, Verhaltensanalyse, Sprach- und Dialogverarbeitung sowie im Design soziotechnischer Systeme ein – mit Anwendungsbezügen zu Gesundheit, Mobilität und Barrierefreiheit. Konkret kümmert sich das DFKI bei Skills4Kids um die Modellierung und Evaluation des Verhaltens des KI-Avatars, inklusive sprachlichem Zugriff auf therapeutische Inhalte und KI-gestützter Erkennung von Aktivitätssignalen über Machine-Learning-Methoden. Ziel ist ein Avatar, der auf Kinder empathisch reagiert und sie gleichzeitig wirksam bei der Emotionsregulation unterstützt.

Auch in Sachen Datenschutz ist das DFKI federführend: Mit der am Zentrum entwickelten „on-premise Trusted Research Environment“ SEMLA (Secure Machine Learning Plattform) wird eine sichere DSGVO-konforme Verarbeitung sensibler Daten gewährleistet. Dabei kommen Open-Source-Werkzeuge wie das Dialogmodellierungs-Tool „SceneMaker“ zum Einsatz, mit dem sich Interaktionen gezielt modellieren und flexibel anpassen lassen.

Einbindung in den Forschungsverbund Health.AI: Vernetzung für nachhaltige Wirkung

Skills4Kids ist Teil des bundesweiten Forschungsverbunds Health.AI. Hier profitiert

das Projekt nicht nur vom fachlichen Austausch, sondern auch von gezielter Unterstützung bei Co-Creation-Formaten, Innovations- und Transformationsprozessen. Auch die geplante Realstudie wird in enger Abstimmung mit dem Netzwerk durchgeführt – selbstverständlich unter ethischem Votum. Langfristig sollen die im Projekt entwickelten Technologiebausteine und Methoden über Health.AI zugänglich gemacht und für weitere Anwendungen nutzbar sein – etwa zur Stärkung von Gesundheitsinnovationen im Bereich Kinder- und Jugendhilfe. Durch diese Struktur bleibt die Wirkung von Skills4Kids nicht auf ein einzelnes Projekt begrenzt, sondern kann dauerhaft und vielseitig zur Anwendung kommen.

Skills4Kids als präventive Lösung für alle Kinder und Jugendlichen

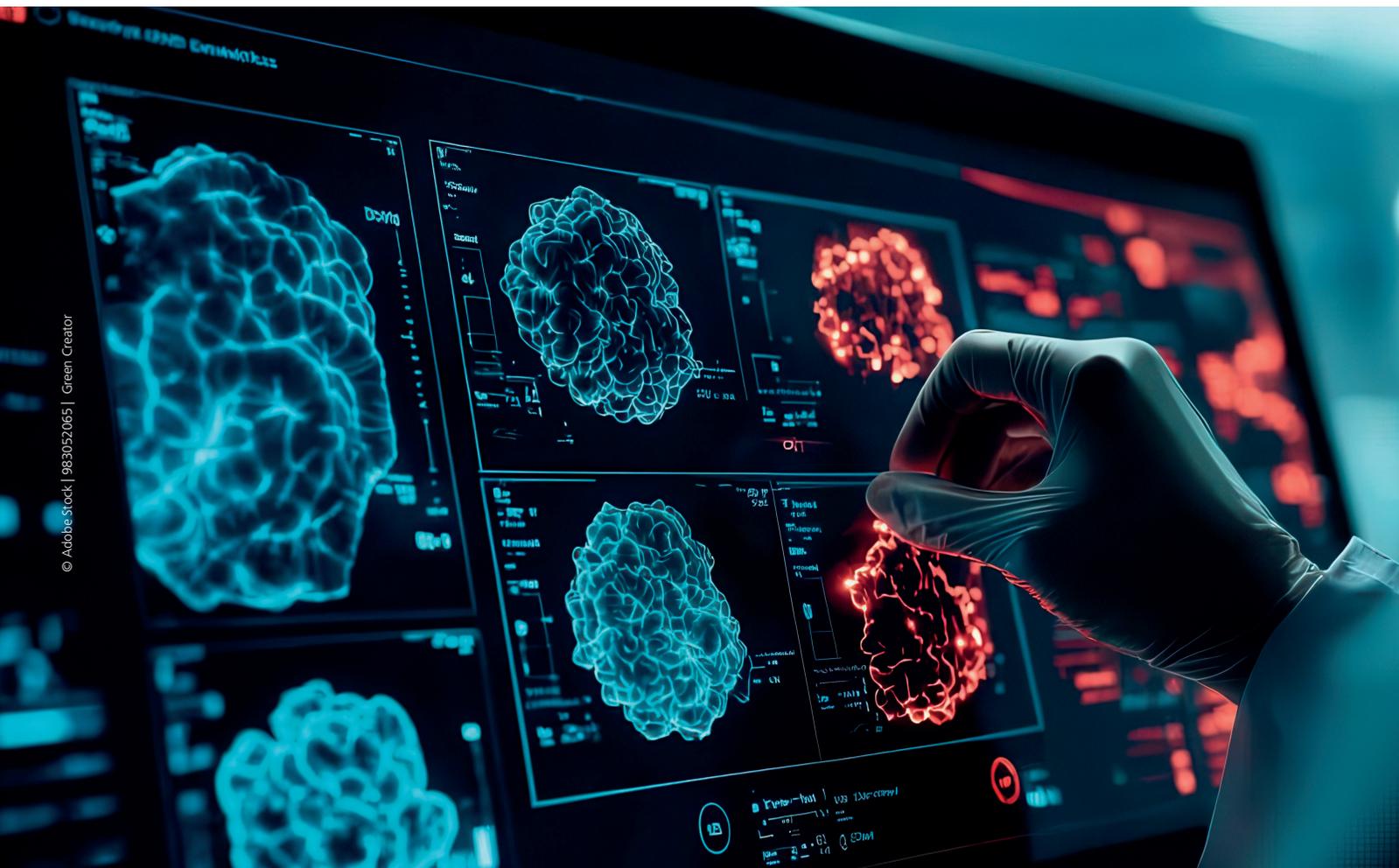
Die Skills4Kids-Demonstrationsanwendung verfolgt langfristig das Ziel, gesundheitsförderliche Strategien zur Emotionsregulation bei möglichst vielen Heranwachsenden zu stärken – nicht nur bei bereits psychisch belasteten jungen Menschen. Ziel ist es, frühzeitig vorzubeugen, damit weniger Kinder und Jugendliche überhaupt eine psychiatrische oder medizinische Diagnose entwickeln müssen. Durch die spielerische Vermittlung gesunder Gefühlsregulationsstrategien soll die aktuell sehr hohe Zahl behandlungsbedürftiger Kinder (22 Prozent laut Ravens-Sieberer, 2023) spürbar gesenkt werden. So können psychische Gesundheit und emotionale Selbstregulation frühzeitig und alltagsnah gefördert werden. ■

Kurz und Bündig

22 Prozent der 7- bis 12-Jährigen zeigen seit der Pandemie psychische Auffälligkeiten, 15 Prozent sind stark adipös. Etwa 50 Prozent aller Kinder und Jugendlichen regulieren ihre Emotionen durch gesundheits-schädliches Verhalten wie übermäßiges Essen, Rauchen oder Rückzug – auch ohne formale Diagnose. Ursache ist häufig emotionale Dysregulation. Der Einsatz eines KI-Avatars soll frühzeitig gesunde Strategien fördern und körperlichen sowie psychischen Erkrankungen vorbeugen – besonders bei wenig unterstützten jungen Menschen.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/42llpb3>



Was wäre, wenn...:

Szenarien der Zelltherapie digital durchgespielt

Ulrike Weirauch, Christoph Kämpf, Kristin Reiche, Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI

Zelltherapien können heilen – oder versagen. Was wäre, wenn sich dieser Effekt im Vorfeld simulieren ließe? Virtuelle Zwillinge könnten helfen, komplexe Zellinteraktionen im Körper digital abzubilden und daraus konkrete Entscheidungen abzuleiten. Wie realistisch ist das – und was braucht es, damit diese Modelle in der Therapie wirklich ankommen?

Adoptive zelluläre Immuntherapien eröffnen neue Möglichkeiten für die Behandlung von Krebs sowie anderer Erkrankungen [1]. Ein bekanntes Beispiel hierfür sind T-Zellen, die mit sogenannten chimären Antigenrezeptoren (CARs) ausgestattet werden. Adoptiv bedeutet dabei, dass körpereigene oder fremde Immunzellen außerhalb des Körpers modifiziert und dann wieder in den Körper eingebracht werden. CAR-T-Zellen

sind aktuell die am häufigsten eingesetzte Form der adoptiven zellulären Immuntherapie in der klinischen Praxis. Bei der CAR-T-Zelltherapie werden spezielle künstliche Antigenrezeptoren (CARs) in T-Zellen eingebracht. Diese T-Zellen stammen entweder von den Patient:innen selbst (autologe T-Zellen) oder von passenden Spender:innen (allogene T-Zellen). CARs erkennen gezielt ein Oberflächenmerkmal auf einer

Tumorzelle, werden dadurch aktiviert und zerstören die Tumorzelle. Derzeit sind sechs autologe CAR- T-Zelltherapien in der EU zugelassen.

Die CAR-T-Zelltherapie ermöglicht Patient:innen langanhaltende Remissionen. Allerdings sprechen nicht alle Patient:innen gleich gut auf die Behandlung an [2]. Virtuelle Zwillinge (VTs) könnten helfen, das individuell passende CAR-T-Zellprodukt auszuwählen und so die Wirkung zu verbessern und Nebenwirkungen zu verringern. Dies kann Therapiekosten senken und knappe Herstellungskapazitäten für CAR-T-Zellen optimieren.

Wir definieren Virtuelle Zwillinge im Gesundheitswesen als eine Kombination mehrerer patient:innenindividueller Digitaler Zwillinge (DTs). Ein DT für ein einzelnes Organ ist dessen digitales Abbild, welches kontinuierlich mit patient:innenindividuellen Daten über den Zustand des Organs aktualisiert wird [3]. So können zum Beispiel vor einem chirurgischen Eingriff am Herz patient:innenindividuelle Eigenschaften des Herzens simuliert werden. Es gibt erste Ansätze für DTs für weitere biologische Systeme, wie einzelne Zellen oder Gewebe.

Ein Digitaler Zwilling besteht aus (i) einem digitalen Modell eines biologischen Systems, (ii) Daten zu dessen Veränderung und (iii) Methoden zur laufenden Aktualisierung des digitalen Modells. Werden mindestens zwei Digitale Zwillinge verschiedener biologischer Systeme einer Person zu einem digitalen Modell zusammengefasst, um Wechselwirkungen zwischen diesen zu simulieren, sprechen wir von einem Virtuellen Zwilling (VT).

Virtuelle Zwillinge für adoptive zelluläre Immuntherapien

VTs eignen sich für die Modellierung patient:innenindividueller Verläufe in adoptiven zellulären Immuntherapien. Im Kontrast zu konventionellen Therapien wird bei adoptiven zellulären Immuntherapien ein Zelltherapeutikum, zum Beispiel CAR-T-Zellen, also ein biologisches System, verabreicht. Die Interaktion der CAR-T-Zellen mit Tumorzellen kann nur mittels der Kombination mehrerer DTs simuliert werden.

Im Fall von CAR-T-Zelltherapien können VTs das Zusammenspiel des Zelltherapeutikums, also den modifizierten T-Zellen der Patient:innen, den Tumorzellen, aber auch Zellen in anderen Organen der Behandelten

simulieren. VTs, angepasst an die Besonderheiten von adoptiven zellulären Immuntherapien, können bei Krankheitsprävention, Diagnose, Behandlungsentscheidungen oder Nachsorge unterstützen. Zudem haben sie das Potenzial, die präklinische und klinische Forschung zu unterstützen, und so die Entwicklung neuer adoptiver zellulärer Immuntherapien zu beschleunigen.

Dafür ist zum einen ein kontinuierlicher Abgleich des digitalen Modells mit dem Status des realen biologischen Systems mittels Daten nötig und zum anderen braucht es In silico-Methoden, die diese Daten nutzen, um patient:innenindividuelle Vorhersagen herzuleiten. Im Folgenden gehen wir auf beide wichtigen Komponenten eines VTs, Daten und Methoden, hinsichtlich des Einsatzes des VTs bei adoptiven zellulären Immuntherapien ein.

Anforderungen an die Datenerfassung

Bei CAR-T-Zelltherapien müssen Daten verschiedener beteiligter Stellen zugänglich gemacht und im VT zusammengeführt werden. Im Vergleich zu konventionellen Therapien sind ab dem Zeitpunkt der Entscheidung, dass Betroffene für eine CAR-T-Zelltherapie in Frage kommen, mehrere Akteure über mehrere Wochen sowie in der Nachsorge über Monate oder Jahre hinweg involviert, wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Betroffene werden als für die CAR-T-Zelltherapie geeignet identifiziert, ihnen werden in einer dafür zugelassenen Klinik T-Zellen entnommen sowie eine Überbrückungstherapie verabreicht (Vorbereitung).

Aus den entnommenen T-Zellen werden CAR-T-Zellen in dafür ausgewiesenen



Dr. Ulrike Weirauch

Ulrike Weirauch ist Forschungsmanagerin und Wissenschaftlerin in der Abteilung Medizinische Bioinformatik am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie. Sie ist in den Bereichen Akquise, Projektmanagement und Verbreitung von Ergebnissen für Projekte an der Schnittstelle zwischen molekularer Präzisionsmedizin und Bioinformatik tätig.

Kontakt

ulrike.weirauch@

izi.fraunhofer.de

www.izi.fraunhofer.de

Ein Virtueller Zwilling verarbeitet laufend individuelle Gesundheitsdaten, um Modelle zu aktualisieren und fundierte Therapieempfehlungen zu ermöglichen.



Christoph Kämpf

Christoph Kämpf ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Medizinische Bioinformatik am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI. Er arbeitet in den Bereichen Software-Entwicklung für die Präzisionsmedizin, Reproduzierbarkeit von wissenschaftlichen Ergebnissen und Qualitätsmanagement im Forschungsumfeld.

Kontakt

christoph.kaempf@izi.fraunhofer.de
www.izi.fraunhofer.de

Herstellungsstätten erzeugt, der Klinik überstellt und den Betroffenen verabreicht (Herstellung und Verabreichung). Nach der Infusion der CAR-T-Zellen unterliegen die Betroffenen über mehrere Wochen einer engmaschigen Nachsorge, bevor sie in die Langzeitnachsorge überführt werden (Nachsorge).

Jede dieser Phasen erfordert eine strukturierte und zeitnahe Erfassung relevanter Datenpunkte, um Therapieentscheidungen zu unterstützen und mögliche Komplikationen frühzeitig zu erkennen. Eine verzögerte oder fragmentierte Dokumentation kann den Therapieerfolg und die Patientensicherheit erheblich beeinträchtigen.

Ein solch komplexer Ablauf erhöht die technischen sowie regulatorischen Anforderungen an VTs für adoptive zelluläre Immuntherapien im Vergleich zu konventionellen Therapien erheblich. Zudem werden Wirksamkeit und eventuelle Nebenwirkungen von CAR-T-Zellen von (molekular)biologischen Faktoren auf der Ebene von Zellen, ihrem Zusammenspiel im Gewebe, ihrem Einfluss auf Organe sowie den gesamten Körper beeinflusst.

Die Modellierung des Wirkens von CAR-T-Zellen erfordert demnach neben longitudinalen niedrigdimensionalen Laborwerten und klinischen Verlaufsdaten einschließlich sozioökonomischem Hintergrund auch hochdimensionale Daten, sogenannte Multi-Omics-Daten.

Diese können auf Einzelzellniveau erstellt werden, um die Aktivierung, Expansion oder Erschöpfung von T-Zellen zu messen [4]. Elektronische Gesundheitsakten sowie Bildgebungs- und Sensordaten liefern Informationen über CAR-T-Zell-Expansion, das Ansprechen

auf die Behandlung und mögliche Nebenwirkungen. Durchflusszytometrie misst die Anzahl von CAR-T-Zellen im Blut; Bildgebung erfasst das Tumolvolumen.

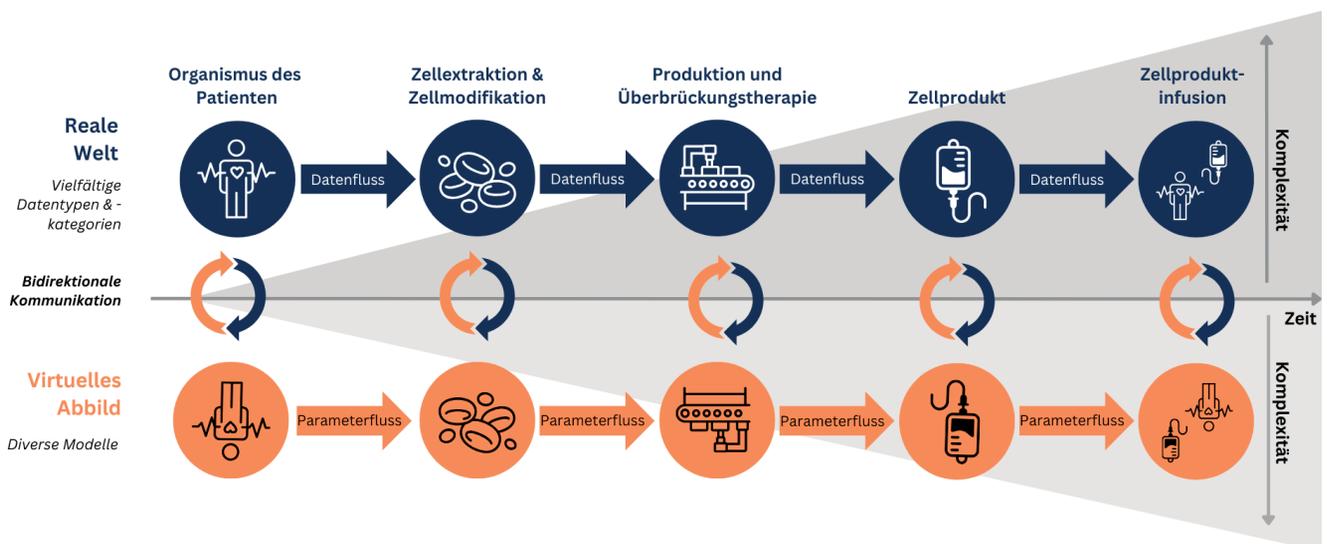
Anforderungen an In silico-Modelle

Damit ein VT vor, während sowie nach erfolgter CAR-T-Zelltherapie relevante Vorhersagen treffen kann, muss er In silico-Modelle über mehrere biologische Betrachtungsebenen hinweg integrieren [5]. Intrazelluläre sowie interzelluläre molekularbiologische Prozesse in CAR-T-Zellen sowie Tumorzellen (den Zielzellen) und deren Interaktionen untereinander sind unter anderem mit mechanistischen Modellen oder Differentialgleichungen simulierbar. Neueste Ansätze nutzen Deep Learning, um Zellzustände zu ermitteln [6] oder deren Änderungen vorherzusagen [7].

Die Generalisierbarkeit der datengetriebenen Modelle, wie Deep-Learning-Modelle für biologische Zellen, hängt von den für das Training zur Verfügung stehenden Daten ab. Innovationen in den biotechnologischen Methoden, um den molekularbiologischen Zustand von einzelnen Zellen in Hochdurchsatzverfahren zu charakterisieren, wirken sich positiv auf die In silico-Zellmodelle sowie deren Anwendung in VTs für CAR-T-Zelltherapien aus. Computergestützte Strukturbiologie ermöglicht es, zudem patient:innenindividuelle genetische Informationen bei der Vorhersage von Proteinstrukturen zu berücksichtigen [8].

CAR-T-Zelltherapien wirken nicht nur auf ihre Zielzellen, sondern auf den gesamten

Abbildung 1: Virtuelle Zwillinge verknüpfen Echtzeitdaten aus Therapie und Produktion. Nur kontinuierlich aktualisierte Abbilder ermöglichen fundierte Entscheidungen im Behandlungsprozess. (Fraunhofer IZI)



Körper. Der Zytokinsturm ist eine Nebenwirkung, die zu systemischer Entzündung führt. Das Monitoring von Vitalparametern mittels Wearables ermöglicht die Früherkennung eines Zytokinsturms basierend auf multimodalem maschinellem Lernen [9].

Generative KI-Modelle, trainiert an retrospektiven Daten, können für die Erzeugung von synthetischen Daten genutzt werden, die wiederum für eine verbesserte Planung klinischer Studien einsetzbar sind. Bei der Implementierung der In silico-Modelle des VTs muss konsequent auf Interoperabilität auf allen vier Ebenen (technisch, syntaktisch, semantisch, prozessual) geachtet werden, um einen Austausch von Daten und Parametern über den gesamten Patient:innenpfad, inklusive des CAR-T-Zell-Herstellungsprozesses, zu gewährleisten.

Virtuelle Zwillinge helfen, das passende CAR-T-Zellprodukt zu finden – für bessere Wirkung und weniger Nebenwirkungen.

Akzeptanz und Glaubwürdigkeit von VTs für CAR-T-Zelltherapien

Ein VT verarbeitet laufend individuelle Gesundheitsdaten, um Modelle zu aktualisieren und fundierte Therapieempfehlungen zu ermöglichen. Dieser bidirektionale Austausch unterliegt Unsicherheiten, die die Glaubwürdigkeit, also das Vertrauen in "die Vorhersagefähigkeit" eines VTs, beeinflussen. Vertrauen in den VT wird erhöht, wenn europäische Regularien (a) zur Entwicklung von Medizinproduktesoftware [10], (b) für Arzneimittel für neuartige Therapien [11], (c) für KI [12] und (d) für Datenschutz [13]

strikt als Grundlage für dessen Entwicklung und Anwendung herangezogen werden.

Darüber hinaus sollte Transparenz über die Herkunft, Qualität und Aktualität der verarbeiteten Daten geschaffen werden, um die Akzeptanz bei klinischen Anwenderinnen und Anwendern zu steigern. Ein kontinuierliches Monitoring und die Validierung der Modelleistung im praktischen Einsatz sind entscheidend, um das Vertrauen langfristig aufrechtzuerhalten.

Der Prozess zur Entwicklung von Medizinprodukte-Software (IEC 62304) sollte demnach genutzt werden [14]. Die Nutzenden des VTs sind zudem in die Analyse der technischen, medizinischen, ethischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Anforderungen einzubeziehen (Co-creation). Dabei muss insbesondere der Umgang mit sensitiven Daten gemäß den gesetzlichen Vorgaben garantiert sein.

Schlussfolgerung und Ausblick

VTs für die CAR-T-Zelltherapie unterstützen das Fachpersonal in Forschung, Herstellung und Behandlung dabei, die Therapie individuell anzupassen und das Verständnis von erkrankten Personen für ihre Situation zu verbessern. Dafür müssen sie multimodale Einzelzell- und klinische Verlaufsdaten über längere Zeiträume sowie über verschiedene Akteure hinweg integrieren, was konsequente Interoperabilität im gesamten Prozess erfordert. VTs könnten künftig die individuelle Pathophysiologie simulieren und mithilfe synthetischer Patient:innendaten In silico-Studien effizienter und präziser gestalten. Obwohl die Entwicklung noch am Anfang steht, bieten VTs großes Potenzial zur Verbesserung der personalisierten Medizin in der adoptiven zellulären Immuntherapie. ■

Kurz und Bündig

Virtuelle Zwillinge kombinieren digitale Abbilder verschiedener biologischer Systeme eines Menschen. In der CAR-T-Zelltherapie bieten sie personalisierte Entscheidungsunterstützung, um Therapieeffekte besser vorherzusagen und Nebenwirkungen zu minimieren. Dafür sind umfassende Daten und präzise Modellierungen notwendig, die auch die einzigartigen Eigenschaften von Zelltherapien und ihr komplexes Zusammenspiel mit der Patient:innenphysiologie einbeziehen.



Dr. Kristin Reiche

Kristin Reiche ist Leiterin der Abteilung für Medizinische Bioinformatik am Fraunhofer-Institut für Zelltherapie und Immunologie IZI sowie PI des Centers for Scalable Data Analytics and Artificial Intelligence ScaDS.AI Dresden/Leipzig. Ihre Forschung verbindet molekulare Biomedizin mit Informatik, um hochdimensionale molekulare Daten mit maschinellem Lernen für die personalisierte Medizin nutzbar zu machen.

Kontakt

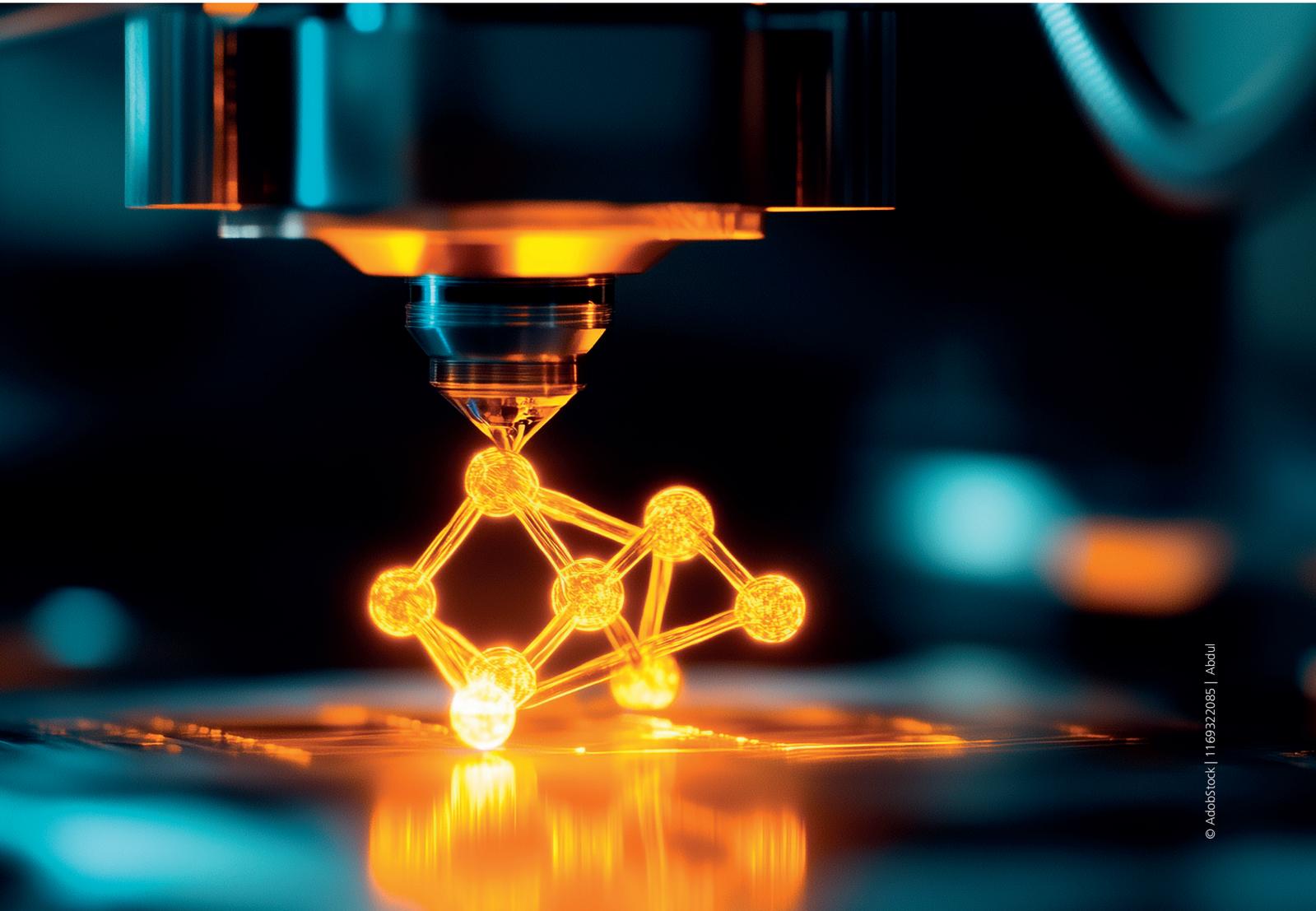
kristin.reiche@

izi.fraunhofer.de

www.izi.fraunhofer.de



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/4jNyFxD>



© AdobeStock | 1169322085 | AbduJi

You shall not pass:

Wie zellfreie Moleküle das Böse bekämpfen

Patrick Grossmann, Invitris im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Nicht jede Antwort auf medizinische Herausforderungen liegt im Mehr – mehr Medikamente, mehr Aufwand, mehr Zeit. Manchmal liegt sie im Weniger: Weniger Zellen, weniger Reibung, weniger Ungewissheit. Zellfreie Systeme setzen genau dort an. Sie verzichten auf das biologische Wachstum und greifen direkt auf die molekulare Maschinerie zu – eine Art präziser Shortcut zur Wirkstoffentwicklung. Was dabei entsteht, ist nicht nur schneller verfügbar, sondern auch exakt auf den jeweiligen Fall abgestimmt. Könnte genau das der Hebel sein, um den wachsenden Bedrohungen durch Resistenzen und Individualerkrankungen zu begegnen?

IM+io Was macht Invitris und worum geht es bei Ihrer Arbeit?

PG: Unser Hauptziel bei Invitris ist es, antibiotikaresistente Infektionen zu bekämpfen. Eine unserer zentralen Strategien dafür basiert auf sogenannten Bakteriophagen. Das sind Viren, die ausschließlich Bakterien angreifen – sehr zielgerichtet. Sie zerstören nur die schädlichen Bakterien, die die Erkrankung verursachen, und lassen alle anderen, die zum Beispiel im Körper nützlich sind, unberührt. Das ist ein riesiger Vorteil gegenüber klassischen Antibiotika, die oft auch „gute“ Bakterien zerstören.

IM+io Und was ist Ihr Ansatz dabei?

PG: Wir haben einen Weg gefunden, Bakteriophagen nicht mehr auf herkömmliche Weise in Bakterien zu züchten – wie es schon seit über 100 Jahren gemacht wird –, sondern sie vollständig synthetisch herzustellen. Das bedeutet, wir simulieren auf molekularer Ebene, was normalerweise in einer Bakterienzelle passiert, wenn ein Virus sie infiziert. Das Ganze passiert bei uns außerhalb von Zellen – also in einem sogenannten zellfreien System. Wir arbeiten dabei mit Enzymen, Polymerasen und einem winzigen Stück DNA, das den Bauplan für den jeweiligen Phagen enthält. Diese Methode erlaubt uns nicht nur mehr Kontrolle über den Prozess, sondern macht es auch möglich, die Phagen gezielt zu verändern. Und: Wir können dieselbe Produktionsumgebung für ganz unterschiedliche Phagen nutzen – das ist weltweit einzigartig.

IM+io Ihre Technologie geht weit über Phagen hinaus. Wie kann man sich das vorstellen?

PG: Unsere Plattform ist so aufgebaut, dass wir damit auch andere Wirkstoffe herstellen können – etwa Antikörper, Nanobodies oder sogar Impfstoffe. Wir sprechen bewusst von einer Plattform-Company, weil wir eine Technologie entwickelt haben, die sehr vielseitig einsetzbar ist. Wir vermarkten diese Technologie auch nicht nur in Form eigener Produkte, sondern gehen Kooperationsbeziehungen mit anderen Biotech- oder Pharmaunternehmen ein. Gemeinsam entwickeln wir dann neue Produkte, behalten in der Regel aber die Rechte daran. Wenn Auftraggebende das Produkt später vermarkten möchten, erfolgt das über ein Lizenzmodell.

IM+io Können Sie ein Beispiel geben, wie sich Ihr Ansatz von klassischen Methoden unterscheidet?

PG: In der klassischen Biotechnologie nutzt

man zellbasierte Systeme. Das heißt, man züchtet zum Beispiel Bakterien oder Hefezellen, in denen dann bestimmte Moleküle produziert werden – etwa Phagen oder Antikörper. Das Problem dabei ist, dass man kaum Kontrolle darüber hat, was im Inneren dieser Zellen genau passiert. Unser Ansatz ist zellfrei. Wir nutzen nur die Zellmaschinerie – also die molekularen Werkzeuge – und können gezielt steuern, was passiert. Der Vorteil ist: Wir können einzelne Schritte kontrollieren, optimieren und standardisieren. Es ist ein bisschen, als würde man statt in einer verschlossenen Blackbox plötzlich mit einem durchsichtigen Baukasten arbeiten.

Wir simulieren, was normalerweise in einer Bakterienzelle passiert – aber ganz ohne Zellen.

IM+io Wie wird Ihre Plattform durch KI unterstützt?

PG: Wir nutzen KI in mehreren Bereichen. Ein ganz wesentlicher ist die Optimierung von Reaktionsbedingungen. Unser System lässt sich gut mit einem 3D-Drucker vergleichen – nur im Nanoformat. Die DNA ist unser Software-Code. Sie wird in das System eingespeist, und heraus kommt ein spezifisches Protein. Aber: Unterschiedliche Moleküle brauchen unterschiedliche Umgebungen, um korrekt zu entstehen. Es gibt unzählige Kombinationen von Reagenzien, Konzentrationen und Temperaturen. Da kommen unsere eigenen Machine-Learning-Algorithmen ins Spiel. Sie helfen uns, diese komplexen Parameter gezielt zu optimieren.

IM+io Und wie sieht das im praktischen Laboralltag aus?

PG: Wir arbeiten auch mit Automatisierungsrobotik. Mit den Fördermitteln des EIC Accelerators – 2,5 Millionen Euro plus bis zu 10 Millionen in Aussicht – entwickeln wir einen sogenannten



Dr. Patrick Grossmann

Grossmann ist Datenwissenschaftler mit Schwerpunkt auf KI-Anwendungen in Biomedizin, Gesundheit und Ernährung. Während seiner Promotion an der Harvard Medical School und Kooperationsinstituten erforschte er KI-basierte Innovationen in der Radioonkologie. Heute setzt er sich bei Invitris für den Kampf gegen antimikrobielle Resistenzen ein – mit einem zellfreien System zur synthetischen Herstellung von Bakteriophagen als präzise Alternative zu Antibiotika.

Kontakt

grossmann@invitris.com
www.invitris.com

Phagen-Drucker. Das ist ein Gerät, in das man bestimmte Zellproben eingibt, zum Beispiel aus Patient:innen. Das Gerät analysiert diese Proben automatisch, stellt dann das passende DNA-Konstrukt her und produziert das ideale therapeutische Molekül – alles innerhalb von acht Stunden. Am Ende erhält man ein personalisiertes Medikament. Das ist echte Präzisionsmedizin.

IM+io Können Sie den Prozess noch etwas detaillierter erklären?

PG: Der gesamte Prozess läuft in drei Schritten ab. Zuerst wird die Zielzelle – zum Beispiel ein krankmachendes Bakterium – analysiert. Daraufhin entscheidet unser System, welches Molekül am besten wirkt. Das kann ein Phage oder ein anderer Wirkstoff sein. Im zweiten Schritt wird dieses Molekül synthetisch hergestellt. Und im dritten Schritt erfolgt die Reinigung, sodass am Ende ein klinisch verwendbares Produkt bereitsteht. Das Besondere: Da wir zellfrei arbeiten, haben wir bei jedem einzelnen Schritt vollständige Kontrolle.

IM+io Spielt KI auch bei der Vorhersage von Wirkungen eine Rolle?

PG: Ja, genau. Unsere Algorithmen helfen nicht nur bei der Optimierung der Bedingungen, sondern auch bei der Entscheidung, welches Molekül für eine bestimmte Zielzelle am wirksamsten ist. Das ist enorm wichtig im Kontext von Antibiotikaresistenzen. Wenn man breit wirkende Antibiotika einsetzt, fördert man die Entstehung resistenter Bakterien. Mit unserer Methode können wir personalisierte Wirkstoffe erzeugen, die sehr gezielt wirken – und das minimiert das Risiko für neue Resistenzen erheblich.

IM+io Wie gehen Sie bei Invitris damit um, dass KI auch Fehler machen kann? Gibt es Mechanismen, um solche Fehleinschätzungen frühzeitig zu erkennen und zu korrigieren?

PG: Das ist ein wichtiger Punkt. Der Hype um Generative KI – etwa bei Moleküldesigns – ist

riesig, aber am Ende des Tages muss man alles im echten Leben testen. Genau da kommt unsere Plattform ins Spiel. Wir haben einen enormen Skalierungsvorteil: Wir können bis zu 1.000 Proteine pro Sekunde testen. Das heißt, wir generieren täglich Millionen von Testdaten. Diese Daten helfen nicht nur, die richtigen Moleküle zu finden, sondern auch, unsere Algorithmen weiter zu verbessern. Es ist ein ständiger Lernprozess.

IM+io Wie sieht es mit Datenschutz aus, vor allem bei genetischen Daten?

PG: Das ist glücklicherweise bei uns kein großes Thema, da wir in der Regel nicht mit Patient:innendaten arbeiten. Unsere Daten stammen aus kontrollierten Laborexperimenten. Das heißt, wir generieren unsere eigenen molekularen Daten, die wir natürlich entsprechend schützen. Sobald es in Richtung Behandelte gehen würde, würden wir selbstverständlich alle datenschutzrechtlichen Vorgaben einhalten. Aber aktuell betrifft uns das kaum.

IM+io Wo stoßen Sie aktuell noch an technologische Grenzen?

PG: Da gibt es natürlich einige. Ein Beispiel: Kleine Moleküle lassen sich leichter herstellen als große, weil große Moleküle mehr Energie im System benötigen. Wir arbeiten gerade daran, diesen Energiebedarf besser zu steuern. Ein anderes Thema sind sogenannte post-translationale Modifikationen – also Veränderungen, die ein Protein nach seiner Entstehung noch durchläuft, etwa Glykosylierungen. Diese sind für viele therapeutische Proteine entscheidend, aber aktuell sehr schwer in zellfreien Systemen umzusetzen. Wenn wir das schaffen, wäre das ein echter Gamechanger – und ja, vielleicht sogar ein Milliardenmarkt.

IM+io Wie läuft die Zusammenarbeit mit anderen Unternehmen ab?

PG: Das ist meist ein Co-Development-Prozess. Unternehmen kommen mit einem konkreten Ziel zu uns – zum Beispiel: „Wir wollen ein Mittel gegen E. coli bei Blasenentzündungen entwickeln.“ Sie haben oft keine eigene Technologie oder Ressourcen dafür. Dann steigen wir ein. Wir entwickeln das Produkt, behalten in der Regel das geistige Eigentum daran, und am Ende kann das Unternehmen entscheiden, ob es das Produkt lizenzieren und vermarkten möchte. Die Entwicklung erfolgt dabei in enger Abstimmung, sodass beide Seiten ihre Expertise einbringen können. Falls das Produkt in die Vermarktung geht, kann auch

Unser System funktioniert wie ein 3D-Drucker in Nano-Größe – nur dass wir damit Wirkstoffe produzieren.

unsere Technologie für die Produktion verwendet werden – skalierbar je nach Bedarf.

IM+io Und entwickeln sich diese Projekte manchmal auch dynamisch weiter?

PG: Definitiv. Es gibt häufig Situationen, in denen die ursprüngliche Idee im Laufe des Projekts angepasst wird. Ein Beispiel: Eine Kundenschaft wollte ein Bakterium bekämpfen, das sich innerhalb von Körperzellen versteckt. Für klassische Phagen ist das schwer zugänglich. Wir haben dann vorgeschlagen, unsere Plattform zu nutzen, um ein Trägersystem zu entwickeln, das den Wirkstoff gezielt in die Zelle bringt. Das zeigt: Wir sind nicht nur Dienstleistende, sondern auch eine technologische Ansprechstelle.

Wir können bis zu 1.000 Proteine pro Sekunde testen – das bringt KI vom Bildschirm direkt ins echte Labor.

IM+io Wie genau verdient Ihr Unternehmen heute Geld – und wo liegt langfristig Ihr größtes wirtschaftliches Potenzial?

PG: Unser Geschäftsmodell ist zweigeteilt. Zum einen arbeiten wir projektbasiert mit Unternehmen zusammen – das heißt, wir entwickeln für sie auf Basis unserer Technologie ein spezifisches Produkt, zum Beispiel einen Wirkstoff gegen ein bestimmtes Bakterium. Dafür erhalten wir in der Regel eine Kombination aus Entwicklungsbudget, Meilensteinzahlungen und später – wenn das Produkt in die Vermarktung geht – auch Lizenzgebühren.

Zum anderen kann unsere Kundenschaft auch unsere Produktionssysteme nutzen, etwa den Phagen-Drucker, um die Wirkstoffe direkt in-house herzustellen. Das eröffnet uns ein zweites Einnahmemodell über die Nutzung der

Plattform selbst, vergleichbar mit einem Technologieanbieter. Langfristig liegt unser wirtschaftliches Potenzial vor allem darin, dass unsere Plattform in vielen Branchen einsetzbar ist – nicht nur in der Medizin, sondern auch in Landwirtschaft, Industrie oder Umwelttechnologien. Je breiter die Anwendung, desto größer das Marktvolumen. Und wir sitzen mit am Ursprung – bei der Herstellung.

IM+io Ihr Firmen-Slogan „one platform to conquer all“ erinnert an Herr der Ringe: „one ring to rule them all“. War das Absicht?

PG: (lacht) Ja, absolut. Das kommt tatsächlich noch aus unserer Uni-Zeit. Ich bin ein riesiger Herr der Ringe-Fan. Ich gehe nächste Woche sogar in die Olympiahalle zu einem Live-Orchesterkonzert mit dem zweiten Teil. Der Slogan ist also definitiv eine kleine Hommage – aber er passt auch einfach perfekt zu unserer Vision.

IM+io Apropos Vision: Wo sehen Sie Invitris in den nächsten Jahren?

PG: Ich wünsche mir, dass wir eine schlanke, aber sehr schlagkräftige Firma bleiben. Unsere Plattform soll sich weiterentwickeln, etwa durch neue Module für DNA-Synthese oder zusätzliche Anwendungen. Gleichzeitig stelle ich mir vor, dass wir Spin-offs gründen – zum Beispiel eine Firma, die sich ausschließlich auf Biopharma-Produkte konzentriert, und eine andere für den Agrarbereich. So könnte rund um unsere Technologie ein ganzes Ökosystem entstehen. ■

Kurz und Bündig

Ein zellfreies System ermöglicht die synthetische Herstellung von Phagen, Antikörpern und anderen Wirkstoffen. Die Technologie basiert auf DNA-Information, die in kontrollierter Umgebung zu funktionalen Molekülen umgesetzt wird. Künstliche Intelligenz unterstützt bei der Optimierung von Reaktionen und Auswahl wirksamer Moleküle. Ziel ist die Entwicklung personalisierter Therapien mit hoher Präzision – auch über medizinische Anwendungen hinaus.

Virtuelle Körper, echte Chancen –

Für eine Medizin, die Geschlecht mitdenkt

Laura Steffny, August-Wilhelm Scheer Institut

Eine Medizin, die alle gleichbehandelt, ist oft ungerecht. Frauenherzen schlagen anders. Männerkörper reagieren anders. Trotzdem dominieren in der Diagnostik und Therapie oft „Einheitsmodelle“. Digitale Zwillinge könnten das ändern. Sie machen aus Durchschnittspatient:innen echte Individuen – und erlauben erstmals medizinische Präzision mit Geschlechterblick. Zukunftsmusik? Keineswegs. Die Technologie ist da. Jetzt ist die Frage: Nutzen wir ihr Potenzial?



Die medizinische Forschung hat in den letzten Jahrzehnten enorme Fortschritte gemacht – und dennoch zeigt sich immer wieder: Ein Großteil der Diagnostik und Therapie basiert auf Modellen, die „durchschnittliche Patient:innen“ abbilden. Ein Konzept, das oft an den individuellen Realitäten von Patientinnen und Patienten vorbeigeht. Besonders deutlich wird das bei geschlechterspezifischer Gesundheit. Frauen werden in klinischen Studien unterrepräsentiert, Symptome falsch interpretiert und Therapien schlechter angepasst.

Genau hier setzen Digitale Zwillinge an: virtuelle Abbilder realer Menschen, die mithilfe von KI, Sensorik und Gesundheitsdaten ein personalisiertes Modell des individuellen Körpers erschaffen. Was nach Science-Fiction klingt, ist längst medizinische Praxis – wenn auch noch in Nischen. Doch erste Studien zeigen beeindruckende Resultate: mehr Präzision in der Diagnostik, bessere Vorhersagen, individuellere Therapien.

Was die evidenzbasierte Medizin lange übersehen hat, könnte nun durch datengestützte Präzision aufgeholt werden – geschlechtersensibel, individuell und gerecht.

Was ist ein Digitaler Zwilling?

Der Begriff „Digitaler Zwilling“ stammt ursprünglich aus der Industrie. Dort werden digitale Kopien von Maschinen oder Anlagen erstellt, um deren Zustand in Echtzeit zu überwachen, Fehler frühzeitig zu erkennen oder zukünftige Szenarien zu simulieren. In der Medizin funktioniert das Prinzip ähnlich – nur dass das Objekt der Abbildung kein Triebwerk ist, sondern ein Mensch.

Ein Digitaler Zwilling ist ein datenbasiertes, virtuelles Modell einer konkreten Person. Er speist sich aus verschiedenen Quellen: Gesundheitsakten, Genomdaten, Echtzeitmessungen durch Wearables, bildgebende Verfahren oder auch Verhaltensdaten. Mithilfe von Algorithmen und Künstlicher Intelligenz entsteht daraus ein personalisiertes Abbild – individuell, dynamisch und lernfähig.

Das Ziel: Krankheiten früher erkennen, Therapieentscheidungen präziser treffen, Nebenwirkungen vermeiden – kurz: die Medizin passgenauer machen. Ein Digitaler Zwilling kann etwa simulieren, wie eine bestimmte Patientin auf ein Medikament reagieren wird. Oder er zeigt, ob sich bei einem Patienten bestimmte

Risikofaktoren zu einer Erkrankung verdichten – noch bevor klinische Symptome sichtbar werden.

So gesehen ist der Digitale Zwilling keine technische Spielerei, sondern ein potenziell mächtiges Werkzeug für eine Medizin, die nicht nur auf Durchschnittswerte setzt, sondern auf echte Individualisierung.

Gender Bias in der Medizin – ein Überblick

In der Medizin herrscht seit Langem ein Irrglaube vor: dass Männer und Frauen im Prinzip gleich funktionieren – mit ein paar hormonellen Unterschieden. Das Ergebnis: Klinische Studien wurden jahrzehntelang überwiegend an männlichen Probanden durchgeführt. Frauen galten als „komplizierter“, „zyklusbedingt unberechenbar“ oder schlicht nicht repräsentativ. Die Folgen spüren wir bis heute.

Die britische Autorin Caroline Criado Perez spricht in ihrem Buch *Invisible Women* von einer „Gender Data Gap“ – einer strukturellen Unsichtbarkeit, weil Frauen in vielen Systemen einfach nicht mitgedacht werden. „Wenn wir nicht messen, was zählt, zählt es auch nicht“, schreibt sie – und verdeutlicht damit eindrücklich, warum geschlechtersensible Medizin überfällig ist.

Herzinfarkte zum Beispiel: Bei Frauen äußern sich die Symptome oft anders als bei Männern – weniger Brustschmerz, häufiger Übelkeit oder Atemnot. Trotzdem sind gängige Diagnoseverfahren auf das „männliche“ Muster geeicht.

Die niederländische Kardiologin Janneke Wittekoek bringt es im ZDF treffend auf den Punkt: „Das Problem ist eigentlich, dass Frauen wie kleine Männer behandelt werden. Sehr viel in der Medizinforschung basiert auf dem Männerkörper, dem sogenannten ‚Reference Man‘.“

Auch in der Pharmakologie zeigt sich der Bias: Dosierungen, Nebenwirkungen und Wirkstoffverteilungen unterscheiden sich zwischen den Geschlechtern – werden aber häufig nicht ausreichend differenziert betrachtet. Geschlechtsspezifische Medizin versucht, diese Lücken zu schließen. Sie betrachtet biologische und soziokulturelle Unterschiede, will Diagnostik und Therapie anpassen. Doch in der Praxis ist sie oft noch Theorie. Standardisierte Verfahren dominieren, personalisierte Ansätze sind die Ausnahme.

Genau hier kommt die Stärke Digitaler Zwillinge ins Spiel: Sie ermöglichen nicht nur individualisierte, sondern auch geschlechtersensible Modelle. Die Frage ist: Wird diese



Laura Steffny

Laura Steffny ist Senior Digitalization Professional am AWSi. Im Digital Health Lab arbeitet sie an datenbasierten Innovationen für das Gesundheitswesen. Aktuell widmet sie sich dem Potenzial Digitaler Zwillinge in der personalisierten Medizin.

Kontakt

[laura.steffny@](mailto:laura.steffny@aws-institut.de)

aws-institut.de

www.aws-institut.de

Technologie genutzt, um Unterschiede sichtbar und medizinisch relevant zu machen – oder reproduziert sie unbewusst alte Muster?

Digitale Zwillinge als Game Changer

Digitale Zwillinge könnten eine neue Ära in der personalisierten und geschlechtersensiblen Medizin einläuten. Erste Anwendungen zeigen, was möglich ist, wenn Patient:innen nicht länger nach Durchschnittswerten behandelt werden, sondern als individuelle Systeme mit geschlechtsspezifischen Besonderheiten.

In der Frauenmedizin etwa konnte ein Digitaler Zwilling mit 97,2 Prozent Genauigkeit eine Gestationsdiabetes-Erkrankung vorhersagen – deutlich früher und präziser als konventionelle Methoden (Leszczelowska et al., 2024). Auch bei der individuellen Risikoeinschätzung während der Schwangerschaft zeigte das System 83,5 Prozent Treffgenauigkeit – ein klarer Fortschritt gegenüber standardisierten Scoring-Modellen.

Auch in der Männergesundheit gibt es vielversprechende Ansätze: Bei Prostatakrebs erreichten digital gestützte Vorhersagen zur Rückfallwahrscheinlichkeit eine Treffsicherheit von 96,25 Prozent (Kim et al., 2022). Damit lassen sich Therapien gezielter planen – invasive Eingriffe könnten in vielen Fällen vermieden werden.

Und selbst jenseits geschlechtsspezifischer Erkrankungen ist der Unterschied spürbar: In der Diabetesbehandlung etwa führte eine vom Digitalen Zwilling gestützte Therapie zu einem signifikanten Rückgang des HbA1c-Werts um $-2,9$ – verglichen mit nur $-0,3$ in der Kontrollgruppe (Joshi et al., 2023). In der Neurologie wiederum erkannten KI-gestützte Zwillinge Gehirnatrophie bei Multipler Sklerose fünf bis sechs Jahre früher als herkömmliche MRT-Verfahren (Cen et al., 2023a, 2023b).

Diese Beispiele zeigen: Digitale Zwillinge machen Unsichtbares sichtbar. Sie erkennen Muster, die herkömmliche Diagnostik oft übersieht – und geben der Medizin damit die Chance, endlich individueller und gerechter zu werden.

Chancen und Herausforderungen

Digitale Zwillinge eröffnen eine neue Dimension der Präzisionsmedizin. Die größte Chance liegt dabei in ihrer Fähigkeit, nicht nur Krankheiten zu erkennen, sondern deren individuelle Entwicklung zu modellieren – unter Einbeziehung von Geschlecht, Genetik, Lebensstil und Umweltfaktoren. Eine Vision, die bisher eher der Forschung vorbehalten war, wird zunehmend klinisch greifbar.

Für Patient*innen bedeutet das: weniger Trial-and-Error, mehr gezielte Therapie. Statt Medikamente auf Basis statistischer Durchschnittswerte zu verordnen, können Ärzt:innen mithilfe Digitaler Zwillinge die Wirkung und Nebenwirkungen individuell vorhersagen. Besonders in sensiblen Bereichen wie der Onkologie oder bei chronischen Erkrankungen wie Diabetes und Herzinsuffizienz bietet das enorme Potenzial – nicht zuletzt, um geschlechtsspezifische Reaktionen besser zu berücksichtigen (beispielsweise Joshi et al., 2023; Gu et al., 2024).

Auch für Forschung und klinische Studien verändern Digitale Zwillinge die Spielregeln. Sie erlauben die Simulation von Therapieverläufen – und können so reale Kontrollgruppen teilweise ersetzen oder ergänzen. Eine Studie zur Optimierung von Crohn-Therapien zeigte, dass durch Digitale Zwillinge die Größe der Kontrollgruppen um bis zu 34 Prozent reduziert werden konnte (Turner et al., 2024).

Doch bei aller Euphorie gibt es auch Herausforderungen:

- **Datenschutz und Vertrauen:** Digitale Zwillinge basieren auf sehr persönlichen Daten – von Genom-Informationen bis hin zu Echtzeitdaten aus Wearables. Ihre sichere Verarbeitung und der transparente Umgang damit sind essenziell, um Vertrauen zu schaffen.
- **Bias in den Daten:** Wenn Trainingsdaten historisch verzerrt sind – etwa weil Frauen seltener Teil von Studien waren – kann auch ein Digitaler Zwilling bestehende Ungleichheiten fortschreiben, statt sie zu beheben. Gerade bei geschlechtersensibler Me-

Nur wenn Diversität auch in der Entwicklung von Digitalen Zwillingen mitgedacht wird, entsteht echte Fairness – geschlechtersensibel, datenbasiert, menschennah.

dizin ist das Risiko real.

- **Zugang und Verfügbarkeit:** High-End-Diagnostik darf nicht nur einem exklusiven Kreis vorbehalten bleiben. Die Integration in den klinischen Alltag – auch in weniger spezialisierten Einrichtungen – entscheidet mit darüber, ob der Digitale Zwilling wirklich zum Game Changer wird oder ein Luxuswerkzeug bleibt.

Ausblick: Die Zukunft der personalisierten, geschlechtersensiblen Medizin

Die Idee einer Medizin, die für jeden Menschen anders – und doch für alle gerechter – ist, klingt nach einer Idealvorstellung. Digitale Zwillinge bringen diese Vision jedoch in Reichweite. In einer Zeit, in der Gesundheitsdaten in Echtzeit verfügbar sind und KI-Modelle täglich dazulernen, wird es möglich, Präzision und Fairness zu verbinden.

Dabei geht es nicht um bessere Technik, sondern um ein Umdenken: weg von der linearen Logik der Leitlinie, hin zur dynamischen, personalisierten Entscheidungsunterstützung. In Zukunft könnten Ärzt:innen bei jeder Diagnose und Therapie die Simulation eines Digitalen Zwillings zu Rate ziehen – um zu sehen, wie dieser Körper reagiert, nicht irgendeiner.

Gerade in der geschlechterspezifischen Versorgung schlummert hier enormes Potenzial. Statt biologische und hormonelle Unterschiede als Komplexität zu sehen, könnten sie systematisch berücksichtigt – ja sogar antizipiert – werden. Die Technologie dafür existiert. Die Frage ist, wie wir sie implementieren.

Dazu braucht es klare Strategien: Interoperabilität zwischen Systemen, verbindliche ethische Standards im Umgang mit sensiblen Daten und gezielte Förderprogramme, die auch unterrepräsentierte Gruppen adressieren. Nur wenn Diversität auch in der Entwicklung von Digitalen Zwillingen mitgedacht wird, entsteht echte Fairness – geschlechtersensibel, datenbasiert, menschennah.

Am August-Wilhelm Scheer Institut beschäftigen wir uns aktuell genau mit dieser Frage: Wie lassen sich geschlechtsspezifische Daten in digitale Modelle integrieren, ohne neue Verzerrungen zu erzeugen? Unsere Hypothese: Nur wenn Genderaspekte schon in der Modellarchitektur berücksichtigt werden – und nicht erst in der Anwendung –, kann ein Digitaler Zwilling tatsächlich gerechter wirken als klassische Methoden.

Fazit

Digitale Zwillinge versprechen nicht weniger als einen Paradigmenwechsel in der Medizin: weg vom Durchschnitt, hin zum Individuum. Sie machen es möglich, Diagnosen früher zu stellen, Therapien gezielter zu planen und geschlechterspezifische Unterschiede endlich ernst zu nehmen. Studien zeigen beeindruckende Ergebnisse – von der frühen MS-Erkennung bis zur präzisen Prognose bei Prostatakrebs oder Schwangerschaftsdiabetes.

Doch Technik allein reicht nicht. Damit Digitale Zwillinge ihr Potenzial entfalten können, braucht es strukturelle Veränderungen: mehr Diversität in den Daten, mehr Transparenz in den Algorithmen und einen mutigen Umgang mit Innovation. Vor allem aber braucht es die Bereitschaft, Patient:innen nicht nur als Datenquelle, sondern als Individuen zu sehen – mit all ihren Unterschieden.

Die Medizin der Zukunft ist nicht nur digital. Sie ist auch differenziert, inklusiv und gerecht. Und vielleicht hilft uns genau dieser zweite, digitale Blick auf den Menschen, den ersten wieder klarer zu sehen. ■

Kurz und Bündig

Digitale Zwillinge bieten neue Chancen für eine Medizin, die geschlechtsspezifische Unterschiede ernst nimmt. Sie erkennen Krankheitsverläufe präziser, simulieren individuelle Reaktionen und machen sichtbar, was lange übersehen wurde – etwa bei Herzinfarkten oder medikamentöser Wirkung. Auf Basis genetischer, bildgebender und verhaltensbezogener Daten ermöglichen sie eine gerechtere Diagnostik – vorausgesetzt, Bias und Datenlücken werden systematisch adressiert.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/3SliStP>



Mission Possible:

Ein Enzym verlässt den Naturpfad

Helena Schulz-Mirbach, Philipp Wichmann, Ari Satanowski, Max Planck Institute for Terrestrial Microbiology

im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io



© Adobe Stock | 983231935 | titilucida

Erst wurden nur bekannte Bausteine neu zusammengesetzt – jetzt entstehen völlig neue Elemente für den molekularen Werkzeugkasten. Ein Forschungsteam hat ein Enzym konstruiert, das so in der Natur nicht vorkommt, aber neue Reaktionen ermöglicht. Der Weg dahin führte über Reagenzgläser, Bakterien und tausende Varianten. Wie lassen sich biologische Systeme heute bewusst entwerfen – und was kann daraus entstehen?



Helena Schulz-Mirbach

Helena Schulz-Mirbach ist Doktorandin am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie. Zuvor forschte sie u. a. an der Charité in Berlin und am Max-Planck-Institut in Golm mit Fokus auf molekulare Prozesse und synthetische Stoffwechselwege.

Kontakt

helena.schulz-mirbach@

mpi-marburg.mpg.de

www.mpi-marburg.mpg.de

IM+io Euer Projekt beschäftigt sich mit künstlich hergestellten Enzymen, die in der Natur so nicht vorkommen. Könnt ihr zum Einstieg kurz erklären, worum es dabei genau geht – und wie es überhaupt zu diesem Vorhaben gekommen ist?

HSM: Also zur Einordnung: Als der Großteil der Arbeit an dem Projekt gemacht wurde, waren wir alle noch in der Promotion und haben in Gruppen gearbeitet, die sich mit dem Thema nachhaltige Stoffwechselprozesse beschäftigen. Ein großes Ziel in dem Bereich ist es, sogenannte C1-Moleküle wie Kohlenstoffdioxid mithilfe von Mikroorganismen nutzbar zu machen – also CO₂ umzuwandeln und in biologische Prozesse zu integrieren. Dafür braucht man nicht nur Wege, um CO₂ direkt zu fixieren, sondern auch Stoffwechselprozesse, die mit den dabei entstehenden Produkten effizient umgehen können. Das war für uns der Ausgangspunkt für das Projekt.

AS: Genau. Es ging also darum, neue biochemische Lösungen zu finden, mit denen man CO₂ mikrobiell binden und verwerten kann. Was sich in den letzten Jahren gezeigt hat: Es ist möglich, sich neue Stoffwechselwege nicht nur in der Natur abzuschauen, sondern sie gezielt zu entwerfen. Das heißt, wir sind nicht mehr darauf beschränkt, was die Natur uns vorgibt, sondern können selbst Stoffwechselwege designen – quasi am Reißbrett. Und wir werden immer besser darin, das dann auch technisch umzusetzen.

IM+io Was genau kann dieses Enzym – und warum war gerade diese Reaktion so wichtig für euch?

PW: Das Enzym, mit dem wir hier arbeiten, katalysiert eine Reaktion zwischen zwei Molekülen – Lactyl-CoA und 3-Hydroxypropionyl-CoA. Diese Verbindungen kommen so in der Natur entweder gar nicht oder nur sehr selten vor. Das heißt, wir mussten bei null anfangen. Wir haben also nach einem Enzym gesucht, das eine ähnliche Reaktion bereits beherrscht. Das ist unser Ausgangspunkt, von dem aus wir dann mit gezielten Veränderungen weiterarbeiten konnten.

HSM: Das Spannende daran ist, dass viele synthetische Stoffwechselwege heute mit einem zentralen Zwischenprodukt arbeiten: Acetyl-CoA. Das ist ein sogenanntes C2-Produkt. Wie effizient man daraus wiederum Biomasse oder andere Stoffe herstellen kann, hängt stark davon ab, wie viel Energie man investieren muss und wie viele Enzyme beteiligt sind. Bisher war es üblich, vorhandene Enzyme neu zu kombinieren – also das Prinzip:

Man nimmt bekannte Bausteine und setzt sie anders zusammen. Aber jetzt sind wir an dem Punkt, wo wir diese Bausteine selbst verändern oder sogar neu erschaffen können.

AS: Ich nutze da gerne das Bild eines Lego-Baukastens: Früher hat man die vorhandenen Steine neu zusammengesetzt. Inzwischen können wir einzelne Steine auch selbst herstellen oder verändern. Noch sind wir besser darin, vorhandene Bausteine leicht zu modifizieren. Aber es geht in die Richtung, dass wir irgendwann ganze Enzyme von Grund auf neu designen können. Und das erweitert die Möglichkeiten enorm.

Wir sind mittlerweile richtig gut darin, neue Strukturen zu entwerfen, aber viele davon sind dann im Labor nicht aktiv oder nicht stabil.

IM+io Wie genau läuft dieser Design- und Entwicklungsprozess ab?

AS: Wir folgen dabei einer Strategie, die in unserem Labor sehr gut funktioniert hat: Man startet mit dem theoretischen Design – am Computer oder auf dem Papier. Dann testet man die Ideen erst einmal in vereinfachten Systemen. Also nicht direkt in komplexen Organismen wie Pflanzen oder Algen, sondern zunächst in vitro, also im Reagenzglas. Da arbeiten wir mit gereinigten Enzymen und Chemikalien. Der Vorteil ist, dass wir sehr viel mehr Kontrolle über die Reaktion haben.

PW: Wenn man dann ein funktionierendes System gefunden hat, geht man den nächsten Schritt und testet das Ganze in lebenden Zellen – meist in Bakterien wie Escherichia coli, die sich sehr gut genetisch verändern lassen. Dadurch kann man viele Varianten schnell

durchprobieren. Und erst wenn auch das funktioniert, kann man den Stoffwechselweg in komplexere Systeme übertragen.

IM+io Wie bringt ihr gezielt Veränderungen in die Enzyme ein?

PW: Enzyme bestehen aus Aminosäuren – insgesamt gibt es zwanzig verschiedene. Man kann sich das Enzym wie einen Ball vorstellen, in dessen Innerem die Katalyse stattfindet. Wenn man eine Aminosäure an einer bestimmten Stelle austauscht, kann das die Funktion beeinflussen – positiv, negativ oder gar nicht. Entscheidend ist, wo genau im Enzym man diese Veränderungen vornimmt. Wir schauen uns also verschiedene Stellen an, tauschen einzelne Aminosäuren aus und beobachten, wie sich das Enzym danach verhält.

HSM: Das Problem ist: Wir wissen bislang nur sehr eingeschränkt, welche Aminosäure an welcher Stelle für welche Funktion verantwortlich ist. Wir sind mittlerweile richtig gut darin, neue Strukturen zu entwerfen, aber viele davon sind dann im Labor nicht aktiv oder nicht stabil. Das bedeutet, wir müssen viele Varianten durchprobieren, ohne vorher genau zu wissen, welche tatsächlich funktioniert. Deshalb setzen wir auf sogenannte Hochdurchsatzverfahren – also Methoden, mit denen wir Tausende von Enzymvarianten schnell testen können.

IM+io Ihr habt erwähnt, dass ihr auch lebende Zellen zum Screening nutzt. Wie funktioniert das genau?

HSM: Wir haben Zellen so konstruiert, dass sie nur dann überleben können, wenn das Enzym funktioniert – also genau die gewünschte

Reaktion ausführt. Wenn in einer Zellpopulation eine Variante etwas besser funktioniert, wird diese Zelle bevorzugt wachsen und sich durchsetzen. Das ist ein Prinzip, das man als Laborevolution kennt. Damit konnten wir unseren Enzympool effektiv filtern und diejenigen Varianten herausfinden, die tatsächlich eine verbesserte Aktivität zeigen.

IM+io Inwieweit nutzt ihr Künstliche Intelligenz in diesem Prozess?

HSM: In diesem konkreten Projekt nur sehr begrenzt. Das Enzym, mit dem wir gearbeitet haben, war noch nicht strukturell charakterisiert. Wir haben AlphaFold genutzt, ein KI-basiertes Programm zur Strukturvorhersage, um eine mögliche Struktur zu generieren. Aber wir konnten daraus keine direkten Schlüsse ziehen, warum bestimmte Veränderungen die Funktion beeinflussen.

AS: Trotzdem ist das schon ein massiver Fortschritt. Noch vor ein paar Jahren war so etwas überhaupt nicht möglich. Heute ist AlphaFold ein Standardwerkzeug geworden, das uns dabei hilft, überhaupt erst ein Bild davon zu bekommen, wie ein Protein aussieht. Die Nutzung von KI im Designprozess nimmt aber gerade rasant zu. Es kommen jeden Monat neue Methoden auf, und es wird immer mehr zur Routine. Gerade für den Einstieg in neue Systeme bietet KI oft erste wertvolle Hinweise, wo es sich lohnt, genauer hinzusehen.

PW: Langfristig wird KI eine große Rolle dabei spielen, um sogenannte Hotspots in Enzymen vorherzusagen – also Stellen, die auch außerhalb des aktiven Zentrums einen Einfluss auf die Funktion haben. Aber



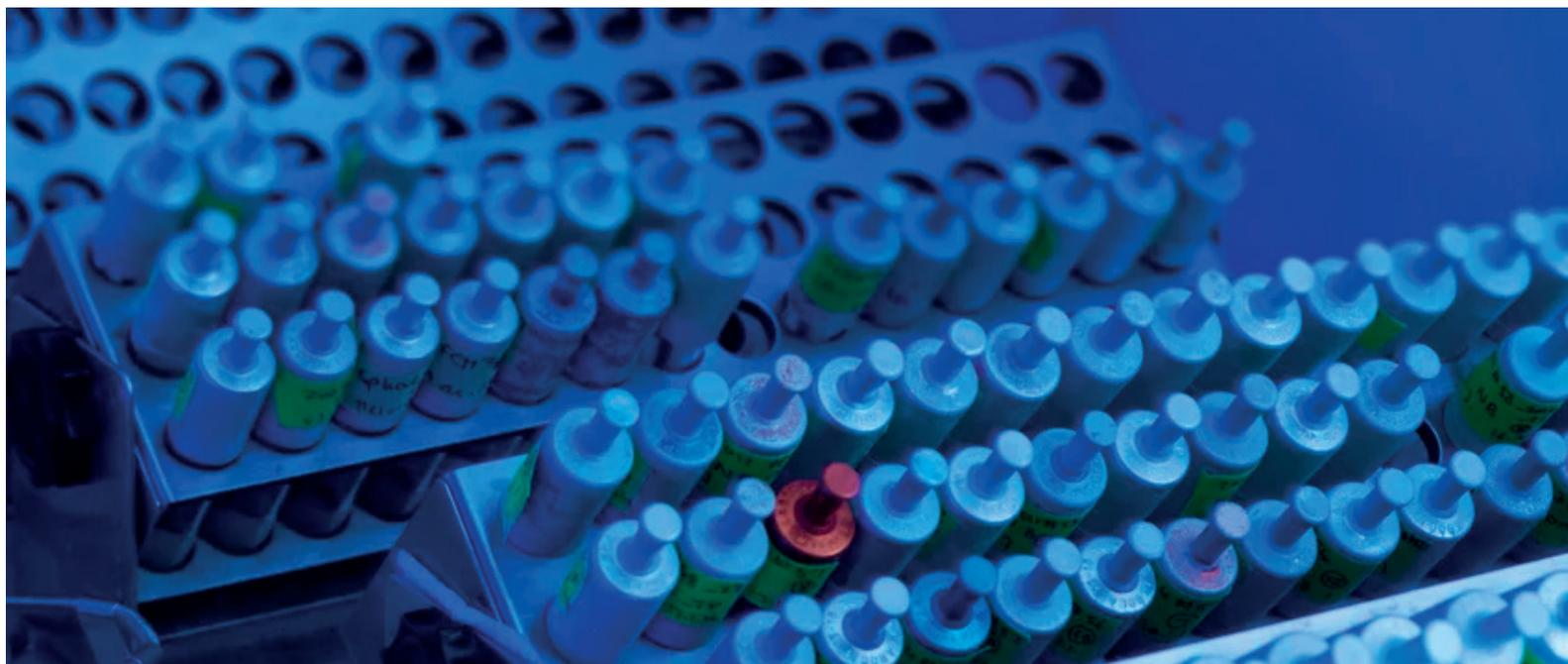
Philipp Wichmann

Philipp Wichmann ist Doktorand am Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie. Zuvor sammelte er Forschungserfahrung in der Biochemie an der FAU Erlangen und im Bereich synthetischer Stoffwechsel am Max-Planck-Institut in Potsdam.

Kontakt

philipp.wichmann@
mpi-marburg.mpg.de
www.mpi-marburg.mpg.de

Abbildung 1: Erzeugung verschiedener Mutationen. (Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie/ Foto: Gina Bolle)





Ari Satanowski

Ari Satanowski ist Postdoc am Francis Crick Institute in London und forscht im Bio-Design Lab zu Directed Evolution und Phagen-basierten Methoden. Zuvor arbeitete er im Bereich synthetischer Stoffwechsel am Max-Planck-Institut in Marburg und Potsdam.

Kontakt

ari.satanowski@gmail.com
www.crick.ac.uk

aktuell betrachten wir die Vorschläge aus solchen Modellen noch mit Vorsicht und überprüfen sie nach Möglichkeit experimentell.

IM+io Wie ist euer Team für so ein interdisziplinäres Projekt aufgestellt?

PW: In unserem Fall war es eine Zusammenarbeit zwischen zwei Instituten: dem Max-Planck-Institut in Marburg und dem Institut für Molekulare Pflanzenphysiologie in Potsdam. Helena und ich hatten jeweils unterschiedliche Expertisen – in vivo bei den Zellen und in vitro bei der Biochemie. Durch diese Kombination konnten wir viel effizienter arbeiten.

HSM: Die Max-Planck-Struktur hilft da ungemein, weil es viele Institute mit unterschiedlichen Schwerpunkten gibt. Das macht interdisziplinäre Zusammenarbeit einfacher. Und natürlich hat sich auch insgesamt in der Forschung vieles verändert – man ist besser vernetzt, kann online kommunizieren und internationale Teams sind längst Normalität geworden.

IM+io Langfristig geht es ja darum, nachhaltige Biokunststoffe zu ermöglichen. Wie weit seid ihr da aktuell?

HSM: Unser Enzym funktioniert theoretisch in zwei Richtungen. Die eine Richtung könnte dazu beitragen, CO₂ effizienter zu fixieren. Die andere Richtung stellt ein Molekül her, das als Vorläufer für Bioplastik genutzt werden kann. Das Potenzial ist also da, aber das Enzym muss noch schneller werden, damit es tatsächlich in der Praxis Anwendung findet.

PW: In der Industrie werden schon heute einige biotechnologisch hergestellte Stoffe produziert. Was noch fehlt, ist die Nutzung von CO₂ als Rohstoff. Das wird sicher noch

eine Weile dauern, bis es wirtschaftlich sinnvoll möglich ist. Aber die Forschung geht klar in diese Richtung.

AS: Unser Projekt zeigt vor allem auch, dass der gewählte Workflow – von der Theorie über das Reagenzglas bis in lebende Systeme – funktioniert. Wenn dieser Ansatz weiterverbreitet wird, können andere Forschungsgruppen und Unternehmen ihn übernehmen und für ihre eigenen Ziele nutzen.

IM+io Gab es in eurer Arbeit etwas, das euch überrascht hat?

HSM: Ja, definitiv. Zum Beispiel, welche Aminosäureveränderungen am Ende wirklich zu einer Verbesserung der Enzymaktivität geführt haben. Die lagen an Stellen, an denen wir das nie erwartet hätten – also weit entfernt vom aktiven Zentrum. Das zeigt nochmal, wie wenig wir bisher über die genauen Zusammenhänge in einem Enzym wissen.

PW: Das war für uns ein Aha-Moment: Es gibt offensichtlich funktionelle Zusammenhänge, die man nicht allein durch Anschauen der Struktur erkennen kann. Solche Daten sind extrem wertvoll – auch, um KI-Modelle in Zukunft besser trainieren zu können.

IM+io Kann es bei künstlich geschaffenen Stoffwechselwegen auch unerwartete Nebeneffekte geben?

AS: Auf jeden Fall. Je mehr Nebenprodukte ein künstlicher Stoffwechselweg erzeugt, desto schlechter funktioniert er meist. Das ist also nicht nur ein potenzielles Risiko für spätere Anwendungen, sondern auch direkt ein Problem in der Forschung. Deshalb testen wir neue Systeme zunächst in sehr kontrollierten, vereinfachten

Abbildung 2: Umwandlung von Kohlendioxid (CO₂). (Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie/ Foto: Virginia Geisel)



Umgebungen. Das gibt uns die Möglichkeit, Reaktionen frühzeitig zu bewerten und problematische Effekte direkt auszuschließen.

HSM: Unsere Screening-Methode hilft genau da: Nur wenn das Enzym genau die gewünschte Reaktion ausführt, wächst die Zelle. So beugen wir unerwünschten Nebenreaktionen gezielt vor.

IM+io Eure Strategie vom theoretischen Entwurf bis zur Umsetzung in lebenden Zellen wirkt sehr strukturiert. Lässt sich dieser Workflow auch auf andere Enzyme oder Stoffwechselprozesse übertragen – oder ist er stark auf diesen Einzelfall zugeschnitten?

AS: Ganz im Gegenteil – für uns war gerade wichtig zu zeigen, dass dieser Ansatz wiederholbar funktioniert. Die Struktur, also vom Design über die Reagenzglasphase bis hin zur Validierung in lebenden Zellen, lässt sich sehr gut auch auf andere Projekte anwenden. Wir hoffen sogar, dass sich genau dieser Workflow künftig in anderen Gruppen oder auch Start-ups etabliert. Er schafft Klarheit, ist effizient – und senkt die Einstiegschürde für neue Ideen enorm.

IM+io Ist euer Projekt zeitlich begrenzt?

PW: In diesem speziellen Fall nicht. Klar, im Forschungskontext gibt es oft Projektlaufzeiten oder befristete Verträge, aber hier war das Projekt Teil unserer jeweiligen Promotionsarbeiten. Und da gibt es natürlich individuelle Zeitrahmen, meis-

tens zwischen drei und viereinhalb Jahren.

AS: Man kann das Projekt aber auch als Teil einer größeren, fortlaufenden Initiative sehen. Die Erkenntnisse daraus fließen in andere Projekte ein und helfen dabei, neue Ansätze zu entwickeln. Insofern: Ja, es gibt zeitliche Rahmen – aber der übergeordnete Forschungsansatz ist eher langfristig gedacht.

IM+io Wo soll die weitere Reise hingehen – persönlich wie fachlich?

HSM: Ich arbeite aktuell verstärkt an der direkten CO₂-Assimilation und wünsche mir, dass wir es schaffen, synthetischen Stoffwechsel und CO₂-Fixierung noch enger zu verzahnen. Mein Ziel ist es, neue Wege zu finden, wie wir synthetischen Stoffwechsel schneller implementieren können.

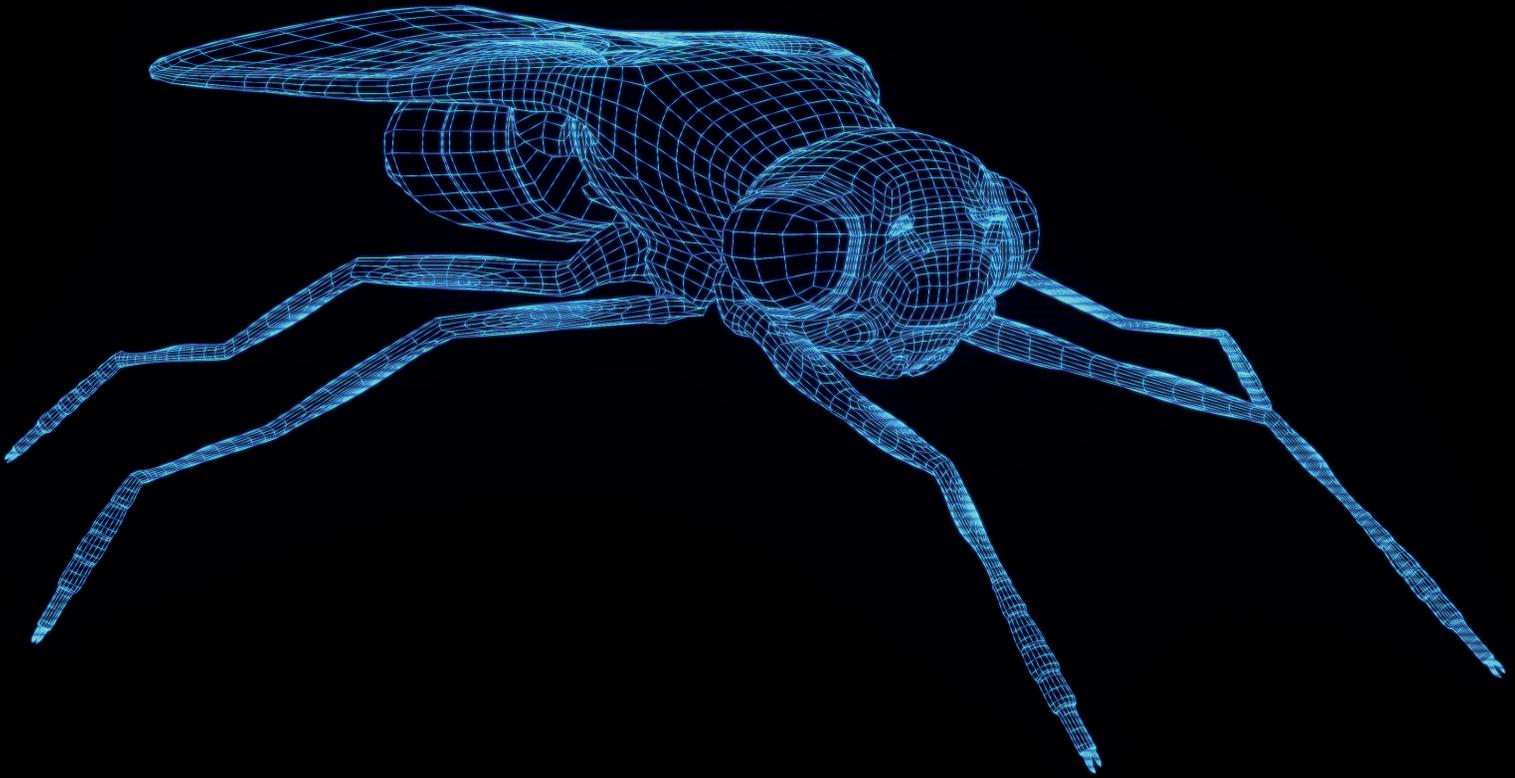
PW: Ich hoffe, dass wir das Enzym weiter verbessern können – so sehr, dass es tatsächlich in der Praxis anwendbar wird. Vielleicht sogar so weit, dass Organismen daraus Biomasse auf CO₂-Basis herstellen können – ähnlich wie Pflanzen, nur schneller und effizienter.

AS: Ich sehe mich auch langfristig in der Forschung. Mich interessiert besonders, wie man interdisziplinäre Teams aufbaut und damit echte Innovation vorantreibt. Perspektivisch kann ich mir auch gut vorstellen, den Sprung in die Anwendung zu wagen – also an einer Ausgründung mitzuarbeiten und wissenschaftliche Ideen in die reale Welt zu bringen. ■

Noch sind wir besser darin, vorhandene Bausteine leicht zu modifizieren. Aber es geht in die Richtung, dass wir irgendwann ganze Enzyme von Grund auf neu designen können.

Kurz und Bündig

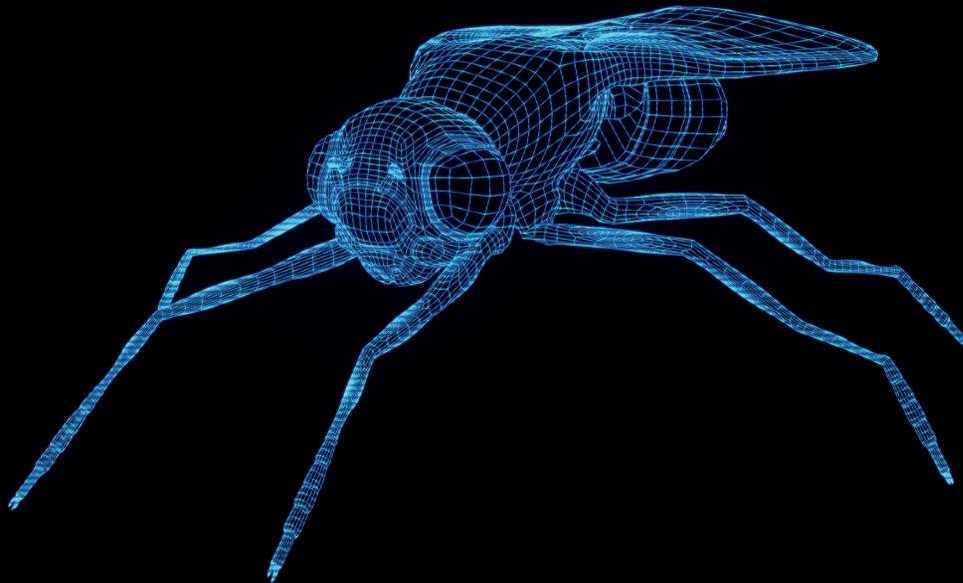
Ein Forschungsteam hat ein Enzym entwickelt, das eine Reaktion zwischen Lactyl-CoA und 3-Hydroxypropionyl-CoA katalysiert – eine Reaktion, die in natürlichen Systemen nicht vorkommt. Grundlage war ein vorhandenes Enzym, das durch gezielte Mutationen modifiziert wurde. Mithilfe von Laborevolution in lebenden Zellen konnten aktive Varianten identifiziert und optimiert werden. Ziel ist es, damit CO₂ effizienter zu fixieren oder Vorprodukte für Bioplastik herzustellen.



Digitalisierung als Wachstumstreiber für aufstrebende Märkte

Urs Liebau, Jana Smolka, Tom Patzwald, August-Wilhelm Scheer Institut

Es riecht nach feuchtem Substrat, das Summen ist kaum hörbar – und doch entsteht hier etwas, das unseren Blick auf Nahrung verändern könnte. Zwischen Engpässen in der Landwirtschaft und wachsender Nachfrage drängt eine Frage nach vorn: Wie lässt sich Ernährung zukunftsfähig gestalten, ohne die Belastungsgrenzen des Planeten weiter zu strapazieren?



Urs Liebau

Urs Liebau ist Experte für das Softwareasset Grow Detect AI und spricht als Keynote-speaker bei Konferenzen wie der „Insecta“ über KI in der Insektenindustrie. Am AWSi entwickelt er seit 3 Jahren Software für Biodiversität und alternative Proteinquellen mit Industriepartnern.

Kontakt

urs.liebau@aws-institut.de
www.aws-institut.de

© Adobe Stock | 165896991 | bombastc80

Bis zum Jahr 2050 wird die Weltbevölkerung voraussichtlich auf über 9,7 Milliarden Menschen anwachsen. Diese demografische Entwicklung stellt das bestehende globale Ernährungssystem vor immense Herausforderungen. Es gilt nicht nur, mehr Menschen zu ernähren, sondern dies auch auf eine Weise zu tun, die mit den planetaren Grenzen im Einklang steht – also unter Schonung von Ressourcen und Reduktion ökologischer Schäden.

Bereits heute ist die Nachfrage nach Protein hoch – und sie steigt weiter. Laut International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF) könnte der globale Proteinbedarf bis 2030 um bis zu 72 Prozent zunehmen (1). Die derzeitige Nutztierhaltung verursacht jedoch rund 20 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen und trägt erheblich zu Umweltproblemen wie Entwaldung, Überdüngung und Wasserknappheit bei (2). Gleichzeitig ist Lebensmittelverschwendung ein

strukturelles Problem: In Deutschland allein entstehen jährlich rund 11 Millionen Tonnen Lebensmittelabfälle (3).

Die Lösung kann nicht allein in der Ausweitung traditioneller Produktionsmethoden liegen. Denn schon heute trägt unsere Ernährung zu etwa einem Drittel der globalen Treibhausgasemissionen bei (4). Zudem verschärfen der hohe Flächenverbrauch – insbesondere für Futtermittel – und die intensive Tierhaltung den Verlust von Biodiversität in alarmierendem Ausmaß (5).

Der wachsende Markt für alternative Proteine

Alternative Proteinquellen gelten als Schlüsselkomponente für eine nachhaltigere Lebensmittelversorgung. Insbesondere Insekten rücken zunehmend in den Fokus: Sie benötigen weniger Platz, Wasser und Energie als Rinder oder



Jana Smolka

Jana Smolka ist seit Ende 2024 am Center for Digital GreenTech des August-Wilhelm Scheer Instituts tätig und hat die Entwicklungen von Grow Detect AI unterstützt. Sie bringt fundierte Expertise im Bereich alternativer Proteine mit.

Kontakt

jana.smolka@

aws-institut.de

www.aws-institut.de

Schweine. Der Vergleich ist eindrucksvoll: Für ein Kilogramm Protein verbraucht eine Kuh rund 30.000 Liter Wasser und verursacht fast drei Kilogramm Treibhausgasemissionen. Insekten dagegen benötigen lediglich 15 Liter Wasser und verursachen nur zwei Gramm Emissionen (6, 7). Auch bei der Flächennutzung ergibt sich ein drastischer Unterschied: Während Kühe 250 Quadratmeter Fläche pro Kilogramm Protein benötigen, reichen Insekten bereits 15 Quadratmeter (6).

Diese Effizienzvorteile könnten genutzt werden, um sowohl ökologische Belastungen zu verringern als auch die Resilienz des globalen Ernährungssystems zu stärken. Doch bislang wird das Potenzial alternativer Proteine nicht ausgeschöpft – unter anderem wegen fehlender digitaler Lösungen in der Produktion und mangelnder Transparenz für Konsumierende.

Nachhaltigkeit beginnt mit Information – und endet mit intelligenten Entscheidungen.

Der Engpass in der Produktion: Digitalisierung und Skalierbarkeit fehlen

Obwohl die Insektenzucht ein hohes Potenzial für Skalierbarkeit bietet, sind viele Prozesse noch manuell und ineffizient. Gerade in der Frühphase der Entwicklung alternativer Proteinmärkte dominieren kleinere Betriebe mit eingeschränkten Ressourcen. Dies hemmt nicht nur die Expansion, sondern führt auch zu höheren Kosten – etwa bei Heimtierfutter auf Insektenbasis, das häufig teurer ist als konventionelle Produkte.

Die Produktion leidet zudem unter einem Mangel an präzisen Planungsinstrumenten: In der industriellen Insektenzucht schwankt die Zahl der geschlüpften Larven pro Gramm Ei zwischen 30.000 und 50.000 Tieren. Diese Unschärfe erschwert die genaue Berechnung von

Futtermenge, Platzbedarf und klimatischen Bedingungen. Da die Larven innerhalb weniger Wochen das 200-Fache ihres Gewichts erreichen, ist ein präziser Startpunkt für die Zucht von zentraler Bedeutung.

Grow Detect AI: Ein Technologiesprung für die Insektenproduktion

An dieser Stelle setzt die Lösung des August-Wilhelm Scheer Instituts an: Grow Detect AI. Gemeinsam mit der FarmInsect GmbH wurde speziell das InsectCounting-System entwickelt, das auf Künstlicher Intelligenz, Sensorik und digitaler Infrastruktur basiert. Darüber hinaus adressiert Grow Detect AI mit eigenständig entwickelten Modulen wie Insectpassport und Acoustic AI die weiteren Herausforderungen in Transparenz und Nachhaltigkeit.

1. InsectCounting: Automatisiertes Zählen für maximale Effizienz

Die von Grow Detect AI entwickelte Lösung InsectCounting nutzt Bilderkennungsalgorithmen in Kombination mit moderner Bildsensorik, um die exakte Anzahl an geschlüpften Larven zu erfassen. Die Zählung erfolgt vollautomatisiert direkt nach dem Schlüpfen. So können Futterpläne präzise angepasst, Raumnutzung optimiert und klimatische Steuerungssysteme zielgerichtet betrieben werden. Ergebnis: höhere Effizienz, geringere Betriebskosten und deutlich weniger Ressourcenverschwendung.

2. Insectpassport: Vertrauen durch digitale Transparenz

Technologische Effizienz allein reicht nicht aus – auch das Vertrauen der Konsumierenden muss gewonnen werden. Insbesondere im sensiblen Bereich der alternativen Proteine ist Transparenz ein zentrales Kriterium für Akzeptanz. Genau hier kommt der digitale Insectpassport zum Einsatz.

Basierend auf Blockchain-Technologie wird eine manipulationssichere Dokumentation aller relevanten Produktionsschritte erstellt. Informationen über Herkunft, Fütterung, Hygienestandards und Verarbeitung sind jederzeit abrufbar – für alle Beteiligten entlang der Lieferkette. Die Technologie schafft Vertrauen, erhöht die Rückverfolgbarkeit und setzt neue Standards für Lebensmittelsicherheit.

3. Acoustic AI: Monitoring für Artenschutz und Forschung

Ursprünglich für die Insektenproduktion entwickelt, lassen sich die Technologien von Grow Detect AI auch in anderen Kontexten anwenden – etwa im Biodiversitätsmonitoring. Die akustikbasierte Komponente „Acoustic AI“ ermöglicht es, Populationen von Fluginsekten in Echtzeit und vollkommen nicht-invasiv zu überwachen. Mikrofone erfassen die artspezifischen Fluggeräusche oder Rufmuster, die von Künstlicher Intelligenz analysiert und interpretiert werden. So lassen sich Rückschlüsse auf Populationsgrößen und Veränderungen ziehen – eine zentrale Voraussetzung für effektiven Artenschutz.

Laut einer Studie von Hallmann et al. (2017) hat die Biomasse von Fluginsekten in den untersuchten Gebieten in den letzten 27 Jahren um rund 75 Prozent abgenommen (9). Die frühzeitige Erkennung solcher Entwicklungen kann helfen, den Rückgang von Insektenbeständen rechtzeitig zu stoppen.

Vom Prototyp zum Systemwandel: Wo Technologie auf Nachhaltigkeit trifft

Grow Detect AI ist mehr als nur eine Technologieplattform – es ist ein ganzheitliches Konzept für ein neues Verständnis von Lebensmittelproduktion. Durch die Integration von Künstlicher Intelligenz, Blockchain und akustischer Sensorik entstehen Systeme, die sowohl ökonomischen als auch ökologischen Mehrwert bieten.

Das Potenzial im Markt ist enorm: Laut Prognosen wird sich das Marktvolumen für Insektenprotein von 1,37 Milliarden US-Dollar im Jahr 2025 auf etwa 2,39 Milliarden US-Dollar im Jahr 2030 fast verdoppeln (8). Die Technologien von Grow Detect AI helfen dabei, diesen Wachstumsmarkt nicht nur wirtschaftlich, sondern auch verantwortungsvoll zu gestalten.

Regulatorische Rahmenbedingungen und gesellschaftliche Debatte: Was alternative Proteine (noch) ausbremst

Trotz technologischer Fortschritte und ökologischer Vorteile stehen alternative Proteine weiterhin im Spannungsfeld zwischen Innovation und Regulierung. In vielen Ländern – auch innerhalb der Europäischen Union – herrscht Unsicherheit darüber, wie Insektenprodukte

rechtlich eingeordnet werden sollen. Während einige Staaten bereits klare Zulassungsverfahren etabliert haben, befinden sich andere noch in frühen Diskussionsphasen.

Zudem ist die gesellschaftliche Debatte um den Konsum von Insektenprotein stark kulturell geprägt. Zwar steigt die Akzeptanz langsam, doch vor allem in westlichen Ländern bestehen weiterhin psychologische Barrieren gegenüber dem Verzehr von Insekten. Hier kommt der Wert digitaler Transparenzsysteme wie dem Insectpassport besonders zum Tragen: Wenn Konsumierende nachvollziehen können, wie, wo und unter welchen Bedingungen ein Produkt hergestellt wurde, sinkt die Hemmschwelle. Wissenschaftliche Studien zeigen, dass Transparenz in der Produktion das Vertrauen in neue Lebensmittel signifikant erhöht – insbesondere dann, wenn Nachhaltigkeit als Wert vermittelt wird.

Darüber hinaus spielt auch die politische Förderung eine entscheidende Rolle. Förderprogramme, steuerliche Anreize oder der Abbau bürokratischer Hürden könnten die Entwicklung nachhaltiger Proteinquellen erheblich beschleunigen. Hier sind nicht nur Technologietreibende gefragt, sondern auch Politik und Gesellschaft als gemeinsame Gestalterinnen eines resilienten Ernährungssystems. ■



Tom Patzwald

Tom Patzwald studiert zurzeit an der Leuphana Universität Lüneburg Umweltwissenschaften und Betriebswirtschaftslehre. Seit 2025 ist er am August-Wilhelm Scheer Institut beschäftigt und unterstützt den Bereich „Digital Green Tech“.

Kontakt

tom.patzwald@aws-institut.de
www.aws-institut.de

Kurz und Bündig

Die Nachfrage nach Protein steigt weltweit stark an – bis 2030 um bis zu 72 Prozent (1). Gleichzeitig verursacht die Nutztierhaltung rund 20 Prozent der globalen Treibhausgase (2). Insekten als alternative Proteinquelle sind deutlich ressourcenschonender: Sie brauchen weniger Fläche, Wasser und erzeugen kaum Emissionen (6,7). Digitale Technologien wie automatisiertes Zählen, transparente Lieferketten und akustisches Monitoring ermöglichen Skalierbarkeit und Nachhaltigkeit in der Produktion.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/4m3Xd75>

Futter aus dem Ferment: Der Weg vom Bakterienstamm zum Proteinpulver

Julian Schildknecht, MicroHarvest im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Wenn Mikroorganismen zu Kraftpaketen werden, braucht es keinen Stall, kein Feld und kaum Zeit – nur clevere Prozesse und einen Blick fürs Wesentliche. Was wäre, wenn hochwertiges Eiweiß binnen eines Tages produziert werden könnte, fast ohne Ressourcenverbrauch – und mit echtem Skalierungspotenzial für Mensch und Tier?



IM+io Was ist MicroHarvest – und wie ist die Idee dazu entstanden?

JS: MicroHarvest gibt es aus einem einfachen, aber dringenden Grund: Die Welt braucht neue, bessere Proteinquellen. Wir steuern geradewegs auf eine globale Proteinlücke zu – nicht nur beim Menschen, sondern auch in der Tierernährung. Bestehende Optionen wie Fleisch sind nicht nur ressourcenintensiv, sondern auch zunehmend teuer und unzuverlässig. Pflanzenbasiertes Protein ist zwar populär, hat aber in Sachen Nährwert und Verdaulichkeit seine Grenzen. Insekten wiederum sind interessant, aber schwer skalierbar.

Wir bei MicroHarvest setzen deshalb auf Fermentation. Genauer gesagt: Wir nutzen Mikroorganismen als kleine Protein-Powerhouses. Sie wachsen extrem schnell, benötigen kaum Ressourcen und sind unabhängig von klimatischen oder geopolitischen Faktoren. Das Ziel ist, eine skalierbare, nachhaltige und verlässliche Proteinquelle aufzubauen – mit möglichst geringem ökologischem Fußabdruck. Gegründet wurde MicroHarvest von Katelijne Bekers, Luisa Cruz und Jonathan Roberz. Katelijne bringt einen dualen Background aus Wissenschaft und Business mit, Luisa hat über zehn Jahre Erfahrung in der Konzernforschung, und Jonathan kommt aus dem Operations-Bereich. Ich selbst bin vor rund einem Jahr dazugekommen – genau zu dem Zeitpunkt, als das Produkt marktreif wurde und meine Aufgabe ist es nun, es erfolgreich in den Markt zu bringen.

IM+io Sie haben es schon angedeutet – der Prozess basiert auf Fermentation. Wie funktioniert das genau?

JS: Der Prozess ist im Prinzip vergleichbar mit der Herstellung von Bier oder Joghurt, nur dass wir ihn für eine ganz andere Mission nutzen. Wir arbeiten mit einer Datenbank natürlicher Bakterienstämme, die wir isolieren und auf spezifische Eigenschaften screenen: Sie müssen unter unseren Prozessbedingungen gedeihen und ein Produkt mit hohem Proteingehalt sowie funktionalen Eigenschaften liefern – zum Beispiel Verdaulichkeit oder Palatabilität. Dabei setzen wir keine Gentechnik ein – alles bleibt natürlich. Zwei Stämme haben sich als besonders geeignet herausgestellt: Die wachsen rasend schnell und bringen einen Proteingehalt von über 60 Prozent mit – inklusive wertvoller Vitamine und Mineralstoffe.

Diese Bakterien füttern wir in großen Bioreaktoren – vom halben Liter im Labor bis hin zu industriellen Maßstäben mit bis zu 30.000 Litern. Als Nährstoffquelle dient ein Nebenprodukt aus der Agrarindustrie, zum Beispiel Melasse.

Hinzu kommen Stickstoff und eine präzise Prozesssteuerung – also das richtige Timing, wann welche Komponenten beigemischt werden. Innerhalb von nur 24 Stunden wandeln wir das Ganze in ein hochwertiges Pulver um – das eigentliche Produkt, ein deaktivierter Zellmix mit exzellentem Nährwertprofil.

Innerhalb von nur 24 Stunden wandeln wir das Ganze in ein hochwertiges Pulver um – das eigentliche Produkt, ein deaktivierter Zellmix mit exzellentem Nährwertprofil.

IM+io Nur 24 Stunden – das ist unglaublich schnell. Woran liegt das?

JS: Das liegt an zwei Dingen: an den Mikroorganismen selbst und an unserem besonders schlanken Verarbeitungsprozess. Die Bakterien sind sehr schnell wachsend – das ist ihr natürlicher Vorteil. Aber auch unsere Verarbeitung ist minimalinvasiv. Wir nennen das „Minimal Process“: Wir separieren die Zellen vom Wasser, deaktivieren sie durch Hitze, trocknen sie – fertig. Keine komplexe chemische Nachbehandlung, kein Overengineering.

Das Ganze ist so effizient, dass wir mit unserem Verfahren einen Bruchteil der Ressourcen brauchen – im Vergleich zu Fleischproduktion etwa 98 Prozent weniger CO₂. Und auch im Vergleich zu pflanzlichen Alternativen



Julian Schildknecht

Julian Schildknecht ist Growth- und Markenstrategie mit über 10 Jahren Erfahrung in B2B- und Deep-Tech-Unternehmen. Angetrieben von der Vision, Europas Tech-Potenzial in marktfähige Innovationen zu überführen, leitet er bei MicroHarvest das Marketing und die Go-to-Market-Strategie, um das Unternehmen von F&E zum Markterfolg zu führen.

Kontakt

julian.schildknecht@

microharvest.com

www.microharvest.com

sind wir zwei- bis dreimal besser, was den ökologischen Fußabdruck betrifft.

IM+io Wie unterscheidet sich euer Produkt konkret von anderen Proteinquellen wie Soja, Insekten oder Algen?

JS: Wir unterscheiden uns auf mehreren Ebenen. Erstens in der Nährstoffdichte: Unser Protein hat über 60 Prozent Proteingehalt und ist sehr gut verdaulich – das konnten wir in ersten Studien, etwa bei Hunden, bereits nachweisen. Viele pflanzliche Alternativen wie Soja kommen da nicht ran.

Zweitens im Geschmack: Unser Protein bringt einen natürlichen Umami-Flavor mit – leicht würzig, ein bisschen BBQ-Style. Das ist gerade in der Tiernahrung ein Vorteil. In Tests konnten wir zeigen, dass selbst Katzen – die als extrem wählerisch gelten – unser Protein anderen Produkten vorziehen.

Drittens: die Skalierbarkeit. Viele alternative Proteine, etwa Insekten, sind in der Theorie spannend, aber in der Praxis schwer gleichbleibend zu produzieren. Bei uns ist die Qualität konstant – Batch für Batch. Das ist für die Industrie ein echtes Argument.

Die Welt braucht neue, bessere Proteinquellen.

IM+io Ihr habt bereits eine Pilotanlage in Portugal. Warum dort?

JS: Das hat sich aus mehreren Gründen ergeben. Luisa, unsere CTO, lebt in Portugal – sie war von Anfang an dabei. Außerdem gibt es dort exzellente Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, die uns beim Aufbau helfen konnten. Auch politisch ist das Umfeld innovationsfreundlich. Portugal investiert stark in Zukunftstechnologien, und das merken wir auch bei der Zusammenarbeit mit Behörden und Partnerinstitutionen. Portugal war von Anfang an Teil unserer Struktur – und das mit gutem Grund: Unsere CTO lebt dort, und wir konnten auf ein starkes Netzwerk aus Wissenschaft

und innovationsfreundlicher Politik zurückgreifen. Zwei Standorte sind für uns kein Nachteil, sondern Teil unserer DNA. Wir haben von Beginn an Prozesse und Strukturen so aufgebaut, dass internationale Zusammenarbeit selbstverständlich ist. Das macht uns skalierbar – und zukunftsfähig.

IM+io Sie haben den Screening-Prozess erwähnt. Welche Rolle spielt KI dabei?

JS: Eine große. Wir arbeiten zum Beispiel mit Universitäten zusammen, um unsere Bakterienstämme zu screenen – und setzen dabei auch KI-gestützte Analyseverfahren ein. Gerade bei Deep Research und beim Screening neuer Stämme hilft uns KI, schneller Zusammenhänge zu erkennen und Prozesse zu beschleunigen.

Auch bei der Studienvorbereitung, zum Beispiel bei Verträglichkeitsstudien oder dem Entwickeln neuer Rezepturen, setzen wir KI ein. Unser Team trifft sich regelmäßig, um zu prüfen, wie wir KI noch besser in unsere Prozesse integrieren können – sei es in der Forschung, im Vertrieb oder im Marketing.

KI ist für uns ein echter Enabler – gerade, weil wir ein kleines Team sind und unsere Ressourcen gezielt einsetzen müssen. Durch intelligente Assistenzsysteme können wir einfach schneller lernen und agiler bleiben.

IM+io Und wie läuft die Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen konkret ab?

JS: Wir arbeiten mit mehreren Universitäten zusammen – unter anderem in Wageningen (Niederlande), in Nottingham (UK) und mit einer osteuropäischen Uni, die auf Screening spezialisiert ist. Es ist meistens ein On-Demand-Modell: Wenn wir einen neuen Stamm brauchen oder eine spezielle Fragestellung haben, gehen wir gezielt auf unsere Partner zu. In Nottingham läuft zum Beispiel eine größere Studie zu Geschmack und Verdaulichkeit bei Haustieren. Mit Wageningen haben wir Studien zur Akzeptanz bei Hunden durchgeführt – also ganz konkret im Bereich Hundefutter. Wir versuchen, möglichst effizient zu sein – und nutzen dafür gezielt externe Expertise, wo sie am besten passt. Das ermöglicht uns, trotz begrenzter Ressourcen auf einem sehr hohen Niveau zu arbeiten.

IM+io Derzeit liegt euer Fokus auf Tiernahrung. Plant ihr, auch in andere Märkte zu expandieren?

JS: Ja, absolut – aber Schritt für Schritt. Im Moment fokussieren wir uns auf zwei große Märkte: Pet Food (insbesondere Hunde- und Katzenfutter) und Aquakultur, also die Fütterung von Lachs und Garnelen. Hier sehen wir die größte Nachfrage und haben bereits Zulassungen, etwa in der EU.

Für die menschliche Ernährung arbeiten wir bereits am Zulassungsverfahren, aber das dauert naturgemäß länger – wir rechnen mit zwei bis drei Jahren, bis wir dort richtig loslegen können. Das Produkt selbst ist dafür vorbereitet, aber regulatorisch braucht es eben Zeit.

Kosmetik oder medizinische Anwendungen sind für uns aktuell kein Thema – wir konzentrieren uns ganz klar auf Tier- und menschliche Ernährung. Unsere Priorität liegt jetzt darauf, unsere Produktionskapazität auszubauen und unsere Position im Proteinmarkt zu stärken.

Unser Verfahren braucht im Vergleich zur Fleischproduktion etwa 98 Prozent weniger CO₂ – und ist auch im Vergleich zu pflanzlichen Alternativen zwei- bis dreimal besser.

IM+io Wo liegen aktuell eure größten Herausforderungen und wie geht ihr damit um?

JS: Die Technik funktioniert – wir wissen, wie es geht, wir haben die Produktqualität, und das Marktfeedback ist sehr positiv. Die größte Herausforderung ist die indirekte Steuerung über externe Produktionspartner – die verlängerten Entscheidungswege machen es manchmal schwer,

schnell zu reagieren. Deshalb bauen wir zurzeit unsere erste eigene Fabrik auf.

Wir arbeiten aktuell mit einem großen Lohnherstellenden zusammen – das gibt uns vor allem Geschwindigkeit, um schneller am Markt zu sein, als wenn wir direkt selbst skalieren würden. Wir arbeiten gegenwärtig daran, unsere erste eigene Fabrik zu bauen – mit einer Kapazität von rund 15.000 Tonnen. Wenn das erreicht ist, haben wir volle Kontrolle über Qualität, Timing und Skalierung.

IM+io Was ist eure Vision – und Ihre ganz persönliche?

JS: Unsere Vision ist klar: Wir wollen eine der weltweit führenden und zuverlässigsten Proteinquellen der Zukunft werden. Es geht nicht nur darum, ein gutes Produkt zu liefern – es geht darum, mitzuhelfen, den weltweiten Proteinbedarf zu decken, ohne den Planeten weiter auszubeuten. Wenn man sich anschaut, welche Schäden durch Überfischung oder industrielle Fleischproduktion entstehen – da braucht es dringend Alternativen. Und genau das wollen wir bieten: Ein Produkt, das gesund ist, das wirkt, das nachhaltig produziert werden kann – und das in großem Maßstab.

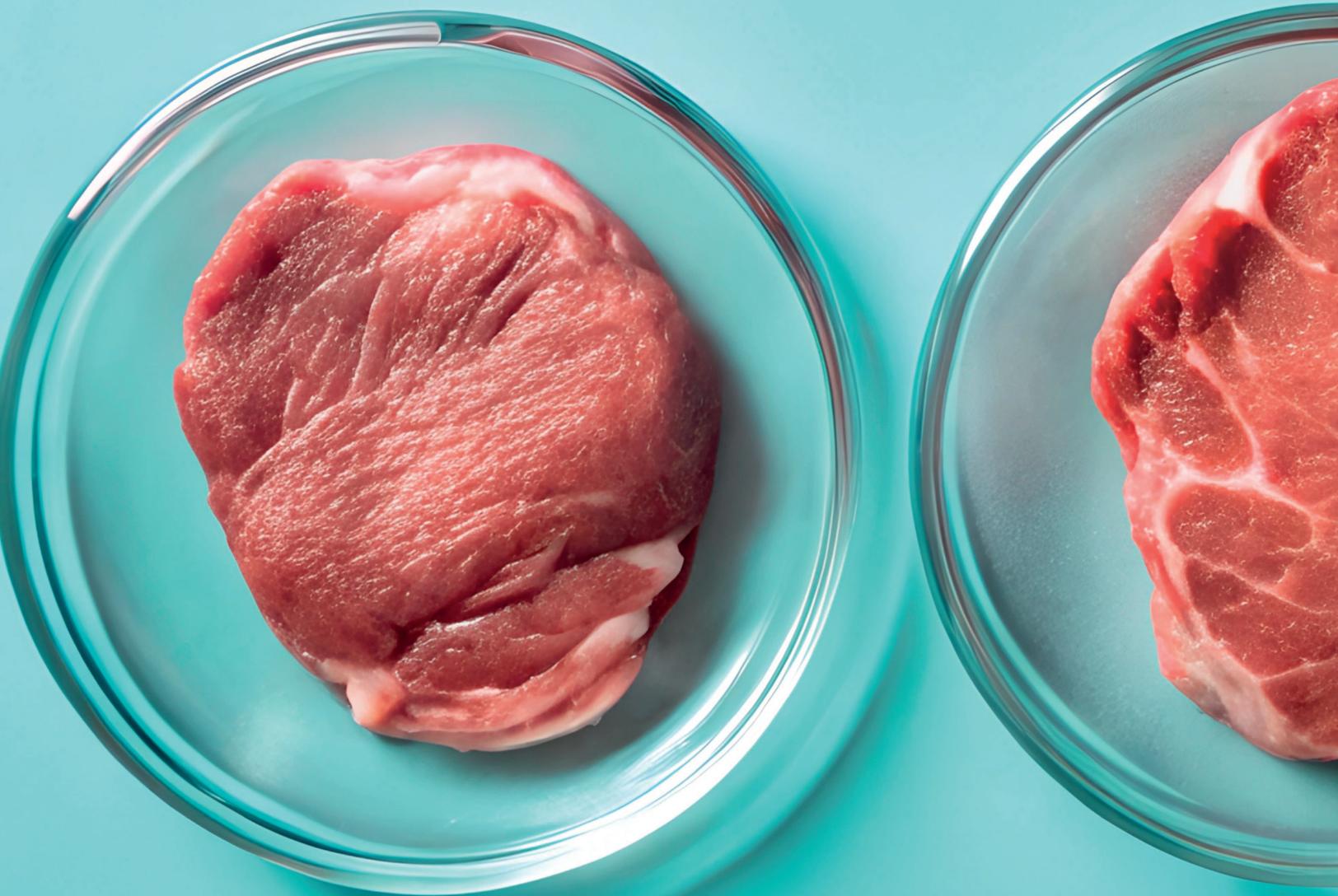
Persönlich möchte ich meinen Teil dazu beitragen. Ich liebe es, Dinge aufzubauen – und MicroHarvest ist eines der Projekte, bei dem man merkt: Das kann wirklich etwas verändern. Ich will dabei helfen, das Produkt in die Welt zu bringen, Kund:innen zu gewinnen, Partner:innen zu überzeugen – und am Ende einfach zeigen, dass es funktioniert. ■

Kurz und Bündig

MicroHarvest stellt in nur 24 Stunden ein Proteinpulver aus schnell wachsenden Mikroorganismen her – ohne Gentechnik, mit 60 Prozent Proteingehalt. Der Prozess spart bis zu 98 Prozent CO₂ gegenüber Fleisch und ist bis zu dreimal effizienter als pflanzliche Alternativen. Als Nährstoffquelle dienen Agrar-Nebenprodukte wie Melasse. Zielmärkte sind Pet Food und Aquakultur, perspektivisch auch Humanernährung. Eine eigene Anlage mit 15.000 Tonnen Jahreskapazität ist in Planung.

Kultiviert statt geschlachtet:

Fleischproduktion jenseits der Weide



Malte Tiburcy, MyriaMeat im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Ein Muskel wächst nicht einfach so – er braucht Spannung, Reize, Zeit. Genau das passiert auch hier: nur eben nicht im Tier, sondern im Labor. Zwischen zwei Fixpunkten wächst Gewebe heran, das sich am Ende kaum von klassischem Fleisch unterscheiden lässt. Aber kann so etwas wirklich als echte Alternative gelten – für Konsumierende, für die Landwirtschaft, für das Klima?



Adobe Stock | 113966147 | Diana

IM+io Was macht MyriaMeat und was ist die Entstehungsgeschichte des Unternehmens?

MT: Unser Unternehmen wurde 2022 gegründet, ursprünglich in München – operativ tätig sind wir aber in Göttingen, denn dort entstand auch die Technologie, auf der alles basiert. Die wissenschaftliche Grundlage kommt vor allem aus der Universitätsmedizin Göttingen. Die Idee, ein Unternehmen zu gründen, kam von Florian Hüttner, der dann auf uns Forschende zugegangen ist. Wir haben uns schon lange mit Tissue Engineering im

Bereich der Muskelentwicklung beschäftigt – bisher allerdings eher auf medizinischer Ebene. Als wir dann neue Technologien entwickelt haben, die auch für die Lebensmittelproduktion geeignet schienen, haben wir gemeinsam beschlossen, daraus ein Unternehmen zu formen. Mittlerweile sind wir ein zehnköpfiges Team – größtenteils Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem universitären Umfeld, die schon mit den Prozessen vertraut sind und mit uns die Übertragung auf Nutztierspezies, also Tiere aus der Landwirtschaft,

umsetzen. Gerade dieser Brückenschlag zwischen medizinischer Expertise und lebensmitteltechnologischer Anwendung ist einer unserer größten Vorteile. Die Gründung war für uns nicht nur ein logischer Schritt – sie war auch ein Sprung ins kalte Wasser, der sich bis heute als sehr spannend erweist.

IM+io Und worin liegt Ihr technologischer Ansatz beim kultivierten Fleisch?

MT: Unser Ziel ist es, Fleisch so herzustellen, wie es im Tier wächst. Denn das, was wir letztlich essen, ist ja Muskel – genau den wollen wir möglichst naturgetreu nachbilden. Der Kern unseres Ansatzes ist das Tissue Engineering von echtem Muskelgewebe. Das unterscheidet uns von Herstellenden, die Fleischersatz auf pflanzlicher Basis produzieren. Wir stellen ein echtes Muskelgewebe her – mit denselben Bestandteilen wie natürlich gewachsenes Fleisch. Es handelt sich also nicht um ein Ersatzprodukt, sondern um echtes Fleisch – nur eben nicht aus dem Tier, sondern aus dem Labor.

IM+io Wie läuft dieser Herstellungsprozess konkret ab, von der Zelle bis hin zum fertigen Muskelstück?

MT: Am Anfang stehen immer Zellen – genauer gesagt pluripotente Stammzellen. Diese Zellen haben den Vorteil, dass sie sich unbegrenzt vermehren lassen, ohne dass man genetische Veränderungen vornehmen muss. Das ist uns wichtig: Wir möchten so wenig Eingriffe wie möglich. Diese Zellen können sich in Muskelzellen weiterentwickeln und genau das tun sie bei uns im Labor – beziehungsweise langfristig auch im industriellen Maßstab. Die Muskelzellen werden dann weiterkultiviert und durchlaufen einen Reifungsprozess.

IM+io Wie bilden Sie dabei die Bedingungen für echtes Muskelwachstum nach?

MT: Ein Muskel wächst im Tier unter mechanischer Belastung – er ist zum Beispiel zwischen zwei Knochen aufgespannt und wird durch Bewegung trainiert. Solche Belastungen versuchen wir künstlich nachzustellen. Ohne zu sehr ins Detail zu gehen: Wir spannen das Gewebe zwischen zwei Fixpunkten auf, so dass der Muskel gegen einen Widerstand arbeiten muss. Das ist entscheidend für die Reifung des Gewebes.

IM+io Wie lange dauert es, bis ein solcher Muskel geerntet werden kann?

MT: Der Prozess dauert länger als bei einfachen Zellkulturen, die nur als Zutat in anderen Produkten verwendet werden. Die Reifung eines Muskels dauert typischerweise drei bis vier Wochen. In dieser Zeit findet nicht nur eine Differenzierung, sondern auch ein echtes Wachstum statt. Das bedeutet, die Muskelmasse wächst tatsächlich weiter – sowohl in Volumen als auch im Proteingehalt.

IM+io Wie groß sind diese Muskelstücke aktuell?

MT: Im Moment bewegen wir uns noch im Labormaßstab. Unsere Muskeleinheiten liegen aktuell zwischen 20 und 100 Gramm. Aber wir arbeiten daran, die Skalierung weiter voranzutreiben – perspektivisch möchten wir Einheiten bis zu einem Kilogramm herstellen. Der Weg dorthin führt über Parallelisierung: Viele kleine Einheiten, die gleichzeitig reifen, anstatt einen einzigen riesigen Muskel zu produzieren.

Unser Ziel ist es, Fleisch so herzustellen, wie es im Tier wächst.

IM+io Was unterscheidet Ihr kultiviertes Fleisch konkret vom tierischen Pendant?

MT: Unser Anspruch ist es, dass sich das Endprodukt in seiner Zusammensetzung nicht vom natürlichen Fleisch unterscheidet. Wir sprechen hier von Proteinen wie Myoglobin, Eisen oder Vitamin B12 – Stoffe, die typischerweise im Fleisch vorkommen und auch eine ernährungsphysiologische Rolle spielen. All das entsteht bei uns im Prozess – nicht durch Zusätze, sondern durch echtes Wachstum des Muskels. Zudem ist der Herstellungsprozess kontrollierter: Ohne Tierhaltung gibt es keine Tierseuchen, keine Antibiotika, keine Hormone – das ist ein echter Vorteil.

IM+io Gibt es Grenzen? Lassen sich bestimmte Fleischsorten vielleicht gar nicht kultivieren?

MT: Bisher konnten wir zeigen, dass sich unser Ansatz gut auf verschiedene Spezies übertragen

lässt. Am weitesten sind wir aktuell beim Schwein, aber auch mit Rind und Reh haben wir schon gearbeitet. Da wir auf pluripotente Stammzellen setzen, ist die Bandbreite groß. Natürlich gibt es Unterschiede zwischen den Arten – aber grundsätzlich lässt sich der Prozess gut anpassen.

IM+io Welche Vorteile bietet Ihr Verfahren aus ökologischer Perspektive?

MT: Durch die kontrollierte Produktion fallen viele Umweltrisiken der klassischen Fleischindustrie weg. Wir haben keine Massentierhaltung, keine Gülle, keine Methanemissionen in dem Ausmaß. Natürlich verbraucht auch unser Prozess Energie – aber diese lässt sich zukünftig über erneuerbare Quellen decken. Wichtig ist dabei, dass kultiviertes Fleisch nicht isoliert betrachtet werden darf. Es ist Teil einer Transformation, die insgesamt nachhaltiger gedacht werden muss.

IM+io Ein Kritikpunkt ist häufig der Preis. Wie realistisch ist es, dass kultiviertes Fleisch bald bezahlbar wird?

MT: Das ist ganz klar noch eine Herausforderung. Aktuell stehen wir eher am Anfang – für uns steht die Produktqualität an erster Stelle. Aber was die Preisentwicklung angeht, ist viel in Bewegung. Gerade bei Zellkulturmedien, Nährlösungen und Wachstumsfaktoren passiert viel. Andere Unternehmen leisten hier wertvolle Vorarbeit, von der wir auch profitieren. Unsere Kosten werden sinken – wir gehen davon aus, dass wir mittelfristig einen Preis erreichen, der konkurrenzfähig ist.

IM+io Arbeiten Sie bei diesen Entwicklungen auch mit anderen Unternehmen oder Forschungseinrichtungen zusammen?

MT: Ja, Kooperation ist für uns äußerst wichtig. Wir stehen im Austausch mit mehreren Firmen, die im Bereich Medienentwicklung und Wachstumsfaktoren aktiv sind – zum Beispiel Nutreco oder Wacker Chemie. Auch kleinere spezialisierte Firmen spielen eine große Rolle. Wir lernen viel voneinander und entwickeln gemeinsam neue Ansätze, die allen Beteiligten nützen.

IM+io Wie steht es mit dem Einsatz digitaler Technologien wie KI?

MT: Aktuell nutzen wir KI noch nicht aktiv, aber sie spielt eine große Rolle auf unserer Roadmap. Besonders beim Thema Skalierung wird das spannend. Wir möchten sogenannte In-Prozess-Kontrollen automatisieren – zum

Beispiel über Bildanalysen, mit denen wir die Differenzierung von Zellen überwachen. Solche Prozesse lassen sich sehr gut durch KI auswerten und steuern. Dafür sprechen wir auch bereits mit akademischen Teams.

IM+io Wo sehen Sie aktuell die größten Hürden?

MT: Skalierung ist definitiv eine der größten Herausforderungen. Außerdem natürlich die Akzeptanz in der Öffentlichkeit. Viele Menschen sind interessiert, aber es gibt auch Unsicherheiten. Deshalb ist Kommunikation so wichtig. Wir möchten zeigen: Unser Produkt ist sicher, es ist echt, und es bietet Vorteile – sowohl für Fleischkonsumierende als auch für Vegetarier, die aus ethischen Gründen auf Fleisch verzichten.

IM+io Welche Rolle spielt für Sie die Landwirtschaft im Kontext kultivierten Fleisches?

MT: Wir verstehen uns nicht als Konkurrenz zur Landwirtschaft, sondern als Ergänzung. Unser Ziel ist es, mit kultiviertem Fleisch Impulse für mehr Nachhaltigkeit zu setzen – im Dialog, nicht im Widerspruch zur bestehenden Tierhaltung.

IM+io Wie sehen Sie die langfristige Vision für Ihr Unternehmen – und persönlich?

MT: Unsere Vision ist es, ein Produkt zu schaffen, das die klassische Fleischproduktion ergänzen und langfristig auch teilweise ersetzen kann. Nicht als Angriff auf die Landwirtschaft – sondern als alternative Quelle für echtes Fleisch. Ich persönlich wünsche mir, dass wir als Unternehmen einen Beitrag leisten zur Transformation der Lebensmittelindustrie. Wenn wir es schaffen, mit unserer Technologie einen Impuls zu setzen, der Tierleid reduziert und den Ressourcenverbrauch senkt – dann war es das wert. ■



Dr. med. Malte Tiburcy

Malte Tiburcy ist Pharmakologe und wissenschaftlicher Gruppenleiter an der Universitätsmedizin Göttingen. Der Schwerpunkt seiner Arbeit ist das Tissue Engineering von Muskel, auch für die klinische Anwendung als Herzpflaster beim Menschen. Seit 2022 ist er Mitgründer und Entwickler bei MyriaMeat.

Kontakt

malte@myriameat.com
www.myriameat.com

Kurz und Bündig

Ein zehnköpfiges Team entwickelt in Göttingen kultiviertes Fleisch aus pluripotenten Stammzellen – mit echtem Muskelwachstum und Reifung unter mechanischer Belastung. Aktuell im Labormaßstab (20–100 g), perspektivisch auch in Kilogrammheiten. Die Vorteile: keine Tierhaltung, keine Antibiotika, kontrollierte Herstellung.

Wie Algorithmen Bakterien zu Biofabriken machen

Hagen von Strünck, Institut für Systembiotechnologie

Die Zukunft der Biotechnologie wird immer mehr am Computer geplant. Digitale Modelle des Zellstoffwechsels ermöglichen es, gezielt in mikrobielle Prozesse einzugreifen und so die Produktion wertvoller Chemikalien zu optimieren. Der CellNetAnalyzer ist dabei mehr als nur ein Werkzeug – er wird zum strategischen Partner bei der Entwicklung leistungsstarker Bakterienfabriken.



Wenn wir an Bakterien denken, fällt den meisten zuerst Krankheit ein – oder vielleicht verdorbene Lebensmittel, die schon beim Öffnen des Kühlschranks Alarm schlagen. Doch nur wenige wissen: Es gibt Bakterien, die wahre Hochleistungsarbeitende sind. Sie steuern komplexe Prozesse, um wertvolle Chemikalien und medizinische Wirkstoffe herzustellen.

Insulin oder die Bulk-Chemikalie Lysin sind nur zwei Beispiele für Produkte, die heute bereits in großem Maßstab mithilfe von Bakterien produziert werden. In einer Zukunft, in der nachhaltige Produktionsweisen immer wichtiger werden und wir uns zunehmend vom Rohstoff Öl verabschieden, rücken diese Mikroorganismen immer stärker in den Fokus der Industrie. Viele Chemikalien, die früher auf Erdölbasis synthetisiert wurden, sollen künftig umweltfreundlich durch bakterielle Systeme hergestellt werden. Doch um solche Prozesse effizient zu gestalten, braucht es vor allem eines: einen präzisen Überblick über den Stoffwechsel der Zelle.

Der Zellstoffwechsel als Produktionsmaschine

Die meisten industriell oder medizinisch interessanten Moleküle entstehen auch im natürlichen Stoffwechsel der Zelle – allerdings nur in sehr geringen Mengen, da sie primär der Zellteilung und dem Überleben dienen. Man kann sich den Zellstoffwechsel wie einen großen Fluss vorstellen, aus dem zahlreiche kleine Bäche und Nebenarme abzweigen. Das Wasser in diesem Bild symbolisiert den Kohlenstoff, der durch die Zelle fließt und dort für den Aufbau lebenswichtiger Komponenten verwendet wird. Doch was passiert, wenn man an einer bestimmten Stelle einen Staudamm baut? Das Wasser wird umgeleitet oder staut sich an einer anderen Stelle – vielleicht dort, wo ein kleiner Bach bisher nur spärlich floss. Mit gezielten Eingriffen in den zellulären Stoffwechsel lässt sich dieser Nebenarm in einen reißenden Strom verwandeln – so lässt sich ein ursprünglich sekundärer Stoffwechselzweig in einen primären Produktpfad überführen. Genau dieses Prinzip wird genutzt, um Zellen dazu zu bringen, große Mengen einer Zielsubstanz zu produzieren.

Was in der Theorie plausibel erscheint, erfordert in der Praxis häufig umfangreiche Versuchsreihen und ist mit Rückschlägen verbunden. Denn nicht jeder „Staudamm“ führt automatisch zum gewünschten Ziel. Um ein

bestimmtes Produkt in hoher Menge zu erzeugen, reicht es nicht aus, den Kohlenstofffluss umzuleiten. Oft sind zusätzlich sogenannte Co-Regulatoren notwendig – Moleküle, die enzymatische Reaktionen ermöglichen oder beschleunigen. Fehlen sie, bricht der ganze Prozess zusammen, noch bevor überhaupt etwas produziert werden kann.

Digitale Präzision mit dem CellNetAnalyzer

Heutzutage kann uns der Computer dabei unterstützen, gezielte Eingriffe in den Zellstoffwechsel besser zu planen. Eine entscheidende Rolle spielt dabei Software wie der CellNetAnalyzer – ein MATLAB-basiertes Tool zur Analyse von Stoffwechsel- und Signalnetzwerken, das am Max-Planck-Institut für Dynamik komplexer technischer Systeme in Magdeburg, Deutschland, entwickelt wurde.

Diese Software hilft dabei, mathematische Modelle zellulärer Prozesse zu erstellen und zu analysieren. Dazu wird im ersten Schritt der zentrale Kohlenstoffwechsel vollständig kartiert. Jede biochemische Reaktion – ob Umwandlungs-, Abbau- oder Aufbauprozess – wird in Form einer Gleichung ins System eingetragen. So entsteht ein umfangreiches Netzwerk aus stöchiometrischen Gleichungen, das exakt beschreibt, welche Stoffe in die Zelle gelangen, wie sie miteinander reagieren und welche neuen Moleküle dabei entstehen. Besonders wichtig ist dabei, festzulegen, womit die Zelle „gefüttert“ wird. Denn auch in der digitalen Modellwelt gilt: Ohne Ausgangsstoffe entsteht nichts – auch nicht im CellNetAnalyzer. Die Software benötigt daher eine vollständige Liste aller relevanten Substrate, die auch im realen Kulturmedium enthalten sind. Und natürlich darf auch das gewünschte Endprodukt nicht fehlen. Es wird als sogenannte Target Reaction ins Modell eingebunden – eine



Hagen von Strüncck

Hagen von Strüncck absolvierte sein Biologiestudium an der Humboldt-Universität zu Berlin. Für sein Masterstudium wechselte er an die Universität des Saarlandes, wo er sich auf Biotechnologie spezialisierte. Derzeit promoviert er im Bereich der systemischen und synthetischen Biotechnologie mit einem besonderen Schwerpunkt auf der Erforschung und Entwicklung alternativer Rohstoffe zur nachhaltigen Produktion von Industriechemikalien.

Kontakt

hagen.von-struenck@uni-saarland.de
www.isbio.de

Digitale Stoffwechselmodelle wie der CellNetAnalyzer ersetzen die experimentelle Arbeit nicht – doch sie verändern grundlegend, wie wir sie planen.

Reaktion, in der das Produkt die Zelle verlässt. Diese Zielreaktion wird später zur Zielfunktion bei Optimierungsrechnungen.

Ab diesem Punkt beginnt ein innerzellulärer Interessenskonflikt, denn Zellen sind von Natur aus auf Wachstum programmiert. Auch im Modell wird dieses Wachstum über eine Biomasse-Reaktion abgebildet, die den Aufbau zellulärer Bestandteile simuliert – ein biologischer Imperativ, der oft im Widerspruch zur gewünschten Produktbildung steht.

Sobald alle Reaktionen erfasst sind, beginnt die eigentliche Modellierung. Der CellNetAnalyzer berechnet dann alle Elementarflüsse (EFMs) – das sind minimale, in sich geschlossene Wege durch das Netzwerk, die unter stationären Bedingungen funktionieren. Es entsteht eine Vielzahl möglicher Stoffwechselstrategien: Einige führen ausschließlich zur Produktbildung, andere ermöglichen nur Wachstum, wieder andere kombinieren beides in unterschiedlichem Verhältnis.

Auf den ersten Blick klingt es verlockend: Ein Zellweg, der keine Biomasse mehr produziert, sondern ausschließlich ein Produkt! Für jede Produktionsleitung klingt das wie ein Traum. Doch bei näherer Betrachtung offenbart sich, dass dieser Ansatz seine Herausforderungen mit sich bringt. Was nützt es, wenn 100 Zellen bei 100 % Effizienz ein Produkt herstellen, während eine Billionen Zellen, die nur mit 50 % Effizienz arbeiten, in ihrer schier Masse ein Vielfaches an Endprodukt liefern? Die wahre Kunst liegt in der Balance: zwischen Zellwachstum und Produktbildung, zwischen Effizienz und Zellzahl. Genau hier setzt die digitale Modellierung mit dem CellNetAnalyzer an – sie hilft dabei, das optimale Gleichgewicht zu finden.

Doch so nützlich diese Vielfalt an Stoffwechselwegen auch ist – sie zeigt nur, was möglich ist, aber nicht unbedingt, was optimal ist. Um gezielt herauszufinden, welche dieser Wege unter bestimmten Bedingungen am

effizientesten genutzt werden können, kommt die Flux Balance Analyse (FBA) ins Spiel. Dabei handelt es sich um eine rechnerische Methode der Biotechnologie, mit der sich Stoffwechselnetzwerke mathematisch untersuchen lassen.

Optimierung des Zellstoffwechsels

Die Flux Balance Analyse beruht auf einer simplen, aber effektiven Annahme: Die Konzentrationen aller intrazellulären Metabolite bleiben über die Zeit konstant. Es herrscht ein sogenanntes Fließgleichgewicht – jede produzierte Verbindung wird zeitgleich wieder verbraucht. Dadurch entstehen weder Akkumulationen noch Engpässe. Abhängig von der verfügbaren Substratmenge verarbeitet die Zelle ihre Ressourcen entsprechend. Diese stationäre Annahme erlaubt die Anwendung linearer Optimierungsmethoden, um jene Kombination metabolischer Flüsse zu identifizieren, die ein definiertes Ziel – beispielsweise die maximale Synthese eines gewünschten Produkts – unter gegebenen biologischen Randbedingungen wie dem Erhalt des Zellwachstums am effizientesten erreicht.

In der Realität läuft jede Reaktion mit einer bestimmten Geschwindigkeit ab. Um diese zu bestimmen, müssten aufwändige Enzym-Assays im Labor durchgeführt werden – viel Zeit, viel Material, viel Arbeit. Im stationären Zustand, wie ihn die FBA voraussetzt, wird diese Komplexität elegant umgangen. Die exakten Kinetiken werden ignoriert – und gerade das macht die Methode so effizient. Die Software liefert am Ende eine Liste sogenannter Flusswerte – das Herzstück jeder Stoffwechselanalyse.

Ein Flusswert gibt an, wie stark eine bestimmte Reaktion abläuft. Er beschreibt genau das, was ein Enzym-Assay im Labor ebenfalls liefern würde: die Reaktionsrate einer Stoffwechselreaktion – also, wie viele Moleküle eines Metaboliten pro Zeiteinheit umgesetzt werden. Um auf das Ursprungsbeispiel zurückzukommen: Wie viel Wasser fließt durch den Fluss? Haben wir es hier mit einem kleinen Bach oder einem mächtigen Strom zu tun? Besonders viel Wasser soll in diesem Fall durch die Target Reaction fließen – also durch die Reaktion, die das Produkt aus der Zelle exportiert. Die FBA berechnet hierfür, welche Reaktionen im Netzwerk unter den gegebenen Bedingungen bevorzugt genutzt werden. Auf Basis dieser Analyse identifiziert die Software

Die Zukunft der Biotechnologie liegt in einem hybriden Ansatz, in dem Daten, Algorithmen und Laborerfahrung intelligent miteinander verknüpft werden.

genetische Zielstrukturen – also spezifische Enzyme oder Reaktionsknotenpunkte – die sich durch gezielte Eingriffe im Stoffwechsel verändern lassen, um die Produktausbeute zu steigern. Diese Zielstrukturen lassen sich im Erbgut der Zelle lokalisieren: Die entsprechenden DNA-Sequenzen codieren für Enzyme, die Umwandlung von Metaboliten katalysieren. Der CellNetAnalyzer schlägt im Rahmen der FBA beispielsweise vor, bestimmte Enzyme verstärkt zu exprimieren, da sie förderlich für den gewünschten Stofffluss sind. In anderen Fällen kann es hilfreich sein, ein Enzym komplett auszuschalten, um den Kohlenstoff gezielt in Richtung des Produkts zu lenken.

Dieser rationale Ansatz bietet Biotechnologen und Biotechnologinnen wertvolle Unterstützung beim präzisen Entwurf von Zellfabriken. Er ermöglicht es, gezielt zu bestimmen, an welchen Stellen im Genom Eingriffe vorgenommen werden müssen und welche Form diese Eingriffe annehmen sollen. Dadurch wird der traditionelle „Trial-and-Error“-Ansatz zunehmend durch eine datengestützte effiziente Methodik ersetzt. Zahlreiche erfolgreiche Beispiele aus der Literatur belegen bereits, dass Zellfabriken mithilfe von Modellierungsdaten optimiert und realisiert werden konnten.

Grenzen der Modellierung: Warum Laborarbeit unersetzlich bleibt

Trotz der vielversprechenden Möglichkeiten der Zellmodellierung müssen jedoch auch die bestehenden Limitationen berücksichtigt werden. Eine Zelle ist ein hochkomplexes, fein ausbalanciertes System, das von einer Vielzahl regulatorischer Mechanismen gesteuert wird. Diese Prozesse sind hierarchisch organisiert: Regulatoren kontrollieren Enzyme, die wiederum von anderen Regulatoren kontrolliert werden. Solche komplexen, mehrstufigen Netzwerke können von der Software nicht vollständig abgebildet werden. Daher kann eine vielversprechende Modellberechnung in der Praxis durch biologische Rückkopplungen, wie sie in realen Zellen vorkommen, beeinträchtigt werden.

Ein klassisches Beispiel sind Feedback-Inhibitionen: Diese dienen der Zelle dazu, ihre eigene Produktion fein zu steuern. Die Aminosäure Lysin ist essenziell für das Zellwachstum. Eine übermäßige Produktion wäre jedoch aus physiologischer Sicht unsinnig. Daher besitzt die Zelle einen Mechanismus, bei dem Lysin als Produkt

selbst zurückwirkt: Wenn genügend Lysin vorhanden ist, bindet es an ein Enzym im Syntheseweg und hemmt dessen Aktivität – die Produktion wird automatisch gedrosselt. Dieses Beispiel unterstreicht die nach wie vor zentrale Bedeutung experimenteller Validierung im Labor. Modellierung und Software können Vorschläge machen – doch ob diese in der Realität funktionieren, muss experimentell überprüft werden.

Digitale Stoffwechselmodelle wie der CellNetAnalyzer ersetzen die experimentelle Arbeit nicht – doch sie verändern grundlegend, wie wir sie planen. Sie haben einen entscheidenden Einfluss auf die Wahl der Strategien, die im Metabolic Engineering verfolgt werden. Modellierung fungiert dabei als Kompass: Sie zeigt vielversprechende Routen auf, warnt vor potenziellen Sackgassen und hilft dabei, Ressourcen gezielter einzusetzen.

Die Zukunft der Biotechnologie liegt in einem hybriden Ansatz, in dem Daten, Algorithmen und Laborerfahrung intelligent miteinander verknüpft werden – mit dem klaren Ziel, effiziente, steuerbare Zellfabriken zu entwickeln. ■

Kurz und Bündig

Digitale Zellmodelle ermöglichen es, mikrobielle Stoffwechselwege gezielt für die biotechnologische Produktion umzuprogrammieren. Tools wie der CellNetAnalyzer identifizieren effiziente Produktpfade und potenzielle genetische Eingriffspunkte – ganz ohne aufwendige Vorversuche. Trotz ihrer Präzision stoßen solche Modelle bei komplexen Regulationsmechanismen an Grenzen, weshalb Laborvalidierung unverzichtbar bleibt. Der kombinierte Ansatz aus Simulation und Experiment eröffnet neue Perspektiven für das Metabolic Engineering.



Fein gesponnen:

Was Hightech-Garne von der Natur lernen

Isabel Rosenberger, AMSilk im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Was haben Autositze, Uhrenarmbänder und Geschirrspültabs gemeinsam? In allen steckt das Potenzial eines besonderen Materials, das nicht aus Baumwolle oder Plastik, sondern aus einem nachgebauten Naturwunder stammt: Spinnenseide. Wie lässt sich diese jahrtausendealte Substanz in die Welt moderner Produkte bringen – und was braucht es, damit daraus mehr wird als ein Forschungsexperiment?

IM+io Beschreiben Sie uns bitte kurz AMSilk und womit es sich beschäftigt.

IR: Die Firma wurde 2008 als GmbH gegründet und ist aus einem Forschungszweig der TU München hervorgegangen. Im Zentrum stand damals die Frage: Wie kann man Spinnenseide industriell herstellen? Professor Thomas Scheibel hat dazu intensiv geforscht – denn Spinnenseide ist seit jeher faszinierend. Schon im alten Ägypten wurde sie für Wundverbände genutzt, weil sie antibakteriell und entzündungshemmend wirkt. Wissenschaftlich ist dieses Thema spannend, weil Seide enorm elastisch und gleichzeitig belastbar ist. Ein Spinnenfaden mit Daumendicke könnte theoretisch einen Airbus stoppen – das war so eine der klassischen Illustrationen ihrer Kraft. Die Idee war also, diese natürlichen Eigenschaften nutzbar zu machen – erst für Textil, dann auch für Medizinprodukte, Kosmetik sowie Consumer Goods. Mit der Ausgründung ist daraus ein eigenständiges Unternehmen entstanden.

IM+io Wie hat sich das Unternehmen seitdem weiterentwickelt?

IR: Ursprünglich dachte man in Richtung Textilanwendungen – was nahelegt bei einem Fadenmaterial. Doch sehr schnell hat sich gezeigt: Diese Seidenproteine lassen sich noch viel breiter einsetzen. In der Medizintechnik etwa nutzen wir sie zur Beschichtung von Silikonimplantaten. Das Protein wird als Layer aufgetragen und hat den Vorteil, dass es vom Körper nicht als Fremdkörper erkannt wird – schließlich ist Protein ein körpereigener Baustein. So kommt es zu weniger Abstoßungen und Entzündungsreaktionen. Auch in der Kosmetik war das ein Thema – die Seide ist sanft zur Haut, unterstützt Regeneration, wirkt beruhigend. Das war für viele Anwendungen interessant. Ein Teil wurde dann an ein großes Kosmetikunternehmen verkauft. Insgesamt haben wir wissenschaftlich über 50 Applikationen identifiziert, aber natürlich kann man als kleines Unternehmen nicht alle gleichzeitig verfolgen. Daher liegt der Fokus jetzt klar auf textilen Anwendungen – konkret: Wir machen aus unserem Seidenprotein Fasern und Filamente.

IM+io Wie funktioniert die Herstellung genau – vom Ursprung bis zum Faden?

IR: Alles beginnt mit der DNA der Spinne. Die Sequenz, die für die Spinnenseide zuständig ist, wurde entnommen und in Mikroorganismen

– genauer: Bakterienstämme – eingebaut. Die Bakterien werden dann gefüttert, etwa mit Glukose, und beginnen sich zu vermehren. Dabei produzieren sie in sich das gewünschte Protein. Sobald der Fermentationsprozess abgeschlossen ist, wird das Protein extrahiert, gereinigt und getrocknet. Das Ergebnis ist ein feines puderartiges Seidenprotein. Dieses Pulver kann dann entweder direkt in Produkte eingebracht werden – etwa in Kosmetik oder Waschmittel – oder zu einem Faden weiterverarbeitet werden.

Wir bieten ein Produkt, das komplett im Labor entsteht, aber zu 100 Prozent biobasiert und biologisch abbaubar ist.

IM+io Was passiert, wenn das Protein weiterverarbeitet wird?

IR: Dann wird das Pulver mit Flüssigkeit zu einer Art Basismischung angerührt – das nennen wir „Dope“. Diese Flüssigkeit „Dope“ wird in ein Spinnbad extrudiert. Dort sorgen physikalische Prozesse dafür, dass das Protein sich verfestigt und einen stabilen Faden formt – ähnlich wie bei der Spinne, die ihren Faden ebenfalls aus einer Flüssigkeit spinnt. Dieser Spinnfaden kann anschließend auf Spinnmaschinen weiterverarbeitet werden. Wir können den Prozess so steuern, dass sehr unterschiedliche Fasertypen entstehen – von zarten Garnen für feine Textilien bis hin zu robusten Fasern für technische Anwendungen wie Autositze.

IM+io Welche Produkte entstehen derzeit aus diesem Prozess?

IR: Aktuell stellen wir das Protein in drei Formen her: als Pulver, als Hydrogel und als textile Faser. Das Pulver wird beispielsweise in Geschirrspültabs eingesetzt – dort reduziert es den Chemikalieneinsatz, weil es eine natürliche



Isabel Rosenberger

Isabel Rosenberger leitet seit 2022 das Marketing von AMSilk. Zuvor war sie bei Burda und der Allianz tätig. Nach ihrem geisteswissenschaftlichen Studium arbeitete sie als Journalistin u. a. für die PNP und die Textilwirtschaft.

Kontakt

isabel.rosenberger@
AMSilk.com
www.AMSilk.com

Beschichtung erzeugt. Das Hydrogel findet sich in kosmetischen Anwendungen. Die Faser ist derzeit der kommerziell am weitesten entwickelte Bereich: Hier entstehen Garne, die in Kleidung oder technischen Textilien verwendet werden können.

IM+io Worin unterscheidet sich Ihre Faser von klassischen Textilfasern?

IR: Unser Produkt ist ein Novum: Es ist ein synthetisch hergestelltes Naturprodukt. Normalerweise hat man entweder Naturfasern wie Baumwolle oder Wolle – die aber aufwendig im Anbau oder ethisch problematisch sein können – oder man hat synthetische Fasern, die oft auf Erdöl basieren. Wir bieten ein Produkt, das komplett im Labor entsteht, aber zu 100 Prozent biobasiert und biologisch abbaubar ist. Wir brauchen keine großen Flächen, keine Tierhaltung, keine intensive Landwirtschaft. Die Produktion ist ressourcenschonend, der ökologische Fußabdruck etwa 80 Prozent niedriger als bei herkömmlichen Naturfasern. Gleichzeitig sind unsere Fasern recycelbar und lassen sich in ihren Eigenschaften gezielt anpassen.

IM+io Gibt es auch Nachteile – etwa beim Preis?

IR: Natürlich. Neue Technologien sind immer zunächst teurer. Momentan bewegen wir uns im Luxussegment – vergleichbar mit echter Seide. Aber wir sehen auch, dass sich mit wachsenden Produktionsmengen die Kosten deutlich senken lassen. Das ist unser Ziel: In den nächsten Jahren wollen wir mit unseren Garnen nicht nur Luxuskundschaft bedienen, sondern auch im Premiumsegment mitspielen. Erste Partnerschaften mit bekannten Marken gibt es bereits – Namen darf ich leider nicht nennen, aber wir arbeiten mit großen Playern.

IM+io Wie schätzen Sie die Konkurrenzsituation ein – und was hebt Sie technologisch besonders ab?

IR: Es gibt inzwischen einige Unternehmen, die ebenfalls im Bereich biofabrizierte Fasern aktiv sind. Viele davon haben spannende Ansätze, aber was uns abhebt, ist ganz klar die industrielle Reife unseres Produkts. Wir haben den gesamten Prozess – von der Proteinherstellung über die Verarbeitung bis hin zur konkreten Anwendung – bereits auf Pilot- und Industrieniveau getestet.

Hinzu kommt unsere Fähigkeit, das Protein gezielt so zu designen, dass es exakt die

gewünschten Eigenschaften mitbringt – sei es Reißfestigkeit, Weichheit oder Elastizität. Diese molekulare Anpassbarkeit verschafft uns einen technologischen Vorsprung, den bislang kaum jemand in dieser Tiefe realisiert hat.

IM+io Welche Herausforderungen sehen Sie aktuell und wie gehen Sie damit um?

IR: Ganz klar: Skalierung. Wir haben unseren Prozess bereits erfolgreich auf Industrieanlagen etabliert – jetzt geht es darum, die Produktionsmengen im Multitonnenmaßstab weiter hochzufahren. Dafür arbeiten wir mit starken Produktionspartnern wie Ajinomoto oder Evonik zusammen. Sie bringen wertvolle Industrieexpertise mit ein und unterstützen uns dabei, unsere Technologie effizient auf ihre bestehenden Anlagen zu übertragen. Gleichzeitig sind wir dabei, erste Abnahmeverträge mit Kundschaft zu schließen – das ist essenziell, um Umsatz zu generieren und weiter zu investieren.

Die Produktion ist ressourcenschonend, der ökologische Fußabdruck etwa 80 Prozent niedriger als bei herkömmlichen Naturfasern.

IM+io Welche Rolle spielt dabei Künstliche Intelligenz?

IR: KI nutzen wir im Bereich Protein Engineering. Das heißt: Wir entwickeln unsere Proteine auf molekularer Ebene so, dass daraus ein Garn mit bestimmten Eigenschaften entsteht – etwa besonders reißfest oder besonders weich. Die Spinnenseide ist hochgradig modulierbar, und mit KI lassen sich diese Modifikationen gezielter und effizienter entwickeln. Das erlaubt uns

eine Präzision in der Produktentwicklung, die manuell kaum erreichbar wäre. Außerdem hilft uns KI dabei, große Datenmengen aus früheren Tests schneller auszuwerten und Muster zu erkennen, die für neue Designprozesse relevant sind. So gewinnen wir schneller neue Erkenntnisse, die direkt in die nächste Entwicklungsrunde einfließen. Für andere Prozessschritte prüfen wir derzeit, inwieweit wir KI noch stärker einsetzen können – zum Beispiel bei Qualitätssicherung oder Produktionsplanung.

Mit KI lassen sich diese Modifikationen gezielter und effizienter entwickeln – etwa besonders reißfest oder besonders weich.

IM+io Arbeiten Sie auch mit Forschungseinrichtungen zusammen?

IR: Im wissenschaftlichen Bereich haben wir mittlerweile viel Know-how im eigenen Haus aufgebaut – unser Team bringt Erfahrung aus dem Silicon Valley, aus Oxford oder von anderen Top-Institutionen mit. Bei bestimmten Projekten arbeiten wir aber auch mit externen Beteiligten zusammen. Ein Beispiel ist 21st Bio, ein Ableger von Novo Holdings. Gemeinsam optimieren wir unsere Produktionsstämme, um Ausbeute und Effizienz weiter zu steigern. Im Kund:innenbereich wiederum pflegen wir Entwicklungspartnerschaften – etwa mit Mercedes für Autositze oder Omega für Uhrenarmbänder. Hier geht es darum, gemeinsam marktfähige Lösungen zu entwickeln.

IM+io Wie sehen solche Kooperationen mit Abnehmenden konkret aus?

IR: Oft beginnt es über Kontakte zu den Nachhaltigkeitsabteilungen großer Unternehmen.

Diese suchen nach Materialinnovationen, um ihre CO₂-Bilanzen zu verbessern – etwa im Rahmen ihrer Lifecycle Assessments. Dann nehmen sie Kontakt zu uns auf, und gemeinsam wird überlegt: Welche Beimischung unseres Materials macht Sinn? Wie verändern sich dadurch die Materialeigenschaften oder Emissionen? Es entstehen sehr individuelle Entwicklungsprojekte, die meist über Jahre laufen.

IM+io Gibt es schon konkrete Pläne für eine eigene Produktionsstätte?

IR: Ja, langfristig ist das das Ziel. Momentan arbeiten wir mit industriellen Kooperationsunternehmen zusammen – das ist effizient und spart Investitionskosten. Aber mittelfristig wollen wir eigene Produktionskapazitäten aufbauen, um als globaler Anbieter agieren zu können. Wir wollen nicht das kleine Start-up aus München bleiben, sondern eine feste Größe im Bereich biobasierter Materialien werden – als Supplier für Garne und für sogenannte Consumer Care Solutions.

IM+io Wie sieht Ihre Vision für die Zukunft aus?

IR: Wir haben uns bewusst entschieden, nicht nur Technologieplattform zu sein, sondern echte Endprodukte zu liefern. Wir wollen globaler Garn-Lieferant sein – für biofabrizierte Textilien, aber auch für Konsumgüter. Gerade im Bereich Wasch- und Reinigungsmittel sehen wir enormes Potenzial, weil die Regulatorik dort strenger wird und viele Hersteller nach Alternativen suchen. Gleichzeitig wollen wir weitere Marktsegmente erschließen – etwa Packaging oder landwirtschaftliche Anwendungen. Die Technologie ist da – jetzt geht es darum, sie auch strategisch zu nutzen. ■

Kurz und Bündig

Ein biotechnologisches Unternehmen entwickelt synthetisch erzeugte Fasern auf Basis von Spinnenseidenproteinen. Das Protein wird mithilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen fermentiert, extrahiert und zu Pulver, Hydrogel oder Garn weiterverarbeitet. Die Fasern sind biobasiert, biologisch abbaubar und bis zu 80 Prozent nachhaltiger als Naturfasern. Zielmärkte sind Textilien, Waschmittel und technische Anwendungen. Auch KI kommt im Protein Engineering zum Einsatz.



Ernte 2.0: Wenn Reststoffe zu Ressourcen werden

Michael Zavrel, Technische Universität München

Manchmal ist es der Abfall, der den größten Wandel einleitet. Wenn Stroh, andere Pflanzenreste oder sogar unerwünschte Wasserpflanzen zum Ausgangspunkt für nachhaltige Materialien werden, entstehen neue Möglichkeiten für eine biobasierte Industrie. Doch wie lässt sich aus einer schwer kontrollierbaren Biomasse ein verlässlicher Prozess formen – und welche Rolle spielt dabei Künstliche Intelligenz?



© AdobeStock | 582389293 | moeh

Die Endlichkeit fossiler Rohstoffe, der Klimawandel und die Notwendigkeit, Importabhängigkeiten zu reduzieren, wie es zu Beginn des Angriffskriegs gegen die Ukraine deutlich wurde, sind zentrale Herausforderungen unserer Zeit. Zudem nimmt die Belastung durch Mikro- und Nanoplastik unaufhörlich zu und kann auch bei flächendeckendem Recycling von Kunststoffen nicht vollständig vermieden werden. Aus diesen Gründen ist es wichtig, neue nachhaltige Lösungen zu entwickeln. Hierzu gehört die Nutzung nachwachsender Rohstoffe, also von Pflanzen,

die CO₂ aus der Atmosphäre binden, sowie die Produktion von biologisch abbaubaren Biopolymeren, also dem, was allgemein als „Biotunststoffe“ bezeichnet wird.

Agrarreststoffe und andere bislang ungenutzte biogene Rohstoffe

Der steigende Nahrungsmittelbedarf durch das weltweite Bevölkerungswachstum macht es notwendig, alternative Rohstoffe zu finden, denn die Nutzung von Feldfrüchten für Kraftstoffe oder Kunststoffe führt zu Flächenkonkurrenz und potenzieller Nahrungsmittelknappheit. Eine vielversprechende Lösung sind Agrarreststoffe – also Pflanzenteile wie Stroh, die nach der Ernte übrig bleiben. Ein Großteil davon lässt sich nachhaltig nutzen, ohne Anbauflächen für Lebensmittel zu verdrängen.

Agrarreststoffe bestehen aus Lignocellulose, deren Hauptbestandteile Lignin, Cellulose und Hemicellulose sind. Je nach Region kommen unterschiedliche Agrarreststoffe vor. In Europa sind es vor allem Weizenstroh, Dinkelspelzen oder Zuckerrübenpressschnitzel; in Nordamerika Maisstroh, in Asien Reisstroh und in Brasilien vor allem Zuckerrohr-Bagasse. Diese fällt in großen Mengen als Nebenprodukt der Bioethanolproduktion an. In einigen Ländern werden solche Reststoffe häufig noch verbrannt – was zu erheblicher Luftverschmutzung führen kann, wie etwa in Indien sichtbar wird.

Auch invasive Wasserpflanzen wie Wasserhyazinthen oder der Schwimmfarn *Salvinia molesta* sind potenziell nutzbare Biomassen. Wasserhyazinthen wachsen extrem schnell und verdrängen in Regionen wie dem Viktoriasee ganze Ökosysteme, indem sie Sauerstoff entziehen und Fischsterben verursachen. Ihre Entfernung ist teuer – doch biotechnologische Verwertung könnte helfen, dieses Problem wirtschaftlich anzugehen.

Mit Biotechnologie Potenziale erschließen

Pflanzliche Reststoffe sind von Natur aus sehr stabil. Um sie dennoch nutzbar zu machen, müssen sie zunächst aufgeschlossen werden. Statt kostenintensiver chemischer Verfahren bietet sich die sogenannte Dampfexplosion an: Durch Druck und plötzliche Entspannung wird das Pflanzenmaterial strukturell aufgebrochen, wodurch Enzyme leichter angreifen können.

Diese Enzyme – darunter Cellulasen



© Astrid Eckert / TUM

Prof. Dr.-Ing. Michael Zavrel

Professor Michael Zavrel leitet die Professur für Bioverfahrenstechnik an der Technischen Universität München (TUM) am TUM Campus Straubing für Biotechnologie und Nachhaltigkeit. Vor seinem Ruf an die TUM war er über 13 Jahre in der Industrie tätig. In seiner Forschung beschäftigt sich Professor Zavrel mit der Nutzung von Reststoffen aus der Landwirtschaft.

Kontakt

michael.zavrel@tum.de

www.tum.de

– zerlegen die Cellulose in Glucose. Weitere Enzyme setzen zusätzliche Zucker wie Xylose und Arabinose sowie organische Säuren frei. Die freigesetzten Zucker werden als „Zucker der zweiten Generation“ (2G-Zucker) bezeichnet. Damit werden diese von „1G-Zuckern“ wie Saccharose oder Glucose aus Maisstärke abgegrenzt, deren Nutzung für die Lebensmittelproduktion bereits lange etabliert ist.

Mikroorganismen wie Hefen, Pilze oder Bakterien fermentieren die 2G-Zucker zu zahlreichen Produkten – darunter Biokraftstoffe, Chemikalien, Enzyme oder Biopolymere. Die Verwertung hängt jedoch vom Zucker ab: Während die Glucose, die aus sechs Kohlenstoffatomen besteht (C6-Zucker), von praktisch allen Mikroorganismen verwertet werden kann, erfordern C5-Zucker wie Xylose spezielle Mikroorganismen oder gentechnisch angepasste Stoffwechselwege.

Die Nutzung von Agrarreststoffen birgt Potenziale für Umwelt und Gesellschaft.

Kein Rohstoff wie der andere: Die Tücken der natürlichen Vielfalt

Im Gegensatz zur Arzneimittelproduktion, wo hochreine Ausgangsstoffe genutzt werden, unterliegen Agrarreststoffe starken natürlichen Schwankungen. Unterschiede in Sorten, Böden, Klima oder Lagerung wirken sich auf Zusammensetzung und Qualität aus. Rückstände von Pflanzenschutzmitteln können die Verarbeitung zusätzlich erschweren. Auch technisch gibt es Herausforderungen: Fasern und Trübstoffe behindern Messmethoden, Feststoffe wie Sand greifen Anlagen an. Sterilisation ist energetisch nicht praktikabel, Fremdkeime sind kaum zu vermeiden und hohe Salzfrachten und Ligninabbauprodukte können das Wachstum

von Mikroorganismen behindern.

Besonders komplex ist der enzymatische Aufschluss der Lignocellulose. Dafür braucht es individuell abgestimmte Enzymmischungen – etwa mit Cellulasen, Xylanasen oder Laccasen – die auf jeden Rohstoff angepasst werden müssen. Biotechnologische Prozesse müssen deshalb hochflexibel sein: Drücke, Temperaturen, Enzym- und Mikroorganismenmengen sowie Nährstoffe müssen rasch angepasst werden. Da Lieferungen meist kurzfristig erfolgen, sind Vorversuche kaum möglich – das verlangt kontinuierliche, reaktionsschnelle Prozessführung über alle Schichten hinweg.

Soft-Sensoren und KI als Chance

Soft-Sensoren erfassen kontinuierlich Messsignale, vergleichen sie mit historischen Daten und leiten daraus indirekt messbare Größen ab. So kann etwa ein erhöhter Verbrauch an Säuren und Laugen auf das Wachstum unerwünschter Keime hinweisen – und automatisch die Dosierung von Zusätzen wie Hopfenextrakt auslösen. Grundlage sind Modelle, die entweder mechanistisch („white box“) oder rein datengetrieben („black box“) funktionieren. Letztere setzen Methoden der Künstlichen Intelligenz ein, benötigen jedoch große Datenmengen und sind bei neuen Bedingungen weniger flexibel.

Ein Mittelweg sind hybride („grey box“) Modelle, die beides kombinieren. Besonders vorteilhaft sind Soft-Sensoren mit datengetriebenen Anteilen, da diese mit jeder Charge lernen und sich kontinuierlich verbessern. Sie erkennen Veränderungen im Prozess oft schneller als menschliche Fachkräfte und ermöglichen dadurch eine vorausschauende Steuerung.

Szenarien simulieren, Prozesse beschleunigen: Frühzeitige Analysen für die Praxis

Um die großindustrielle Nutzung von Agrarreststoffen zu etablieren, ist es erforderlich, dass die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit der Prozesse sichergestellt sind. Gerade in Hinblick auf die ambitionierten Klimaschutzziele der nächsten Jahre muss vermieden werden, dass solche Prozesse lange im Labor entwickelt werden und sich dann doch nicht als wirtschaftlich erweisen oder am Ende die Emissionen von Treibhausgasen nicht genügend reduzieren. Aus diesem Grund ist es bereits zu Beginn der Entwicklung ratsam, techno-ökonomische Studien

(techno-economic analysis – TEA) und Lebenszyklusanalysen (life cycle analysis – LCA) durchzuführen. Da zu diesem Zeitpunkt viele Einflussparameter noch nicht genau quantifiziert werden können und die Einsatzstoffe Preisschwankungen unterworfen sind, bietet es sich an, die TEA und LCA mit stochastischen Methoden zu kombinieren. Auf Basis von vielen Stichproben (Monte-Carlo-Simulation) können Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Betriebs- und Investitionskosten sowie das Einsparpotenzial von Treibhausgasen bestimmt werden. So können Investitionsentscheidungen viel rationaler getroffen werden als mit der bloßen Betrachtung einzelner Szenarien. Ein weiterer Vorteil ist, dass so frühzeitig Kostentreiber und andere relevante Parameter identifiziert werden können. Damit kann die Prozessentwicklung viel fokussierter erfolgen und somit erheblich beschleunigt werden.

Soft-Sensoren und Künstliche Intelligenz können dabei helfen, Agrarreststoffe im industriellen Maßstab zu nutzen.

Vom Labor zur Anwendung: Wie Agrarreststoffe in die Industrie kommen

Nach Abschluss der Prozessentwicklung erfolgt die Übertragung in den Industriemaßstab. Dieser „Scale-up“ erfolgt oftmals mehrstufig. Zunächst wird das Verfahren oder werden einzelne Schritte davon im Pilotmaßstab getestet. Viele Herausforderungen bei der Verwendung von Agrarreststoffen werden erst im großen Maßstab und längerfristig sichtbar. Hierzu zählt zum Beispiel die Verstopfung oder frühzeitige Abnutzung von Rohrleitungen. Deshalb

sollten die Verfahren im industrienahen Maßstab, das heißt über einen längeren, idealerweise mehrere Monate dauernden Zeitraum, demonstriert werden. Gerade im Hinblick auf regulatorische Anforderungen ist eine frühzeitige Testung im realitätsnahen Maßstab essenziell, um kostspielige Verzögerungen im späteren Genehmigungsprozess zu vermeiden.

In Deutschland gibt es diese Möglichkeit unter anderem beim Fraunhofer CBP in Leuna. Außerdem befindet sich derzeit in Straubing die Mehrzweckdemonstrationsanlage BioCampus MultiPilot im Bau. In diesem Zusammenhang sei auf das Beschleunigungs- und Transfernetzwerk TransBIB verwiesen, das viele Anbieter solcher Pilot- und Demonstrationsanlagen innerhalb Deutschlands vernetzt und damit die Etablierung der Bioökonomie beschleunigen möchte.

Die Verwertung von Agrarreststoffen hat also ein großes Potential, um nachhaltigere Alternativen zu konventionellen Kraftstoffen, Chemikalien und Biopolymeren zu etablieren. Bis man diese Potenziale voll nutzen kann, gibt es jedoch einige Herausforderungen zu meistern. Moderne Methoden der Modellierung und Simulation können hier eine entscheidende Rolle spielen. Daher wird es zukünftig wichtig sein, in der Ausbildung der Biotechnolog:innen und Prozessingenieur:innen die Methoden der KI zu unterrichten und KI in der biotechnologischen Forschung zunehmend einzusetzen. ■

Kurz und Bündig

Um Agrarreststoffe, die nach der Ernte übrigbleiben, effizient nutzen zu können, muss die lignocellulosische Biomasse mit Enzymen verarbeitet werden, um Zucker der sogenannten „zweiten Generation“ zu erhalten. Mit Hilfe von Mikroorganismen können diese Zucker dann vielfältig genutzt und zu biobasierten Kraftstoffen, Chemikalien und Biopolymeren umgewandelt werden. Eine Herausforderung hierbei sind die stark schwankenden Qualitäten der Agrarreststoffe. Moderne Technologien wie Soft-Sensoren und KI spielen eine entscheidende Rolle bei der Optimierung dieser Prozesse und deren Transfer in den Industriemaßstab.



MeerWert schaffen: Mit Algen nachhaltig entwickeln

Levent Piker, oceanBASIS im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Ein zarter Algenfaden im Meer – kaum sichtbar, aber voller Potenzial. Was nach mariner Nebensache klingt, wird zur Basis für Cremes, Forschung und Zukunftsvisionen. Zwischen Kieler Förde, norwegischer Küste und Hightech-Labor entsteht eine Verbindung aus Natur, Wissenschaft und Kosmetik. Wie lässt sich aus Meeresbiologie ein Geschäftsmodell entwickeln, das Meeresschutz, Wirkstoffentwicklung und digitale Innovation vereint? Und was kann Künstliche Intelligenz dabei leisten?

IM+io Erklären Sie uns bitte, womit sich oceanBASIS beschäftigt.

LP: oceanBASIS wurde 2001 gegründet, damals von drei Meeresbiologen und einem Betriebswirt. Die Anfänge liegen aber schon früher: Wir haben uns zunächst mit Umweltthemen rund ums Meer beschäftigt, zum Beispiel im Rahmen von Umweltgutachten und Schutzprojekten. Daraus entstand dann die Idee, zum Thema Aquakultur ein nachhaltiges Praxisbeispiel beizusteuern. Ich selbst komme aus der mikrobiologischen Richtung der Meeresbiologie und habe mich schon früh intensiv mit den ökologischen Auswirkungen industrieller Aquakultur beschäftigt, etwa in Chile, wo die Lachsindustrie damals stark gewachsen ist. Wir wollten zeigen, dass es auch anders geht – mit weniger negativen Effekten auf Umwelt und Gesellschaft.

IM+io Und wie sah dieser andere Ansatz konkret aus?

LP: Wir haben uns auf die Kultivierung von Meeresalgen konzentriert, genauer gesagt auf den Zuckertang – eine Laminaria-Art. Das ist eine Alge, die sehr bekannt ist, besonders in Asien, wo sie schon lange angebaut wird. Der große Vorteil ist, dass Algen in der Kultivierung nahezu keine negativen Umweltauswirkungen haben – im Gegenteil: Sie produzieren Sauerstoff, fixieren CO₂ und nehmen überschüssige Nährstoffe auf. Das ist also nicht nur neutral, sondern aktiv positiv für das Ökosystem.

IM+io Wie haben Sie aus dieser Idee dann ein konkretes Produkt entwickelt?

LP: Das war ein längerer Weg. Wir haben zunächst mit der Algenkultivierung begonnen, aber irgendwann stellt sich natürlich die Frage: Was machen wir eigentlich mit der Biomasse? Wir haben uns dann entschieden, mit einem flüssigen Extrakt zu arbeiten, weil das viel Potenzial für die Kosmetik bietet. Die Kosmetikbranche erschien uns außerdem geeignet, weil wir als kleines Unternehmen dort vergleichsweise schnell Produkte entwickeln konnten – anders als in der Pharmaindustrie, wo Entwicklungszyklen einfach viel länger sind. Gleichzeitig ließ sich über die Kosmetik eine gewisse Wertschöpfung erzielen, die wir wiederum in unsere aufwendige Kultivierung und Produktentwicklung reinvestieren konnten.

IM+io Sie hatten ja erwähnt, dass das Unternehmen heute zweigeteilt ist – Kultivierung auf der

einen, Produktion auf der anderen Seite. Wie sieht das genau aus?

LP: Heute kultivieren wir die Algen vor allem noch für Forschungszwecke, aber ursprünglich haben wir auch für die eigene Produktproduktion geerntet – bis zu einer Tonne Biomasse pro Jahr. Die Kultivierung erfolgt über sogenannte Kulturleinen, die mit Sporen aus den Algen bestückt werden. Diese Sporen wachsen dann zu kleinen Gametophyten heran, die später zu den ausgewachsenen Algen werden. Die Leinen bringen wir im Winter ins Meer, und im Frühjahr – etwa im Mai oder Juni – können wir dann ernten.

Wir wollten zeigen, dass es auch anders geht – mit weniger negativen Effekten auf Umwelt und Gesellschaft.

IM+io Und heute beziehen Sie die Algen aus anderen Quellen?

LP: Genau. Die Kultivierung in der Ostsee – etwa in der Kieler Förde – ist wegen des niedrigen Salzgehalts und des langsamen Wachstums dort einfach nicht mehr effizient genug für den Bedarf, den wir heute haben. Deshalb arbeiten wir mit Kooperationen in Norwegen zusammen, wo unter nachhaltigen Bedingungen in größerem Maßstab kultiviert wird. Auch in Irland oder der Bretagne gibt es Kontakte. Die Arbeitsteilung hat sich für uns bewährt: Andere spezialisieren sich auf die Kultivierung, wir konzentrieren uns auf die Produktentwicklung und Extrakterstellung.

IM+io Wie genau sieht dann Ihre Produktion aus?

LP: Unsere Produktion fokussiert sich heute auf die Extrakterstellung. Die Kosmetik selbst lassen wir von Lohnherstellern produzieren, die über die nötige Reinraumtechnik und



Dr. Levent Piker

Levent Piker ist Meeresbiologe und Geschäftsführender Gesellschafter der oceanBASIS GmbH, die zum Beispiel Algenextrakte und die Naturkosmetik Oceanwell entwickelt und vermarktet. Er ist Leiter der F&E sowie für Innovationsmanagement und Internet-Marketing zuständig.

Kontakt

lpiker@oceanbasis.de
www.oceanbasis.de

Produktionsanlagen verfügen. Wir entwickeln die Rezepturen, testen sie intern und geben sie dann in die externe Herstellung. Was komplett bei uns liegt, ist die Entwicklung der Extrakte, die Forschung dazu sowie die Vermarktung – sowohl über unsere eigene Naturkosmetikmarke Oceanwell als auch über den Vertrieb von Extrakten an andere Kosmetikunternehmen.

IM+io Nutzen Sie im Produktionsprozess oder in der Forschung digitale Technologien wie KI?

LP: Tatsächlich spielt KI bei uns eine immer größere Rolle. Zunächst einmal nutzen wir KI im Bereich Recherche – gerade im wissenschaftlichen Kontext ist das besonders hilfreich. Statt viele Fachartikel manuell zu durchsuchen, bekommen wir heute deutlich schneller relevante Informationen. Natürlich prüfen wir das immer kritisch nach, aber es ist eine echte Arbeitserleichterung. In Zukunft wollen wir auch im Kundenbereich KI stärker einsetzen – zum Beispiel, um individuelle Pflegeempfehlungen auf Basis von Hautbedürfnissen zu geben.

IM+io Könnte KI auch direkt in die Produktion eingebunden werden?

LP: Ja, das ist denkbar. Zum Beispiel in unserem Filtrationsprozess, der wegen der viskosen Algenextrakte technisch recht anspruchsvoll ist. Wir arbeiten mit Rückspülsystemen, die momentan noch manuell oder zeitgesteuert laufen. Wenn man das mithilfe von KI smarter steuern könnte – je nach Zustand der Anlage oder Zusammensetzung des Extrakts – wäre das ein echter Gewinn an Effizienz und Ressourcen.

IM+io Arbeiten Sie bei Ihrer Forschung auch mit wissenschaftlichen Einrichtungen zusammen?

LP: Ja, sehr intensiv sogar. Wir sind Teil mehrerer europäischer Forschungsprojekte, etwa im Rahmen von Horizon Europe. Da geht es sowohl um neue Anwendungen für Algen – wie Nahrungsergänzungsmittel – als auch um die Frage, wie man Algenprodukte gesellschaftlich besser verankern kann. In Nord- und Westeuropa ist das ja bisher eher unüblich im Vergleich zu Asien. Daneben kooperieren wir mit Universitätskliniken, Fachhochschulen und Forschungszentren in Deutschland und anderen Ländern.

IM+io Manche sagen, auch nachhaltige Nutzung kann dem Meer schaden. Wie stehen Sie dazu?

LP: Das nehmen wir sehr ernst – schließlich war der Umweltgedanke unser Antrieb von Anfang

an. Bei unserer Algenkultivierung achten wir darauf, dass nichts im Meer zurückbleibt. Die Kulturleinen werden vollständig entfernt, es werden keine Schadstoffe eingesetzt, und das Ökosystem wird durch die Algen sogar unterstützt: Sie produzieren Sauerstoff und binden CO₂.

Darüber hinaus sehen wir unsere Verantwortung nicht nur im direkten Handeln, sondern auch im Bewusstseinschaffen. Deshalb verknüpfen wir unsere wirtschaftlichen Aktivitäten mit einem Bildungs- und Aufklärungsansatz, der Menschen für die Bedeutung intakter Meeresökosysteme sensibilisieren soll – sei es durch Veranstaltungen, Initiativen wie „Protect the Ocean“ oder unsere Kommunikationsarbeit.

Die Alge produziert Sauerstoff, bindet CO₂ und nimmt überschüssige Nährstoffe auf – das ist aktiv positiv für das Ökosystem.

IM+io Können Sie erzählen, was genau hinter Ihrer Initiative „Protect the Ocean“ steckt?

LP: Ja, das ist ein Herzensthema für uns. Wir haben vor über zehn Jahren die Kampagne „Protect the Ocean“ ins Leben gerufen. Dabei fließt ein Teil unserer Produktumsätze direkt in konkrete Meeresschutzprojekte. Wir unterstützen zum Beispiel ein Projekt zum Schutz von Meeresschildkröten an der Elfenbeinküste. Oder hier in der Ostsee, wo wir uns für die Beseitigung von Geisternetzen einsetzen – also alten Fischernetzen, die noch im Wasser hängen und großen Schaden anrichten.

Dabei arbeiten wir mit Organisationen wie One Earth – One Ocean zusammen. Für uns ist das ein logischer Schritt: Wenn wir dem Meer etwas entnehmen, möchten wir

auch etwas zurückgeben – nicht nur symbolisch, sondern ganz praktisch.

IM+io Wie steht Deutschland im internationalen Vergleich da, wenn es um nachhaltige Nutzung des Meeres geht?

LP: Noch recht am Anfang, ehrlich gesagt. In der globalen FAO-Statistik taucht Deutschland bei Aquakultur kaum auf. Wir haben eine starke Meeresforschung, zum Beispiel in Kiel mit dem GEOMAR, aber wirtschaftlich spielen wir noch eine Nebenrolle. Es gibt allerdings gute Ansätze, etwa über Netzwerke wie BlueHealthTech oder das WIR-Bündnis „Plant³“. Dennoch: Länder wie Japan oder Australien sind da deutlich weiter, was Nutzung und Schutz mariner Ressourcen angeht.

Was sich unter der Oberfläche abspielt – ökologisch wie wirtschaftlich – ist für viele weit weg.

IM+io Woran liegt das Ihrer Meinung nach?

LP: Ich glaube, es fehlt oft an Bewusstsein. Eine ehemalige Ministerpräsidentin sagte einmal sinngemäß: Schleswig-Holstein lebt mit dem Rücken zum Meer – und das trifft es gut. Die Küste wird zwar gern als Urlaubsziel gesehen, aber was sich unter der Oberfläche abspielt – ökologisch wie wirtschaftlich – ist für viele weit weg. Dabei sind die Meere enorm wichtig, etwa als CO₂-Speicher im Klimawandel. Das müsste viel stärker ins öffentliche Bewusstsein gerückt werden.

IM+io Was könnte helfen, dieses Bewusstsein zu stärken?

LP: Auf vielen Ebenen etwas. Wir versuchen zum Beispiel, über unsere Marke auch aufzuklären – nicht nur über Produkte, sondern auch über die Bedeutung und Bedrohung der Meere. Politisch wäre es wichtig, marine Themen stärker in den Fokus zu rücken. Und auch in der Bildung kann mehr passieren. Es geschieht

schon einiges, aber es braucht noch mehr Präsenz – in Medien, Schulen, der öffentlichen Diskussion.

IM+io Blicken wir nach vorn: Planen Sie, sich über Kosmetik hinaus breiter aufzustellen?

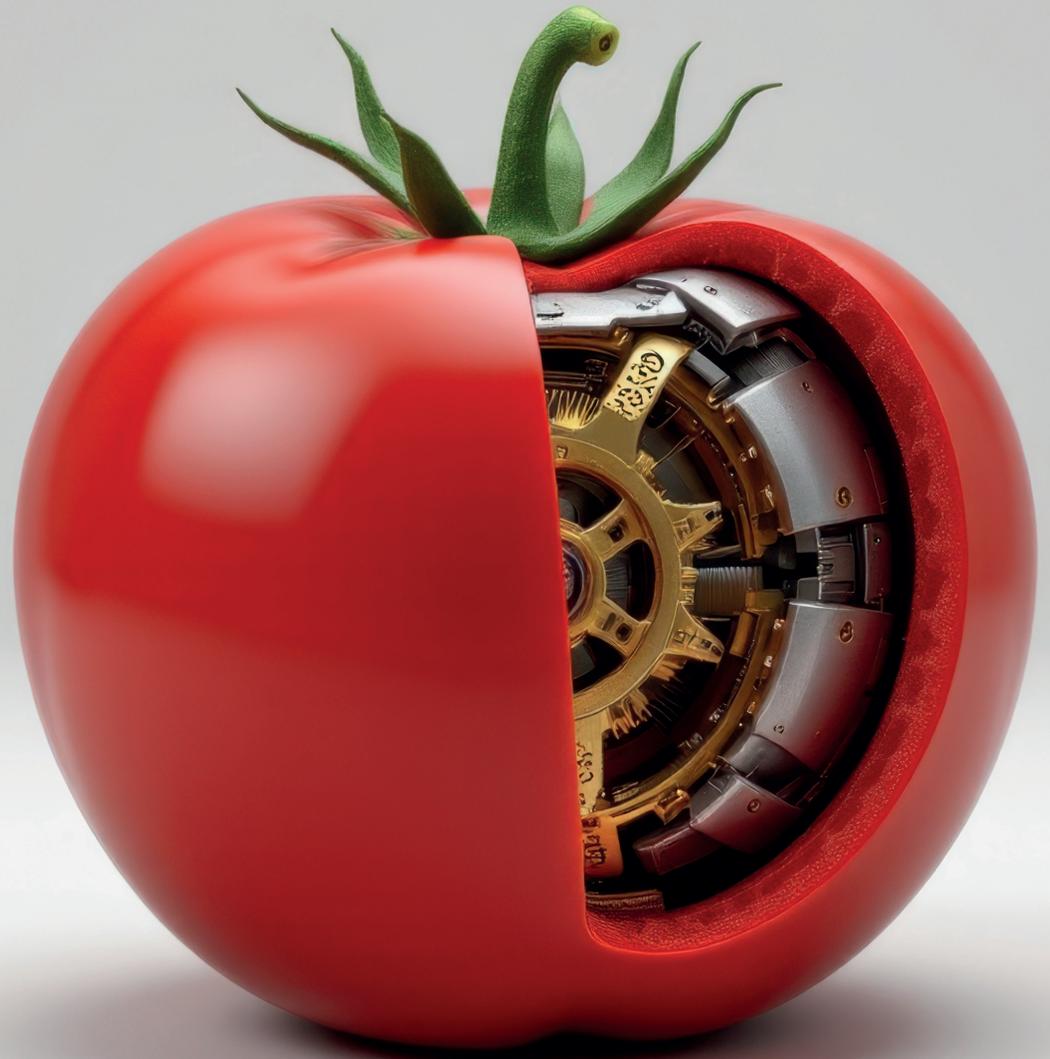
LP: Ja, absolut. Wir haben in der Vergangenheit immer wieder auch medizinische oder ernährungsbezogene Entwicklungen angestoßen – mit teils sehr guten Ergebnissen. Zum Beispiel ein Gel auf Quallenbasis, das die Wundheilung beschleunigt. Oder Polyphenole mit potenzieller Antikrebswirkung. Leider sind solche Projekte oft an regulatorischen Hürden oder Kooperationsentscheidungen gescheitert. Das ist für ein kleines Unternehmen schwer zu kompensieren. Deshalb konzentrieren wir uns derzeit auf Kosmetik und Nahrungsergänzung, behalten aber einiges in der Schublade – wer weiß, wann der richtige Zeitpunkt kommt.

IM+io Was wünschen Sie sich für die Zukunft Ihres Unternehmens?

LP: Wir wollen das Unternehmen auf ein solides Fundament stellen, sowohl wirtschaftlich als auch inhaltlich. Es geht uns darum, unsere Marke weiter bekannt zu machen – nicht nur als Produkt, sondern auch als Botschafterin für eine nachhaltige Meeresnutzung. Gleichzeitig bereiten wir uns auf die nächste Generation vor. Wir möchten, dass unsere Nachfolger:innen genauso viel Freude an der Arbeit haben wie wir. Und wir wollen weiterhin daran arbeiten, die wertvollen Wirkstoffe des Meeres für den Menschen nutzbar zu machen – auf faire, achtsame und innovative Weise. ■

Kurz und Bündig

oceanBASIS wurde 2001 gegründet und entwickelt Wirkstoffe aus Meeresalgen – insbesondere aus Zuckertang (Laminaria) – für Naturkosmetik und Forschung. In der Anfangszeit kultivierte das Unternehmen in der Kieler Förde bis zu einer Tonne Algenbiomasse pro Jahr. Heute wird diese überwiegend aus nachhaltiger Kultivierung in Norwegen bezogen. Der Fokus liegt auf der Extraktproduktion sowie der Marke Oceanwell. Künstliche Intelligenz wird zur Recherche und perspektivisch für personalisierte Pflegeempfehlungen genutzt. Zudem fließt ein Teil der Erlöse in Meeresschutzprojekte.



Zwischen Zahnrad und Zelle: Bioprozesse als Teil industrieller Wertschöpfung

Arber Shoshi, Maximilian Dörr, Yannick Baumgarten, Robert Mieke, Thomas Bauernhansl, Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Wenn Mikroorganismen Bauteile erzeugen und Algorithmen lebende Prozesse steuern, verschwimmen alte Grenzen zwischen Technik und Biologie. Entsteht hier gerade die Logik einer neuen Industrie? Die biologische Transformation zeigt, wie dezentrale Systeme, Naturprinzipien und digitale Steuerung zusammenspielen können – und welche Chancen daraus für Unternehmen erwachsen. Wie lässt sich dieser Wandel praktisch gestalten?

Nachhaltigkeit ist zu einem gesellschaftlichen, politischen und wirtschaftlichen Imperativ geworden. Aber es bleibt eine zentrale Herausforderung, ökologische Verantwortung mit industrieller Wettbewerbsfähigkeit in Einklang zu bringen. Trotz Fortschritten durch Digitalisierung – etwa Industrie 4.0, Digitale Zwillinge oder Blockchain – reichen technologische Lösungen allein nicht aus, um Wertschöpfungssysteme nachhaltig zu verändern [1]. Die biologische Transformation eröffnet hier einen neuen Innovationspfad. Sie beschreibt den Übergang zu einem Wertschöpfungsverständnis, das auf der Konvergenz biologischer, technischer und informationstechnischer Systeme basiert [2]. Ziel ist eine ressourcenschonende, dezentrale Produktion, die Prinzipien aus der Natur nicht nur nachahmt, sondern systematisch nutzt – etwa Kreisläufe oder Anpassungsfähigkeit. Biointelligente Systeme – also solche, die durch biologische Komponenten oder Prinzipien autonom und adaptiv handeln – stellen dabei einen vielversprechenden Lösungsansatz dar [1, 3].

Ein Beispiel ist die automatisierte On-Demand-Produktion mit biobasierten Materialien über additive Fertigung [4]. Solche Anwendungen machen deutlich, welches transformative Potenzial in der biologischen Transformation liegt – technologisch, ökonomisch und ökologisch.

Vor diesem Hintergrund widmet sich dieser Beitrag der biologischen Transformation als Hebel für eine nachhaltige industrielle Zukunft. Er ordnet das Thema zunächst konzeptionell ein, skizziert die technologischen Grundprinzipien, beleuchtet die globale Wettbewerbsdynamik und zeigt auf, welche strategischen Handlungsoptionen sich daraus für Unternehmen ergeben.

Was ist die biologische Transformation?

Die biologische Transformation meint den Übergang von klassischen Industrieprozessen hin zu Systemen, die sich an der Natur orientieren oder durch biologische Komponenten – wie Zellen oder Enzyme – unterstützt werden [5, 6]. Sie verfolgt das Ziel, wirtschaftliches Handeln innerhalb planetarer Grenzen neu zu gestalten und gleichzeitig die Resilienz und Innovationskraft industrieller Systeme zu steigern.

Im Kern geht es darum, von der Natur zu lernen. Biologische Systeme sind dezentral organisiert, anpassungsfähig und kreislauforientiert im Umgang mit Ressourcen. Diese Prinzipien

lassen sich auf Produktion, Logistik, Materialien und Produkte übertragen – und eröffnen so neue Wege zu Nachhaltigkeit und Resilienz [1, 6].

Drei Strategien stehen im Fokus: Erstens, die Nutzung lokaler, erneuerbarer Ressourcen, um globale Abhängigkeiten zu reduzieren. Zweitens, der Aufbau kleiner, autonomer Produktionseinheiten, die sich flexibel in bestehende Prozesse einfügen lassen – sogenannte biointelligente Zellen. Und drittens, neue Formen der Systemarchitektur, bei denen Technik und Biologie auf intelligente Weise verschmelzen.

Durch die Integration digitaler Technologien wie Sensorik, Robotik und Künstlicher Intelligenz entstehen biointelligente Systeme. Kleinskalige, autonome Produktionszellen bilden dabei die Bausteine einer neuen industriellen Logik [3, 7]. Diese können Umwelteinflüsse erfassen, selbstständig reagieren und sich kontinuierlich optimieren.

Das technologische Potenzial ist groß – doch es braucht gezielte Entwicklungsarbeit, um es zu heben. Die Herausforderung besteht darin, biologische und technische Prinzipien nicht nur zu kombinieren, sondern systematisch auf der Grundlage von Automatisierungstechnologie zu integrieren.

Technologieperspektive: Automatisierung macht Biologie industrietauglich

Biologische Prinzipien lassen sich nicht einfach in industrielle Prozesse übertragen. Denn biologische Systeme sind dynamisch, komplex und oft nur schwer steuerbar. Genau hier liegt die technologische Herausforderung der biologischen Transformation: Sie lässt sich nur dann im großen Maßstab umsetzen, wenn die dahinterliegenden Prozesse automatisierbar und digital steuerbar sind.

Damit wird deutlich: Die biologische Transformation ist im Kern ein Automatisierungsthema. Es geht um die Fähigkeit, biobasierte Materialien zu verarbeiten, lebende Systeme zuverlässig zu kultivieren oder adaptive Prozesse in Produktionsumgebungen zu integrieren. Sensorik, Robotik, KI und Bioprozesssteuerung bilden die technologische Basis für diese neue industrielle Realität.

Aktuelle Entwicklungen zeigen, wohin die Reise geht: Additive Fertigung mit biogenen Rohstoffen ermöglicht die ressourcenschonende Herstellung komplexer Bauteile [8].

Digitale Zwillinge biologischer Prozesse



Arber Shoshi

Arber Shoshi ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer IPA im Bereich nachhaltige Wertschöpfungssysteme und Doktorand an der Universität Stuttgart. In seiner Dissertation entwickelt er Richtlinien für Informationslogistik in biointelligenten Systemen.

Kontakt

arber.shoshi@
ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de



David Maximilian Doerr

David Maximilian Doerr ist Projektleiter am Fraunhofer IPA im Bereich Nachhaltige Wertschöpfungssysteme. Er studierte Wirtschaftsingenieurwesen an der RWTH Aachen und koordiniert seit 2017 Geschäftsmodelle. Erfahrungen sammelte er auch in Shanghai.

Kontakt

maximilian.doerr
@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de



Yannick Baumgarten

Yannick Baumgarten leitet Projekte am Fraunhofer IPA zu biointelligenter Fertigung, Laborautomatisierung und nachhaltiger Produktion. Als Sekretär der EU ManuFUTURE-Subplattform vernetzt er Akteure zur Förderung biotechnologischer Innovationen.

Kontakt

yannick.baumgarten
@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de



PD Dr.-Ing. Robert Mieke

Robert Mieke leitet am Fraunhofer IPA den Forschungsbereich Nachhaltigkeit und Biointelligenz. An der Universität Stuttgart verantwortet er den Bereich Lebenszyklustheorie der Wertschöpfung mit Fokus auf biointelligente Wertschöpfungsarchitekturen.

Kontakt

robert.mieke@
ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de

ermöglichen die Simulation und Optimierung von Abläufen in Echtzeit. Ein anschauliches Beispiel sind modulare Minifabriken für neuartige Therapeutika, etwa für die personalisierte Herstellung von Zell- und Gentherapien. Automatisierte Produktionssysteme erlauben dabei eine standardisierte, sichere und wirtschaftliche Fertigung in kleinsten Losgrößen – direkt am Behandlungsort [9].

Neben diesen Pilotfabriken gibt es bereits heute kommerziell nutzbare biointelligente Technologien: So ermöglichen künstliche Biofoundries – automatisierte Plattformen zur Bioprozessentwicklung wie vom Unternehmen Gingko Bioworks [10] – die schnelle Entwicklung neuer Enzyme, Mikroorganismen oder biobasierter Materialien. Auch Precision Fermentation, etwa zur Herstellung von milchähnlichen Proteinen ohne Kuh [11], ist auf dem Weg in den industriellen Maßstab und zeigt, wie Biologie, Automation und Skalierung konkret zusammenspielen.

Technologie übernimmt dabei nicht nur eine unterstützende Rolle – sie ist der Schlüssel zur Skalierung. Ohne ein neues Verständnis von Automatisierung, ohne intelligente Systeme und flexible Steuerungen bleibt die biologische Transformation auf den Labormaßstab beschränkt.

Industrieunternehmen sollten deshalb frühzeitig in diese Technologien investieren und sich mit der Frage beschäftigen, wie sich klassische Automatisierungskonzepte auf lebendige, dynamische Systeme übertragen lassen. Nur wer automatisieren kann, kann biologische Systeme sinnvoll in industrielle Abläufe integrieren.

Ein globaler Wettlauf um biointelligente Märkte

Die biologische Transformation ist kein rein akademisches Konzept – sie ist bereits heute Gegenstand intensiver wirtschaftlicher, politischer und wissenschaftlicher Aktivitäten weltweit. Eine aktuelle Analyse zeigt: Der globale Wettbewerb um biointelligente Technologien und Märkte ist in vollem Gange.

In einem internationalen Benchmark wurden in 11 Ländern mehr als 400 Technologien, über 700 Akteure, 5300 Patente und rund 4 Millionen wissenschaftliche Publikationen identifiziert [12]. In den USA – etwa in Boston oder dem Silicon Valley – arbeiten Forschung, Kapitalgebende und Start-ups eng zusammen.

Diese Vernetzung treibt Innovationen sichtbar voran. Auch Länder wie China, Israel und Großbritannien fördern gezielt die Verbindung von Biologie, Technik und Digitalisierung. Deutschland verfügt über starke Grundlagen: Biotechnologie, Maschinenbau und Automatisierung zählen zu den Kernkompetenzen. Doch im internationalen Vergleich fehlen oft unternehmerische Dynamik, gezielte Förderprogramme und schnelle Skalierung. Dabei ist das Marktpotenzial riesig: Bis 2040 könnten allein 83 untersuchte Anwendungsfälle der biointelligenten Wertschöpfung rund 1 Prozent des globalen BIPs ausmachen. In Branchen wie Ernährung, Energie, Medizin oder Mobilität entstehen neue Märkte, Produkte und Geschäftsmodelle, die biologische und digitale Innovation vereinen [12].

Nur wer automatisieren kann, kann biologische Systeme sinnvoll in industrielle Abläufe integrieren.

Handlungsempfehlungen für Unternehmen

Der Wandel hin zur biologischen Transformation stellt Unternehmen vor große Herausforderungen – eröffnet aber auch konkrete Chancen für Innovation und Marktpositionierung. Entscheidend ist es, diesen Wandel nicht passiv zu beobachten oder reaktiv zu adressieren, sondern ihn aktiv zu gestalten. Unternehmen, die frühzeitig strategische Initiativen ergreifen, können nicht nur ihre Wettbewerbsfähigkeit sichern, sondern auch neue Märkte erschließen und sich zukunftsweisend positionieren.

Bereits heute zieht die Nachfrage auf Kundenseite nach nachhaltigen, biobasierten und digital integrierten Lösungen deutlich an. Insbesondere im internationalen Wettbewerb eröffnen sich durch gezielte Investitionen in die

biologische Transformation erhebliche Potenziale – nicht zuletzt, weil bestehende Stärken in Automatisierung und Digitalisierung als Basis für biointelligente Systeme genutzt werden können. Um die sich eröffnenden Möglichkeiten effektiv zu nutzen, sollten Unternehmen:

- **ein tiefgehendes Verständnis für das Konzept der biologischen Transformation entwickeln.** Dazu gehört die Verbindung klassischer Ingenieursdisziplinen mit digitalen Technologien und biologischen Methoden – etwa Fermentation oder Zellkultur. Nur durch ein ganzheitliches Verständnis der zugrunde liegenden Prinzipien lassen sich Synergien heben.
- **eine unternehmensinterne Bestandsaufnahme vornehmen.** Wer seinen Reifegrad hinsichtlich biologischer Transformationspotenziale kennt, kann sowohl kurzfristige Chancen identifizieren als auch strukturelle Herausforderungen frühzeitig erkennen.
- **auf Basis dieser Analyse strategische Entwicklungspfade definieren.** Dabei stehen sowohl die biointelligente Umgestaltung interner Wertschöpfungsprozesse – etwa zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen – als auch die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen im Fokus. Letztlich führen diese Veränderungen zur Etablierung biointelligenter Geschäftsmodelle, die das Fundament für den langfristigen Unternehmenserfolg bilden.

Ein solcher Transformationsprozess ist in den seltensten Fällen alleine zu bewältigen. Vielmehr bedarf es der Kooperation mit Beteiligten aus Wissenschaft, Industrie und Politik, um den Wandel erfolgreich zu gestalten und neue Innovationsökosysteme zu etablieren.

Fazit und Ausblick

Die biologische Transformation markiert einen fundamentalen Wandel in der industriellen Wertschöpfung – weg von linearen, ressourcenintensiven Strukturen, hin zu dezentralen, anpassungsfähigen und nachhaltigen Systemen. Sie vereint biologische Prinzipien mit digitaler Steuerbarkeit und technischer Präzision und schafft damit die Grundlage für eine neue industrielle Logik. Die Potenziale sind enorm: neue Materialien, neue Märkte, neue Geschäftsmodelle. Sie lassen sich allerdings nur heben,

wenn Unternehmen, Forschung und Politik jetzt gemeinsam handeln. Die dafür notwendige Technologie ist vorhanden – entscheidend ist der Wille zur Transformation. Deutschland verfügt über exzellente Voraussetzungen: stark in Biotechnologie, Maschinenbau und Automatisierung. Nun gilt es, diese Kompetenzen systemisch zu verbinden und zur Basis eines zukunftsfähigen Industriestandorts zu machen.

Die biologische Transformation ist nicht nur eine Antwort auf ökologische Herausforderungen – sie ist eine wirtschaftliche Chance. Eine, die wir nicht verpassen sollten. Impulse und Vernetzung bieten der Biointelligence Summit und der Biointelligenz-Kongress, die sich im jährlichen Rhythmus abwechseln.

Während der Kongress stärker wissenschaftlich und strategisch ausgerichtet ist, bringt der Summit Anwender:innen, Start-ups und Entscheider:innen aus der Industrie zusammen – so auch am 7. Oktober 2025 auf dem Messegelände Stuttgart. Beide Veranstaltungen bieten ideale Plattformen, um sich praxisnah mit biointelligenten Lösungen auseinanderzusetzen und eigene Transformationspfade zu gestalten. ■



Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Thomas Bauernhansl leitet das Fraunhofer IPA und das IFF der Universität Stuttgart. Er forscht zu nachhaltiger, digitalisierter und biointelligenter Produktion und engagiert sich in zahlreichen Industrie- und Forschungsnetzwerken.

Kontakt

thomas.bauernhansl
@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de

Kurz und Bündig

Biologische Transformation verknüpft Naturprinzipien mit Digitalisierung und Technik. Ziel ist eine zirkuläre, automatisierte Produktion mit biointelligenten Systemen – etwa in modularen Minifabriken, digitalen Biofoundries oder durch Precision Fermentation. Grundlage sind Sensorik, Robotik, KI und Bioprozesssteuerung. Unternehmen sollten ihre Kompetenzen in Biotechnologie, Automatisierung und IT strategisch verbinden.



Weitere Infos zum Artikel finden Sie unter folgendem Link: <https://bit.ly/3Zdf2qy>

Vom All auf den Acker: Wenn Satelliten die Saat lenken

Daniel Lenfort, MyDataPlant im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io





Wenn Maschinen selbst entscheiden, wo Dünger wirklich gebraucht wird, steckt mehr dahinter als Technik. Es ist ein Umdenken in der Landwirtschaft – datenbasiert, präzise und ressourcenschonend. Wie schafft man es, aus Satellitenbildern handfeste Handlungsempfehlungen zu machen, die sich live an wechselnde Bedingungen anpassen? Und was bedeutet das für Betriebe, die bisher ganz ohne digitale Unterstützung gearbeitet haben?

IM+io Was macht MyDataPlant und können Sie etwas zur Entstehungsgeschichte erzählen?

DL: Die MyDataPlant GmbH ist ein Unternehmen, das sich auf Satellitendatenverarbeitung spezialisiert hat. Genauer gesagt, geht es bei uns um Fernerkundung und die Entwicklung von Modellen, die wir unter anderem zur Kulturerkennung und im Bereich Precision Farming einsetzen. Unsere Grundlage sind Satellitendaten, aus denen wir digitale Lösungen für die Landwirtschaft ableiten – und zwar so, dass Landwirtinnen und Landwirte ihre Maschinen gezielt und datenbasiert steuern können.

Die Gründungsidee kam damals aus der Marktforschung der Kleffmann Group, die im landwirtschaftlichen Bereich Umfragen durchgeführt hat – zum Beispiel wie viel Gerste oder Raps angebaut wird. Irgendwann kam der Gedanke auf: Warum nicht einfach schauen, was wirklich auf den Feldern wächst – und das aus dem All? So objektiv, schnell und flächendeckend wie möglich. Die Idee entstand tatsächlich während eines Fluges, als Kollegen aus dem Fenster schauten und feststellten: Man sieht doch alles von oben. Das war der Auslöser für die Gründung eines Tochterunternehmens, aus dem später die eigenständige MyDataPlant GmbH wurde.

IM+io Können Sie genauer erklären, wie das mit den Satellitendaten abläuft?

DL: Wir nutzen unterschiedliche Satelliten, die im All Daten erfassen. Unsere Hauptquelle ist das Copernicus-Programm der ESA, also der Europäischen Raumfahrtagentur. Diese stellt sogenannte Sentinel-Satellitenbilder kostenlos zur Verfügung. Jede Person kann theoretisch auf diese Daten zugreifen – nur braucht es Know-how, um die Informationen sinnvoll zu nutzen. Die Bilder enthalten verschiedene Spektralbänder, die richtig interpretiert werden müssen. Genau da setzen wir an: Wir schreiben Modelle, die aus diesen Daten konkrete Aussagen für die Landwirtschaft ableiten können.

Diese Daten werden auch in vielen anderen Bereichen genutzt – zum Beispiel beim Hochwasserschutz oder zur Erkennung von Erdbebenrisiken. Wir haben uns aber bewusst auf die Landwirtschaft spezialisiert. Ich bin selbst gelernter Landwirt und sehe hier enormes Potenzial: Die Flächen liegen offen, lassen sich aus dem All gut erkennen, und die Branche dahinter ist riesig – von Saatgut über Dünger bis hin zur Lebensmittelproduktion.

IM+io Und das heißt, Ihre Technologie hilft Landwirtinnen und Landwirten dabei, Maschinen effizienter einzusetzen?

DL: Ganz genau. Mit unseren Daten können Landwirtinnen und Landwirte ihre Maschinen so steuern, dass beispielsweise der Dünger genau dort ausgebracht wird, wo er auch effizient wirkt. Das heißt, wir helfen dabei, Ressourcen zu schonen, Kosten zu sparen und gleichzeitig Erträge zu steigern. Dabei ist unser Angebot zweigeteilt: Zum einen gibt es unser „MyDataPlant“-Portal – das ist für die landwirtschaftliche Einzelbetriebsebene. Zum anderen haben wir das „CropRadar“-Produkt, mit dem wir überregionale Analysen anbieten – zum Beispiel, wie viel Raps in einer Region steht.

Warum nicht einfach schauen, was wirklich auf den Feldern wächst – und das aus dem All?

IM+io Wie funktioniert das konkret für die Landwirtinnen und Landwirte? Wie nutzen sie Ihre Plattform?

DL: Das ist ein browserbasiertes Online-Portal, in dem sich die Nutzenden registrieren, ihre Felder einzeichnen und daraufhin individuelle Applikationskarten erhalten. Diese Karten zeigen auf, welche Bereiche einer Fläche stärker oder schwächer sind – etwa aufgrund unterschiedlicher Bodenbeschaffenheit. Dann heißt es: Den Dünger bitte eher in den fruchtbaren Bereich, dort wird er auch wirklich in Ertrag umgesetzt. In schlechteren Bodenbereichen würde er hingegen verpuffen – das wäre schlecht für Umwelt und Geldbeutel. Diese Karten können direkt an die Maschinen übertragen werden. Die Maschinen wissen dann selbstständig, wie viel sie wo ausbringen sollen. Das spart Zeit, Ressourcen und macht die gesamte landwirtschaftliche Arbeit effizienter und nachhaltiger.

IM+io Gibt es Möglichkeiten, diese Applikationskarten anzupassen?

DL: Ja, auf jeden Fall. Die Karten, die wir vorschlagen, basieren auf Algorithmen, die die Satellitendaten analysieren. Sie können aber von Landwirtinnen und Landwirten jederzeit angepasst werden. In der Praxis passiert das auch – nicht nur, weil jemand etwas ändern möchte, sondern auch aus Spaß. Es hat zum Beispiel schon Heiratsanträge gegeben, die mit Saatgutmustern ins Feld „gemalt“ wurden.

Aber im Ernst: Es ist ein sehr interaktives Tool. Man kann die Karten personalisieren, verschiedene Saatstärken ausprobieren und diese direkt auf das Traktor-Terminal exportieren. Wir unterstützen dabei nahezu alle gängigen Herstellenden und Dateiformate – das ist ein deutliches Alleinstellungsmerkmal und macht uns besonders kompatibel.

IM+io Wie reagieren Ihre Systeme auf kurzfristige Änderungen, etwa beim Wetter?

DL: Auch dafür haben wir Lösungen. Mithilfe eines sogenannten „agrirouter“ können Daten in Echtzeit zur Maschine übertragen werden – über eine LTE-Verbindung. Das bedeutet: Selbst während der Traktor auf dem Feld steht, können neue Applikationskarten eingespielt werden, wenn sich zum Beispiel die Wetterlage ändert. So lassen sich Saat- und Düngeentscheidungen noch zielgenauer anpassen. Die Nutzerinnen und Nutzer müssen dafür nichts neu konfigurieren – das System übernimmt die Aktualisierung automatisch im Hintergrund.

IM+io Wie herausfordernd war die Entwicklung dieser Technologie?

DL: Sehr. Eine der größten Herausforderungen liegt in der Modellierung selbst. Landwirtschaft ist ein multifaktorielles System. Wachstum hängt von Licht, Wasser, Temperatur, Nährstoffgehalt und vielen anderen Faktoren ab. All diese Variablen in eine stimmige Modelllogik zu bringen – das ist die große Kunst. Die Datenlage verändert sich ständig, die Klimabedingungen ebenfalls, und das beeinflusst die Algorithmen. Für Regionen wie Brandenburg und das Saarland brauchen wir unterschiedliche Trainingsdaten. Und jedes Jahr ist anders – das macht es komplex.

IM+io Wie genau setzen Sie Künstliche Intelligenz in Ihrer Softwarelösung ein?

DL: Wir verwenden KI-gestützte Algorithmen, um aus den riesigen Datenmengen sinnvolle Informationen abzuleiten – zum Beispiel, welche Kultur auf einem bestimmten Feld wächst, wie sich der Pflanzenbestand über die Zeit entwickelt oder wo Ertragspotenziale besonders hoch oder niedrig sind. Die KI lernt dabei anhand sogenannter Ground-Truth-Daten, also echten Beobachtungsdaten, die wir als Trainingsbasis nutzen. Was besonders herausfordernd ist: Die Vegetation reagiert jedes Jahr unterschiedlich – abhängig von Wetter, Bodenverhältnissen oder Bewirtschaftung. Unsere KI-Modelle müssen sich daher ständig anpassen und weiterlernen. Das passiert bei uns kontinuierlich. Wir entwickeln dafür eigene neuronale Netze und integrieren Machine-Learning-Methoden, um aus



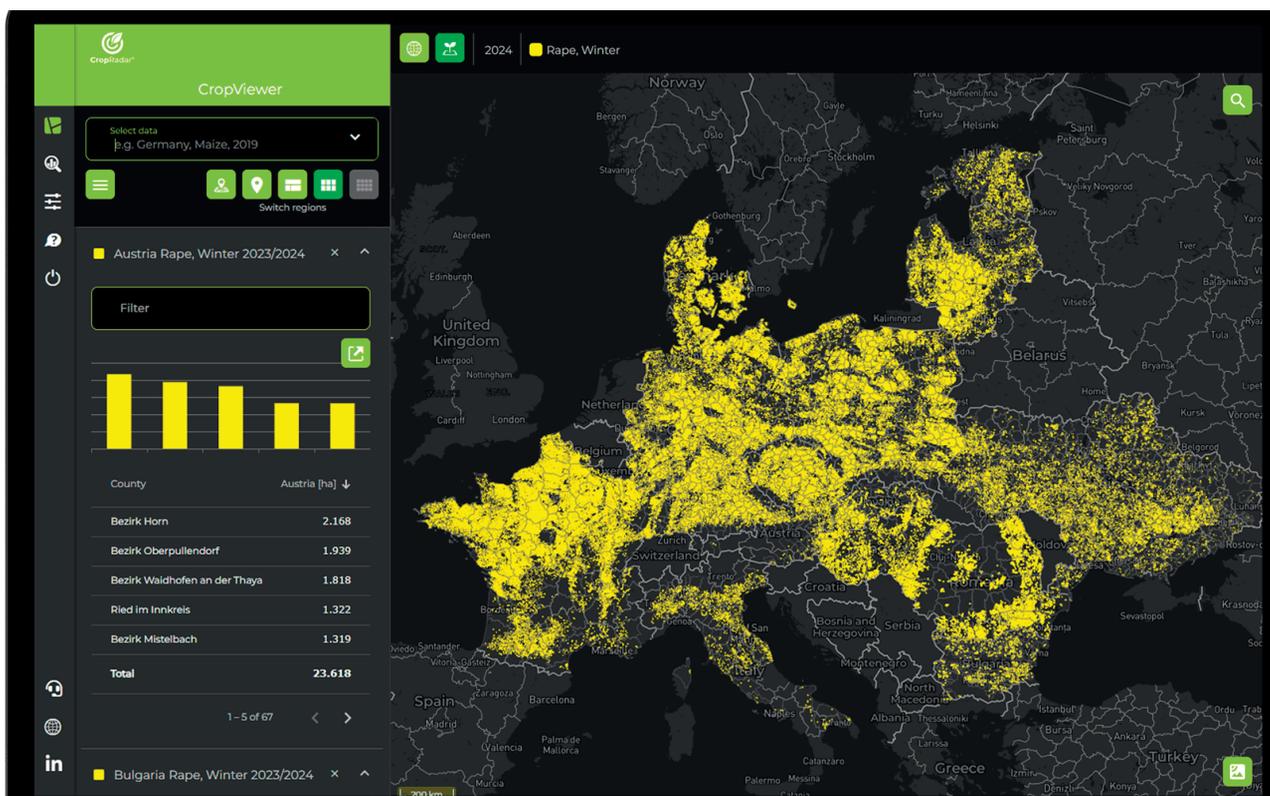
Daniel Lenfort

Daniel Lenfort hat Agrarwirtschaft an der Hochschule Osnabrück studiert und bringt fundierte Praxiserfahrung aus der Landwirtschaft mit. Nach Stationen bei CLAAS ist er seit fünf Jahren COO und CCO der MyDataPlant GmbH.

Kontakt

daniel.lenfort@
mydataplant.com
www.mydataplant.com

Abbildung 1: Interface-Ansicht des CropRadar-Portals.
(CropRadar)



historischen wie aktuellen Daten möglichst präzise Vorhersagen und Empfehlungen ableiten zu können.

IM+io Was bedeutet diese jährliche Anpassung konkret für Ihre KI-Modelle – und wie gehen Sie damit um, wenn in einem Jahr völlig neue Umweltbedingungen auftreten, die es bisher so noch nicht gab?

DL: Das ist tatsächlich eine der größten Herausforderungen für uns. Unsere Algorithmen müssen sich jedes Jahr neu an veränderte Umweltbedingungen anpassen. Es reicht nicht, ein Modell einmal zu trainieren und dann dauerhaft anzuwenden – denn jedes Jahr bringt andere Witterungsverläufe, andere Klimabedingungen und andere Wachstumsdynamiken mit sich. Ein gutes Beispiel ist das extrem trockene Frühjahr in Deutschland, das wir aktuell erleben. So eine Ausprägung haben wir in den bisherigen Satellitendaten noch gar nicht gesehen. Das bedeutet, dass unsere Algorithmen diese Konstellation noch nicht gelernt haben – sie müssen sich quasi komplett neu darauf einstellen.

Wir lösen das, indem wir kontinuierlich neue Trainingsdaten einspeisen – also die bereits erwähnten Ground-Truth-Daten – und unsere KI damit regelmäßig weiterentwickeln. Trotzdem stoßen wir an Grenzen, wenn Umweltbedingungen auftreten, die in unseren historischen Datensätzen noch nicht enthalten sind. In solchen Fällen kann der Algorithmus zunächst nicht mit der gewohnten Genauigkeit arbeiten. Deshalb ist es für uns entscheidend,

schnell zu reagieren, unsere Modelle flexibel zu halten und laufend mit neuen, verlässlichen Daten zu versorgen. Das macht die Arbeit anspruchsvoll, aber auch sehr dynamisch.

IM+io Wie gehen Sie mit diesen Herausforderungen um? Arbeiten Sie mit Forschungseinrichtungen zusammen?

DL: Ja, wir arbeiten eng mit wissenschaftlichen Einrichtungen zusammen – unter anderem mit LUFA-Institutionen, die große Datenbanken zur Bodenbeprobung haben. Diese historischen Daten helfen uns, Algorithmen zu trainieren. Je mehr Daten wir über Biomasseverläufe, Ertragsverhalten oder pH-Werte sammeln, desto besser wird unser System. Wir nutzen auch wissenschaftliche Veröffentlichungen, um neue Korrelationen zu erkennen – auch wenn sie noch nicht praxisreif sind. Vieles ist noch in der Entwicklung, aber genau da liegt auch unser Innovationsanspruch.

IM+io Gibt es Überlegungen, Ihre KI-Systeme auch anderen zugänglich zu machen?

DL: Ja, wir denken derzeit stark in Richtung Methodologie-as-a-Service. Das bedeutet, dass wir nicht nur Software bereitstellen, sondern auch die Methodik dahinter lizenzieren – für andere Unternehmen, die eigene Algorithmen entwickeln möchten. Warum sollte jede Firma das Rad neu erfinden? Wenn wir mit unserem Know-how helfen können, bessere Entscheidungen zu ermöglichen, profitieren alle davon. Kooperation statt Konkurrenz – das ist ein zukunftsfähiger Ansatz.

Abbildung 2: Sinnbild für die Auswertung der Satelliten-Daten.



IM+io Bei solch großen Datenmengen stellt sich natürlich auch die Frage nach Datenschutz. Wie gehen Sie damit um?

DL: Datenschutz ist für uns ein zentrales Thema. Wir betreiben eigene Server in Lüdinghausen, in hochsicheren Rechenzentren. Diese sind gekühlt, feuersicher und entsprechen allen Standards. Unsere Systeme sind redundant aufgebaut und wir verzichten weitestgehend auf Cloud-Dienste großer Anbieter, insbesondere aus den USA. Zusätzlich setzen wir auf Pseudonymisierung statt bloßer Anonymisierung – das bietet höheren Schutz. Wir verkaufen keine Daten weiter und dokumentieren alle Zugriffe auf sensible Informationen. Das ist für uns selbstverständlich.

Kooperation statt Konkurrenz – das ist ein zukunftsfähiger Ansatz.

IM+io Wie ist es mit der Nutzbarkeit des Systems für Landwirtinnen und Landwirte – gibt es da Einstiegshürden?

DL: Die Einstiegshürde ist definitiv da. Es ist eine neue Denkweise und kein Prozess, den man einfach mal schnell nebenbei integriert. Deshalb setzen wir auf enge Betreuung und Schulung – teils über unser eigenes Team, teils über geschulte Vertriebspartnerinnen und -partner. Wer einmal angefangen hat, bleibt aber in der Regel dabei: Unsere Retention Rate liegt bei über 95 Prozent. Der eigentliche Knackpunkt ist, den ersten Schritt zu machen. Jüngere Betriebsleitungen tun sich da oft leichter – das ist ein Generationenthema.

IM+io Wie unterscheidet sich die Akzeptanz Ihrer Technologie im internationalen Vergleich?

DL: Überraschenderweise ist Deutschland im Bereich Digitalisierung nicht führend. Osteuropa, Skandinavien, Benelux – die sind zum Teil deutlich weiter. Polen zum Beispiel ist ein stark wachsender Markt für uns.

In Deutschland gibt es viele administrative Hürden. Ein klassisches Beispiel: Schlaggrenzen – also Feldgrenzen – werden auf Bundeslandebene verwaltet. Jedes Land hat seine eigene Datenbank, was eine Automatisierung extrem erschwert. Im Ausland ist das zentral geregelt. Diese Zersplitterung hemmt den Fortschritt massiv.

IM+io Was wünschen Sie sich, damit sich das verbessert?

DL: Ganz klar: Vereinheitlichung. Weniger Bürokratie, mehr zentrale Strukturen. Viele Systeme könnten längst miteinander reden – wenn man sie denn ließe. Es gibt Softwarelösungen, die das technisch könnten. Nur die Politik blockiert hier oft, bewusst oder unbewusst. Der Föderalismus in Deutschland steht uns dabei häufig im Weg.

IM+io Abschließend gefragt: Wo sehen Sie MyDataPlant in der Zukunft?

DL: Unser Ziel ist es, die führende Anlaufstelle für Precision Farming in Europa zu werden – insbesondere im Bereich Applikationskarten. Darüber hinaus möchten wir unsere Rolle als Kompetenzpartner stärken, unser Know-how in andere Systeme integrieren und über Schnittstellen anderen Unternehmen zur Verfügung stellen. Der Weg dahin führt über Zusammenarbeit, Offenheit und technologischen Fortschritt. ■

Kurz und Bündig

Ein digitales Tool analysiert frei verfügbare Satellitendaten und erstellt darauf basierende Applikationskarten für die Landwirtschaft. Diese helfen, Ressourcen wie Dünger oder Saatgut gezielt und effizient einzusetzen. Die Karten lassen sich individuell anpassen und direkt an Landmaschinen übertragen. Künstliche Intelligenz wertet kontinuierlich wachsende Datenmengen aus, um Empfehlungen zu verbessern. Datenschutz und Kompatibilität mit gängigen Terminals sind sichergestellt.

Start mit Stolpern: Was Biotech-Innovationen zum Scheitern bringt

Max Pöhlmann, Ralf Huss, BioM Biotech Cluster Development GmbH



© Adobe Stock | 50082800 | Panithan

Ein Wirkstoff ist entdeckt, das Labor überzeugt – und dann? Biotechnologische Ideen brauchen Jahre, Millionen und Geduld, bevor sie Menschen erreichen. Viele scheitern nicht am Potenzial, sondern an Strukturen, Prozessen oder Erwartungen. Warum ist gerade in diesem Feld der Weg von der Forschung zur Anwendung so steinig? Und was braucht es, damit mehr Innovation wirklich wirksam wird?

Kaum eine Branche steht so sehr für Fortschritt und gesellschaftlichen Wandel wie die Biotechnologie. Ihre Innovationskraft reicht weit über die Entwicklung neuer Medikamente hinaus. Sie umfasst mögliche Lösungen für globale Herausforderungen wie Klimawandel, Ernährungssicherheit oder Ressourcenschonung. Doch biotechnologische Innovationen sind meist komplex, langwierig und risikobehaftet. Ihre Entwicklung verläuft anders als in vielen anderen Branchen – und nur unter bestimmten Bedingungen kann ihr Potenzial gesellschaftlich wirksam werden.

Innovation in der Biotechnologie – ein besonders anspruchsvolles Terrain

Im Unterschied zu vielen anderen Industriezweigen basieren Innovationen im medizinischen Biotech-Sektor auf einer hochspezialisierten Forschung, deren Ergebnisse sich oftmals nicht unmittelbar in Produkte oder kommerzielle Lösungen übersetzen lassen. Sie beginnt meist mit molekularen oder zellulären Grundlagenforschungen, oft gestützt durch komplexe Plattformtechnologien im Labormaßstab. Diese Erkenntnisse müssen zunächst präklinisch validiert, in ein umsetzbares Konzept überführt, anschließend klinisch geprüft und letztlich in marktfähige Produkte skaliert werden – ein Prozess, der je nach Produkt zehn Jahre oder länger dauern kann und häufig mit enormen Kosten verbunden ist. Wenig überraschend schafft es nur ein Bruchteil der Ideen und Innovationen durch diesen Prozess bis zu einem erfolgreichen Markteintritt.

Wichtig ist auch zu verstehen, dass eine zielgerichtete Forschung dabei die absolute Voraussetzung ist, nicht ein zufälliges Nebenprodukt. Biotechnologische Innovationen „passieren“ daher nicht willkürlich. Sie erfordern systematische, zu Beginn oft öffentlich geförderte Grundlagenforschung, verbunden mit transnationalen Know-how und gezieltem marktorientierten Technologietransfer.

Interdisziplinarität als zentrales Innovationsprinzip

Erfolgreiche Biotechnologie entsteht oft an Schnittstellen – etwa zwischen Naturwissenschaften, Informatik und Ingenieurwesen. Diese Interdisziplinarität ist kein optionales Extra, sondern zunehmend ein zwingender

Erfolgsfaktor. Die Notwendigkeit der (interdisziplinären) Kollaboration erklärt auch, warum es im Bereich der Biotechnologie häufig zu einer sogenannten Clusterbildung kommt. Die Nähe zu Forschungsinstituten und anderen akademischen Einrichtungen sowie zu Unternehmen mit ähnlichem Fokus sind oftmals essenziell, um den Zugriff auf ausreichend Talente und Know-how zu sichern. Gute Beispiele sind hier etwa der Großraum Boston, das Golden Triangle in Großbritannien oder auch das Bayerische Biotechnologiecluster mit seinem Zentrum in Martinsried bei München.

Trotz ihres Potenzials gibt es in Europa kaum Programme, die naturwissenschaftliche und wirtschaftliche Perspektiven systematisch verknüpfen – etwa in der Bioökonomie. Erfolgreiche Translation braucht Verständnis für beides – Wissenschaft und Markt. Während Einrichtungen wie die Harvard Business School gezielt Führungskräfte für Biotech-Unternehmen ausbilden, fehlt es im deutschsprachigen Raum noch an strukturierten Aus- und Weiterbildungsformaten, die forschungsnahe Gründer:innen von Startups auch unternehmerisch qualifizieren. Forschende eignen sich betriebswirtschaftliche Kenntnisse häufig autodidaktisch an oder verzichten aus Kostengründen auf die Unterstützung externer Fachleute mit wirtschaftlichem Know-how und unternehmerischer Erfahrung – was nicht selten zu Missverständnissen mit Investierenden oder zu falsch gesetzten Prioritäten führt.

Innovationsprozesse mit besonderer Risikostruktur

Die medizinische Biotechnologie zeichnet sich durch besonders lange und risikobehaftete Entwicklungszyklen aus. Softwarelösungen sind oft in Monaten marktreif – Biopharmazeutika brauchen dafür meist über zehn Jahre. Hinzu kommt: Ein großer Teil der klinischen Projekte scheitert. Klinische Studien, bestehende regulatorische Anforderungen oder produktionstechnische Hürden, wie eine kostengerechte Herstellung mit hoher Produktqualität, führen dazu, dass nur ein Bruchteil der gestarteten Projekte die Marktreife erreicht. Und wenn ein Produkt schließlich erfolgreich ist, dann befindet es sich in der Regel nicht mehr in der Hand der ursprünglichen Gründerinnen und Gründer.

Mut, Ausdauer und Risikokapital sind Grundvoraussetzungen für eine erfolgreiche



Dr. Max Pöhlmann

Max Pöhlmann studierte Biologie an der LMU München und promovierte am Max-Planck-Institut für Psychiatrie, wobei er internationale Forschungsprojekte unter anderem an der Harvard Medical School leitete. Im Anschluss sammelte er als Projektkoordinator in einer Biopharma-Beratungsfirma umfassende Erfahrung im Projektmanagement. Seit 2021 verantwortet er den Aufbau und die Koordination des Bayerischen Biotechnologie Clusters und stärkt damit gezielt die Entwicklung und Vernetzung der Branche in Bayern.

Kontakt

poehlmann@bio-m.org

www.bio-m.org



Prof. Dr. Ralf Huss

Ralf Huss ist Pathologe, der an renommierten Institutionen wie der LMU München, dem University College Dublin und der TUM lehrte. Nach Stationen bei Roche sowie in mittelständischen Biotech-Unternehmen lag sein Fokus als Gastprofessor in den USA auf regenerativer Medizin und dem Einsatz gentechnisch veränderter Stammzellen. Als Geschäftsführer der BioM Biotech Cluster Development GmbH widmet er sich seit 2023 der Förderung der Biotechnologiebranche in Bayern.

Kontakt

huss@bio-m.org

www.bio-m.org

Vermarktung biotechnologischer Erfindungen. Dies macht die biopharmazeutische Biotechnologie für klassische Investoren mit kurzfristigem Renditefokus und beschränkter Risikobereitschaft wenig attraktiv. Vielmehr braucht es spezialisiertes und überwiegend privates Risikokapital, das wissenschaftliches Potenzial erkennt, realistisch bewertet und vor allem langfristig begleitet.

Struktur der Branche: Innovation aus Start-ups, Skalierung durch Konzerne

Biotech-Unternehmen unterscheiden sich strukturell deutlich von Firmen anderer Innovationsfelder. Die Branche ist überwiegend auf Fusionen und Übernahmen (Mergers & Acquisitions, M&A) ausgerichtet, und der Innovationsprozess ist häufig zweigeteilt: kleine forschungsnahe Start-ups treiben technologische Entwicklungen voran, während große Pharmaunternehmen mit dem notwendigen Kapital, einem passenden Portfolio, globaler Infrastruktur, regulatorischer Expertise und Marktzugang die Zulassung, Weiterentwicklung und Kommerzialisierung übernehmen.

Diese funktionale Aufgabenteilung ist keine Schwäche, sondern eine Konsequenz aus der Komplexität der Produkte und Prozesse. Sie erfordert allerdings klar definierte Übergabepunkte und ein gegenseitiges Verständnis für die jeweilige Rolle im Innovationsökosystem. Gründende, die zu lange an der eigenen Idee festhalten, scheitern genauso häufig wie jene, die in der Hoffnung auf das schnelle Geld an den erstbesten Interessenten verkaufen. Große Unternehmen unterstützen diese Übergänge zunehmend durch eigene Inkubationsprogramme und strategische Partnerschaften.

Regulatorik: Notwendige Sicherheit, aber eine große Hürde

Biotechnologische Produkte, insbesondere im medizinischen und biopharmazeutischen Bereich, unterliegen umfangreichen regulatorischen Anforderungen. Zulassungsverfahren, Sicherheitsnachweise, Qualitätsstandards – all dies ist notwendig, um Sicherheit und Wirksamkeit zu garantieren, stellt jedoch gleichzeitig eine erhebliche, meist finanzielle Herausforderung dar, insbesondere für kleinere Unternehmen.

Regulierung soll kein Innovationshemmnis sein, sondern Teil des Innovationsprozesses. Voraussetzung ist jedoch, dass regulatorische

Prozesse schnell, effizient, transparent und innovationsfreundlich gestaltet sind. Internationale Harmonisierung, digitale Einreichungsverfahren und dialogorientierte Behördenstrukturen müssen dazu beitragen, Innovation zu fördern, ohne Sicherheit zu gefährden oder das Vertrauen in eine zukunftsweisende Branche zu untergraben.

Gesellschaftliche Akzeptanz: Vertrauen als Innovationswährung

Ob mRNA-Impfstoffe, gentechnisch veränderte Pflanzen oder zellbasiertes Fleisch – viele biotechnologische Anwendungen stoßen häufig auf Skepsis in der Bevölkerung. Dieser Argwohn hat oft emotionale, kulturelle oder historische Ursachen und kann Innovation dennoch erheblich verzögern oder verhindern. Eine offene und transparente Kommunikation kann hier hilfreich sein. Biotechnologische Entwicklungen müssen verständlich erklärt und transparent vermittelt werden.

Nur wenn Wissenschaft und Unternehmen komplexe Zusammenhänge greifbar machen, lassen sich Ängste abbauen und Akzeptanz fördern. Wissenschaftskommunikation, gesellschaftlicher Dialog und transparente Aufklärung sind essenziell, um Vertrauen zu schaffen – und damit gesellschaftlichen Nutzen zu ermöglichen.

Gerade bei disruptiven Technologien reicht es nicht, nur Fakten zu liefern – es braucht aktive Formate des Austauschs, die emotionale Aspekte ernst nehmen. Leider wird dieses Thema noch zu oft unterschätzt und alte Vorurteile halten sich auch heute hartnäckig. Das gesellschaftliche Bild von einer pharmazeutischen Industrie, der vorgeworfen wird, mit Krankheiten enorme Gewinne zu erzielen und wenig innovativ zu sein, bleibt auch heute noch überwiegend negativ.

Skalierbarkeit als industrieller Erfolgsfaktor

Biotechnologische Prozesse, die im Labor funktionieren, müssen für industrielle Anwendungen und globale Produktion skaliert werden können – ob bei der Herstellung von Medikamenten, Bioplastik oder synthetischen Kraftstoffen. Diese Skalierung ist technisch anspruchsvoll, erfordert spezialisierte Anlagen, erfahrene Produktionspartner und langfristige Investitionen. Ein fortschreitender technologischer Reifegrad (TRL) allein reicht nicht aus – die Umsetzung und auch die Zeit entscheiden.

Wichtig ist zudem die frühe Berücksichtigung regulatorischer Anforderungen, die mit zunehmender Skalierung komplexer und kostspieliger werden können. Fehlende Standardisierung kann Skalierungsprojekte erheblich verzögern oder sogar scheitern lassen. Damit biotechnologische Verfahren in die Praxis übergehen, braucht es skalierbare Plattformen, erfahrene Beteiligte und gezielte Investitionen in Fachkräfte und Infrastruktur.

Forschende eignen sich betriebswirtschaftliche Kenntnisse häufig autodidaktisch an.

Enorme gesellschaftliche Chancen

Trotz komplexer Herausforderungen eröffnet die Biotechnologie wegweisende Perspektiven für zentrale gesellschaftliche Zukunftsfragen. In der Medizin ermöglichen biotechnologische Innovationen personalisierte Therapieansätze, präzisere Diagnostik und flexible Impfstoffentwicklungen – entscheidende Faktoren für die Bewältigung bisher unheilbarer Erkrankungen und die Stärkung der globalen Gesundheitsresilienz. Der gezielte Einsatz von Künstlicher Intelligenz und Big Data beschleunigt die Wirkstoffforschung und schafft die Grundlage für eine individualisierte und effizientere Versorgung. Darüber hinaus leisten biotechnologische Verfahren einen maßgeblichen Beitrag zu Nachhaltigkeit und Klimaschutz, etwa durch CO₂-neutrale Produktionsprozesse, neue Ansätze in der Kreislaufwirtschaft und innovative Lösungen für die globale Ernährungssicherheit.

Was es braucht, sind Mut, Kapital und politischer Wille

Damit aus exzellenter Forschung auch gesell-

schaftlich wirksame Innovationen entstehen, braucht es in Deutschland einen kulturellen Wandel: Junge Wissenschaftler:innen müssen ermutigt werden, ihre Ideen unternehmerisch zu verfolgen und Start-ups zu gründen. Während in den USA das Scheitern als wertvolle Lernerfahrung gilt, wird es hierzulande noch zu oft stigmatisiert. Um das enorme wissenschaftliche Potenzial besser zu nutzen, müssen wir eine Gründungskultur etablieren, die Mut belohnt, Unternehmergeist fördert und den Transfer von Wissen in die Anwendung aktiv unterstützt.

Außerdem ist der Zugang zu ausreichend Kapital entscheidend – idealerweise verbunden mit passenden Investmentanreizen und einem tiefen Verständnis für die langfristigen Entwicklungszyklen der Branche. Nicht zuletzt erfordert es politischen Willen, verlässliche und innovationsfreundliche Rahmenbedingungen zu schaffen – durch strategische Förderprogramme, den Ausbau spezialisierter Infrastrukturen, Unterstützung von Public-Private-Partnerships, steuerliche Erleichterungen und eine starke internationale Positionierung des Standorts. Um ihr gesellschaftliches Potenzial zu entfalten, braucht Biotechnologie klare politische Rahmenbedingungen – und echten Willen zur Umsetzung. ■

Kurz und Bündig

Biotechnologische Innovationen sind komplex, kapitalintensiv und risikobehaftet. Ihre Entwicklung erfordert interdisziplinäre Forschung, regulatorische Expertise und unternehmerisches Know-how. Start-ups treiben Ideen voran, Konzerne skalieren. Fehlen Gründungskultur, Kapitalzugang und gesellschaftliche Akzeptanz wird das Potenzial gebremst. Für echte Wirkung braucht es klare Rahmenbedingungen, Mut und Ausdauer.



© Organifarms | Roboter BERRY erntet Erdbeeren.

BERRY Smart – Geerntet mit System

Hannah Louise Brown, Organifarms im Gespräch mit Milena Milivojevic, IM+io

Zwischen glänzenden Blättern und langen Stellagen bewegt sich eine mechanische Arbeitskraft durch das Gewächshaus. Kein Mensch lenkt sie – die Entscheidungen trifft sie allein. Reif oder unreif, wertvoll oder Ausschuss? Dieser Roboter weiß Bescheid. Wie wird aus einer simplen Erdbeere ein Datensatz – und was folgt als Nächstes?

IM+io Was macht Organifarms und wie ist die Idee dazu entstanden?

HLB: Wir sind ein Start-up aus Konstanz am Bodensee. Unser Gründungsteam besteht aus drei Personen: Marian Bolz, Dominik Feiden und mir. Gestartet haben wir vor ungefähr vier Jahren mit dem Ziel, Roboter für die Erdbeerernte im Gewächshaus zu entwickeln. Die Idee entstand 2019 auf einem Hackathon in Berlin. Wir haben uns dort kennengelernt und uns gefragt, was es für eine zukunftsfähige Landwirtschaft eigentlich braucht – und welche Herausforderungen mögli-

cherweise in Zukunft noch größer werden.

Bei unseren Recherchen wurde schnell deutlich, dass der Personalmangel ein echtes Problem in der Landwirtschaft ist – nicht irgendwann, sondern schon jetzt. Wir wollten herausfinden, ob und wie sich das technologisch lösen lässt. Daraus entstand die Idee für einen Roboter, der Landwirtinnen und Landwirte bei der Erntearbeit entlastet. Gerade weil viele Betriebe Schwierigkeiten haben, genügend Arbeitskräfte zu finden. Gleichzeitig wollten wir ein System schaffen, das effizienter ist, Kosten

spart und die lokale Produktion aufrechterhält. Dabei war uns besonders wichtig, ein Produkt zu entwickeln, das sich nahtlos in bestehende Betriebsabläufe integrieren lässt – ohne hohe Einstiegshürden oder komplizierte Anpassungen. Unser Ziel war von Anfang an, Technologie nicht als Selbstzweck zu begreifen, sondern als konkreten Nutzen für die Praxis.

IM+io Und wie weit sind Sie inzwischen?

HLB: Inzwischen sind wir ein Team von sechzehn Personen und stehen kurz vor der Markteinführung. Wir haben bereits eine kleine Vorserie unseres Roboters produziert, den wir "BERRY" nennen. Diese Einheiten sind aktuell bei ersten Kundinnen und Kunden im Einsatz, wo sie getestet und natürlich auch weiterentwickelt werden. Es ist ein intensiver, aber spannender Abschnitt für uns.

IM+io Ihr Roboter BERRY wurde sogar mit dem GreenTech Innovation Award ausgezeichnet. Was macht BERRY so besonders?

HLB: BERRY ist ein mobiler Roboter mit einem autonomen Fahruntersatz. Darauf befindet sich ein Roboterarm, außerdem ein Elektronikbereich und ein sogenannter Storage-Bereich – also das Segment, in dem die geernteten Früchte gelagert werden. Der Roboter fährt vollkommen autonom durch das Gewächshaus. Über eine Benutzeroberfläche wählt man einfach aus, welche Reihen geerntet werden sollen. Dann navigiert BERRY selbstständig zu den angegebenen Pflanzen.

Mit seinen Kameras und Sensoren erkennt er, wo sich reife Früchte befinden. Dabei bewertet er den Reifegrad und die Qualität der Erdbeeren. Nur wenn sie bestimmten Kriterien entsprechen, werden sie geerntet – ganz vorsichtig am Stiel über der Frucht. Anschließend werden die Beeren direkt in Verkaufsschalen gelegt und gewogen. Wenn eine Kiste voll ist, tauscht der Roboter sie selbstständig aus. Bis zu vier Kisten kann er gleichzeitig transportieren. Die vollen Kisten bringt er dann eigenständig in den Kühlbereich und lädt neue auf. Das alles passiert vollautomatisch.

IM+io Welche Kriterien waren aus Ihrer Sicht besonders ausschlaggebend dafür, dass BERRY unter so vielen Innovationen hervorstach?

HLB: Ich denke, es war die Kombination aus technischer Innovation und der Übertragbarkeit in die Praxis. Für Menschen ist das Ernten von Erdbeeren vergleichsweise einfach, aber für

Roboter ist es extrem herausfordernd – vor allem wegen der vielen Umweltvariablen: unterschiedliche Lichtverhältnisse, viele Sorten, individuelle Wachstumsformen der Pflanzen. Es ist komplex zu entscheiden, welche Frucht nun wirklich reif ist und wie man sie sicher erntet. Hinzu kommt, dass der gesamte Ernteprozess abgedeckt werden muss. Ein Roboter, der nur pflückt, aber ständig betreut werden muss, ist keine Hilfe. Unser System ist so konzipiert, dass es sich nahtlos in bestehende Abläufe im Gewächshaus integriert. Diese Kombination aus Präzision, Automatisierung und Praktikabilität hat sicher zur Auszeichnung beigetragen.

IM+io Sie beschreiben das System als „Plug and Play“. Was bedeutet das konkret?

HLB: Plug and Play heißt bei uns: Der Roboter kann ganz einfach in Betrieb genommen werden, ohne dass technisches Vorwissen nötig ist. Nach der Erstinstitution durch uns bekommen Nutzerinnen und Nutzer eine intuitive Benutzeroberfläche. Dort wählt man einfach aus, welche Reihen geerntet werden sollen. Mit einem Klick startet der Roboter, alles andere übernimmt er eigenständig.

Man kann zusätzlich Qualitätsparameter einstellen – zum Beispiel den gewünschten Reifegrad oder die Größe der Früchte. Aber auch das ist ganz einfach. BERRY wurde bewusst so konzipiert, dass die Interaktion auf das Wesentliche reduziert ist.

IM+io Funktioniert das nur im Gewächshaus?

HLB: Aktuell ja. BERRY wurde speziell für den Einsatz in Gewächshäusern entwickelt. Er fährt auf vorhandenen Rohrsystemen, wie sie dort häufig installiert sind. Zukünftig wollen wir das System auch für andere Umgebungen nutzbar machen – etwa für Folientunnel, solange die Pflanzen dort auf Stellagen wachsen. Die Voraussetzung ist, dass die



Hannah Louise Brown

Hannah Brown ist Mitgründerin des Ag-Tech-Startups Organifarms, das seit 2021 automatisierte Erntelösungen für den geschützten Anbau entwickelt und mehrfach ausgezeichnet wurde. Darüber hinaus engagiert sie sich als Mentorin und Speakerin für mehr Sichtbarkeit und Förderung von Gründerinnen, etwa bei EXIST Women oder der Female Founders Night.

Kontakt

h.brown@organifarms.de
www.organifarms.de

Für Menschen ist das Ernten von Erdbeeren vergleichsweise einfach, aber für Roboter ist es extrem herausfordernd – vor allem wegen der vielen Umweltvariablen.

Erdbeeren auf einer bestimmten Höhe – ungefähr auf Schulterhöhe – wachsen. Für den Feldeinsatz bräuchte es allerdings eine komplett neue Hardware. Unser Fokus liegt daher vorerst auf geschützten Anbausystemen.

IM+io Planen Sie, auch auf andere Obst- und Gemüsesorten auszuweiten?

HLB: Ja, das ist auf jeden Fall unser Ziel. Unsere Technologie wurde von Anfang an so modular aufgebaut, dass wir sowohl Hardware- als auch Softwarekomponenten austauschen oder erweitern können. Bei der Software bedeutet das vor allem: Die neuronalen Netze müssen mit neuen Daten trainiert werden. Aktuell ist das System auf Erdbeeren optimiert. Aber die Struktur ist so gestaltet, dass wir es relativ einfach auf andere Obst- oder Gemüsesorten übertragen können.

IM+io Sie haben neuronale Netze erwähnt – also Künstliche Intelligenz. In welchen Bereichen setzen Sie diese konkret ein?

HLB: Künstliche Intelligenz spielt bei uns eine zentrale Rolle, vor allem bei der Erkennung der Früchte. Die KI bekommt Trainingsdaten von Früchten in unterschiedlichen Reifezuständen und lernt daraus: So sieht eine gute Erdbeere aus, so eine mit Schimmel, so eine, die noch unreif ist. Auf dieser Basis kann sie dann beim Erntevorgang entscheiden, was mit einer Frucht passiert. Darüber hinaus kommt Künstliche Intelligenz auch bei der Steuerung zum Einsatz – also etwa, welcher Weg zur Frucht der effizienteste ist. Unsere Systeme werden laufend verbessert, die Algorithmen komplexer, und das macht den Roboter immer schneller und präziser.

IM+io Wie trainieren Sie diese Systeme?

HLB: Unsere Softwareentwicklung erfolgt komplett im eigenen Haus. Wir haben eigene Tools, mit denen wir die Künstliche Intelligenz trainieren – also auch die neuronalen Netze. In bestimmten Fällen greifen wir auf bestehende Modelle zurück und entwickeln sie weiter, aber der Großteil ist von uns selbst aufgebaut. Das ermöglicht uns maximale Kontrolle und Flexibilität.

BERRY wurde bewusst so konzipiert, dass die Interaktion auf das Wesentliche reduziert ist.

IM+io Und wenn der Roboter eine schlechte oder beschädigte Frucht erkennt – was passiert dann?

HLB: Da gibt es mehrere Optionen. Entweder bleibt die Frucht einfach hängen und wird ignoriert, oder der Roboter sortiert sie in eine separate Box für Ausschussware. Zusätzlich kann er Früchte in verschiedene Qualitätsklassen einordnen – zum Beispiel Klasse 1 und Klasse 2. Letztere sind vielleicht etwas kleiner oder nicht ganz so schön geformt, aber immer noch gut

Abbildung 1: Voll autonom: Mithilfe von Software und Bilderkennung identifiziert der Ernteroboter Reifegrad und Qualität jeder Erdbeere. (FAZ, Verena Müller)



verkäuflich. Das spart den Landwirtinnen und Landwirten eine Menge Nachsortieraufwand.

IM+io **Wie testen Sie neue Funktionen oder Anpassungen?**

HLB: Zuerst werden Neuerungen bei uns intern simuliert, dann auf einem Testroboter in unserer Werkstatt ausprobiert. Wenn dort alles funktioniert, gehen wir mit der neuen Funktion in die Gewächshäuser. Dort testen wir unter verschiedenen Bedingungen – bei Tag und Nacht, mit unterschiedlichen Sorten, bei verschiedenen Lichtverhältnissen. Wenn wir merken, dass etwas zum Beispiel nachts nicht so gut funktioniert, dann wissen wir: Wir müssen gezielt neue Daten sammeln, damit das System auch unter diesen Bedingungen gut performt.

IM+io **Wie läuft die Zusammenarbeit mit Landwirtinnen und Landwirten ab?**

HLB: Wir sind früh in den Austausch gegangen, weil wir das Produkt nah an den Bedürfnissen der landwirtschaftlichen Praxis entwickeln wollten. Viele Kontakte bestehen schon seit Längerem. Zusätzlich gehen wir auch auf Messen, wie die GreenTech in Amsterdam, um neue Partnerschaften zu gewinnen. Manchmal sprechen wir aktiv Betriebe an, oft kommen Interessierte aber auch direkt auf uns zu, weil sie merken: Die Personalknappheit wird zum Problem, und eine Lösung wie unsere könnte helfen.

IM+io **Und was sagen die Betriebe? Wie ist das Feedback bisher?**

HLB: Insgesamt positiv. Natürlich gibt es anfangs auch Skepsis: Funktioniert das wirklich? Lohnt sich die Investition? Aber wir merken, dass die Offenheit wächst. Viele sagen direkt, das ist genau das, was wir brauchen. Und natürlich hilft es enorm, wenn wir den Roboter live im Einsatz zeigen können – sei es bei Vorführungen im Gewächshaus oder durch Erfahrungsberichte aktueller Kundinnen und Kunden.

IM+io **Ein Roboter ist sicher auch eine Kostenfrage. Wie begegnen Sie dieser Herausforderung?**

HLB: Klar, es ist eine Investition. Aber über die gesamte Lebensdauer des Roboters gerechnet, bieten wir ein Modell an, das wirtschaftlich Sinn ergibt. In vielen Fällen ist der Roboter günstiger als menschliche Arbeitskraft. Wir arbeiten auch mit Partnerunternehmen zusammen, die Leasing- oder Finanzierungsmodelle anbieten. Und wir prüfen gemeinsam mit den

Betrieben, ob es Fördermöglichkeiten gibt. Unser Ziel ist ganz klar: Der Roboter soll nicht nur Arbeit, sondern auch Geld sparen.

IM+io **Wie begleiten Sie neue Kundinnen und Kunden in der Anfangszeit?**

HLB: Aktuell betreuen wir das persönlich. In Zukunft wird es aber Tutorials und Schulungen geben. Die Benutzeroberfläche ist so gestaltet, dass sie durch jeden Schritt führt – intuitiv und ohne technisches Vorwissen. Und mit jeder neuen Kundschaft lernen wir dazu, wo es eventuell noch Fragen gibt. Wir entwickeln unsere Anleitungsmaterialien dementsprechend laufend weiter.

IM+io **Wie produzieren Sie aktuell – auf Lager oder nach Bedarf?**

HLB: Im Moment produzieren wir nach Bedarf. Unser Ziel ist es aber, ab nächstem Jahr die Produktion zu skalieren. Dann wollen wir monatlich eine bestimmte Anzahl an Robotern fertigen und ausliefern können.

IM+io **Wenn Sie nach vorne schauen – wo geht die Reise hin?**

HLB: Ich sehe auf jeden Fall die Weiterentwicklung auf andere Obst- und Gemüsesorten. Parallel wollen wir BERRY skalieren – sowohl technisch als auch auf neue Märkte, etwa über Deutschland und die Niederlande hinaus. Und langfristig – wer weiß – vielleicht gibt es irgendwann auch eine Version für den Feldeinsatz. Die Idee mit dem Roboter unter freiem Himmel ist definitiv ein Ziel, das wir nicht ausschließen. ■

Kurz und Bündig

Ein autonomer Ernteroboter (BERRY) übernimmt im Gewächshaus die vollständige Erdbeerernte: Er erkennt über Künstliche Intelligenz Reifegrad, Qualität und Sortenunterschiede, sortiert in Klassen und wechselt Transportkisten selbstständig. Die Bedienung erfolgt über eine intuitive Oberfläche. Entwickelt wurde das System modular für den Einsatz in Stellagen – perspektivisch auch für andere Sorten. Produziert wird derzeit nach Bedarf, die Skalierung ist geplant.

Code statt Klemmbrett:

Wie Prozesse intelligent wachsen

Ralf Schmidt, Scheer GmbH



Verkabelte Geräte, handschriftliche Notizen, doppelte Dateneingaben – so sieht der Alltag in vielen Biotech-Laboren noch immer aus. Während Anforderungen wachsen, fehlt es oft an durchgängigen digitalen Prozessen. Wie gelingt es, veraltete Strukturen zu überwinden und mit intelligenter Technologie neue Potenziale zu erschließen?

Die Biotechnologiebranche steht an einem entscheidenden Wendepunkt. Globaler Wettbewerbsdruck, regulatorische Anforderungen, steigende Erwartungen an Nachhaltigkeit sowie der Wunsch nach beschleunigter Forschung und Produktion stellen Unternehmen vor große Herausforderungen. Die Digitalisierung bietet ein immenses Potenzial, diesen Herausforderungen zu begegnen – vorausgesetzt, sie wird strategisch, integriert und technologisch fundiert in einem prozessorientierten Ansatz umgesetzt. SAP-Komponenten wie S/4HANA, SAP Business Technology Platform (BTP), SAP Digital Manufacturing, SAP Business Data Cloud und SAP Joule spielen dabei eine zentrale Rolle.

Ausgangslage: Legacy-Prozesse als Innovationsbremse

In vielen Biotech-Unternehmen dominieren historisch gewachsene IT-Landschaften. Inselösungen, papierbasierte Laborjournale, nicht integrierte Produktionssysteme und manuelle Schnittstellen erschweren die durchgängige Datenverarbeitung und wirken innovationshemmend. Typische Schwächen dieser Legacy-Systeme sind:

- Medienbrüche zwischen F&E, Labor, Produktion und Qualitätssicherung
- Redundante Dateneingaben mit hoher Fehleranfälligkeit
- Fehlende Echtzeittransparenz in Herstellungs- und Analyseprozessen
- Aufwendige regulatorische Nachweispflichten (beispielsweise für FDA oder EMA)
- Begrenzte Skalierbarkeit und Innovationsfähigkeit

Digitalisierung als Treiber für Effizienz, Innovation und Nachhaltigkeit

Die Digitalisierung birgt die Möglichkeit, biotechnologische Wertschöpfungsketten grundlegend zu transformieren. Moderne Plattformen erlauben es, Daten aus Labor, Produktion, Supply Chain und Management in Echtzeit zu erfassen, zu analysieren und nutzbar zu machen. Die Potenziale sind enorm:

- **Effizienzsteigerung:** Automatisierte Workflows reduzieren manuelle Aufwände

- **Bessere Compliance:** E-Aufzeichnungssysteme erleichtern Auditierbarkeit
- **Künstliche Intelligenz:** KI-gestützte Auswertung von Labordaten zur Wirkstoffoptimierung
- **Nachhaltigkeit:** Ressourcenverbrauch durch digitale Transparenz senken
- **Produktionssicherheit:** Prädiktive Wartung verhindert Anlagenstillstände

SAP als Enabler des digitalen Biotech-Unternehmens

SAP bietet ein umfassendes Ökosystem, um Biotech-Unternehmen bei der digitalen Transformation zu unterstützen. Die Komponenten greifen nahtlos ineinander und ermöglichen eine durchgängige Ende-zu-Ende-Integration:

- **SAP S/4HANA:** Das digitale Herzstück für betriebswirtschaftliche Prozesse. Es integriert Finanzwesen, Supply Chain, Produktion und Qualitätsmanagement in Echtzeit.
- **SAP BTP:** Die Business Technology Platform ermöglicht die Entwicklung, Integration und Erweiterung von Anwendungen. Sie bietet KI-Dienste, API-Management, Low-Code/No-Code-Werkzeuge und Datenanbindung.
- **SAP Digital Manufacturing:** Diese Lösung vernetzt Maschinen, Sensoren und Produktionssysteme in Echtzeit. Sie erlaubt lückenlose Chargenrückverfolgung, OEE-Analyse (Overall Equipment Effectiveness) und Qualitätssteuerung.
- **SAP Business Data Cloud:** Daten aus heterogenen Quellen werden harmonisiert und stehen zentral für Reporting, Analyse und Simulation bereit – ein kritischer Erfolgsfaktor in forschungsintensiven Branchen.
- **SAP Joule:** Die KI-Komponente analysiert große Datenmengen, erkennt Muster und generiert Vorhersagen. In der Biotech-Branche unterstützt sie etwa bei der Vorhersage von Prozessabweichungen oder dem Screening von Substanzen.

Labor- und Produktionssysteme: Integration als Erfolgsfaktor

Die Verzahnung von Labor- und Produktionsdaten stellt eine besondere Herausforderung dar. Traditionell arbeiten diese Bereiche mit



Ralf Schmidt

Ralf Schmidt ist seit über 30 Jahren in der IT- und Prozessberatung tätig, mit einem Schwerpunkt auf der Chemie-, Pharma- und Life-Science-Branche. Er verantwortet strategische SAP-Projekte sowie die Business Unit Chemie | Pharma | LifeSciences und ist aktuell Director bei der Scheer Group.

Kontakt

ralf.schmidt@
scheer-group.com
www.scheer-group.com

unterschiedlichen Systemen (zum Beispiel LIMS, MES, SCADA), die selten integriert sind. Eine moderne SAP-Architektur erlaubt hier einen Brückenschlag:

- SAP Digital Manufacturing als das MES-System im Shopfloor
- Mit SAP BTP lassen sich LIMS-Daten über APIs in Echtzeit einbinden
- SAP S/4HANA bildet Qualitätsmanagement- und Chargendaten digital ab
- Die Business Data Cloud integriert externe Forschungsdatenbanken (beispielsweise Genomics)

So entsteht ein geschlossenes Ökosystem, das Informationen ohne Medienbruch durch alle Wertschöpfungsstufen fließen lässt.

Nachhaltigkeit ist nicht länger ein reines Reporting-Thema, sondern wird zur Steuerungsdimension.

Nachhaltigkeit durch digitale Transparenz und Steuerung

Nachhaltigkeit ist nicht länger ein reines Reporting-Thema, sondern wird zur Steuerungsdimension. SAP ermöglicht es, Umweltkennzahlen wie CO₂-Emissionen, Energie- und Wasserverbrauch in Echtzeit zu erfassen und mit Geschäftsprozessen zu verknüpfen. Mit Hilfe von KI lassen sich diese Daten für Optimierungen in Produktion und Logistik nutzen.

Künstliche Intelligenz: Vom Datenmeer zur Erkenntnis

Die Biotech-Branche erzeugt enorme Datenmengen – etwa aus Hochdurchsatz-Analysen,

klinischen Studien oder Sensorik. SAP Joule in Verbindung mit BTP erlaubt es, diese Daten intelligent zu strukturieren, relevante Muster zu identifizieren und Handlungsoptionen abzuleiten. So können etwa Anomalien im Herstellungsprozess frühzeitig erkannt und automatisch Gegenmaßnahmen ausgelöst werden.

Die Biotech-Branche erzeugt enorme Datenmengen – etwa aus Hochdurchsatz-Analysen, klinischen Studien oder Sensorik.

Transformationsprozess: Von der Strategie zur vernetzten Wertschöpfung

Der prozessorientierte Ansatz der Scheer IDS unterstützt die Transformation dabei ganzheitlich über das Business-Alignment bis zur Betriebsphase, umfasst mehrere Schritte und beinhaltet den ACTIVATE-Ansatz der SAP:

1. **Discover:** In einem Vorprojekt oder in einer Phase 0 die Ziele des Business als Leitplanken für das Transformationsprojekt definieren, den Status Quo feststellen, das Zielbild erarbeiten und die Roadmap für das Programm bestimmen
2. **Prepare, Explore, Realize:** Nach der Projektvorbereitung die zukünftigen Sollprozesse und funktionalen Lösungen ausgehend von den SAP und Scheer Best Practices standardnah erarbeiten. In der Realisierungsphase die Konzepte agil in mehreren Iterationen umsetzen
3. **Deploy:** Realisierte Systemlösungen integriert testen und validieren, Benutzer intensiv schulen und nach dem Cut-Over einen effizienten Hypercare-Support gewährleisten

4. **Run:** neue Prozesse und Funktionalitäten stabilisieren und neue Innovationen kontinuierlich umsetzen

Die Digitalisierung kann hier nicht nur für Effizienz sorgen, sondern auch regulatorische Prozesse beschleunigen und Risiken minimieren.

Regulatorische Anforderungen: Digitalisierung als Compliance-Beschleuniger

Die Biotechnologiebranche ist stark reguliert. Unternehmen müssen strenge Vorgaben erfüllen – etwa von FDA, EMA oder anderen nationalen Behörden. Dabei geht es nicht nur um Produktsicherheit, sondern auch um die lückenlose Rückverfolgbarkeit von Produktionsschritten, Datenintegrität sowie den sicheren Umgang mit sensiblen Forschungsdaten. Die Digitalisierung kann hier nicht nur für Effizienz sorgen, sondern auch regulatorische Prozesse beschleunigen und Risiken minimieren.

Ein integriertes SAP-System ermöglicht beispielsweise die automatisierte Generierung und Verwaltung von Audit Trails – also digitalen Prüfpfaden, die jede Änderung im System dokumentieren. Dies reduziert den Aufwand für manuelle Dokumentation erheblich und schafft gleichzeitig eine belastbare Datenbasis für externe Audits. Über die SAP Business Technology Platform lassen sich auch rollenbasierte Zugriffsrechte definieren und nachvollziehbar steuern – ein zentrales Element der Datensicherheit.

Zudem kann mit SAP Digital Manufacturing jede Produktionscharge in Echtzeit überwacht und rückverfolgt werden. Bei Abweichungen oder Qualitätsproblemen lassen sich

Ursachen schneller analysieren und regulatorische Berichte automatisch vorbereiten. Die Business Data Cloud wiederum erlaubt es, alle relevanten Daten aus verschiedenen Systemen zentral zu harmonisieren – ein kritischer Vorteil, wenn Behörden konsistente und vollständige Reports verlangen.

Künstliche Intelligenz, etwa in Form von SAP Joule, kann auch im Compliance-Kontext eingesetzt werden – etwa zur frühzeitigen Erkennung von Prozessabweichungen, die eine potenzielle regulatorische Relevanz haben könnten. Das erlaubt proaktives Eingreifen statt reaktiven Krisenmodus.

Für Biotech-Unternehmen bedeutet das: Wer auf durchgängig digitale, standardisierte Prozesse setzt, gewinnt nicht nur an Geschwindigkeit und Qualität – sondern verschafft sich auch einen Vorteil in der regulatorischen Absicherung. Das spart langfristig nicht nur Kosten, sondern erhöht auch die Chancen für eine erfolgreiche und zügige Marktzulassung neuer Produkte. ■

Kurz und Bündig

Die Biotech-Branche steht unter Druck: veraltete IT-Strukturen, regulatorische Hürden und steigende Nachhaltigkeitsanforderungen erschweren effiziente Prozesse. Digitale Lösungen wie SAP S/4HANA, BTP oder Digital Manufacturing ermöglichen durchgängige Datenintegration, Echtzeittransparenz und KI-gestützte Prozessoptimierung – vom Labor bis zur Produktion. Im Fokus stehen Automatisierung, Nachhaltigkeit, Compliance und eine skalierbare Transformation mit prozessorientiertem Ansatz.

Sweat Signals:

What Your Skin Knows Before You Do

Chang-Ho Han, KIST Europe



© Adobe Stock | 1087852449 | JDDay

A patch the size of a coin sits quietly on the skin. No pain, no wires, no lab visits—yet it continuously monitors what’s happening inside the body. Glucose, hydration, even signs of infection are tracked in real time, through sweat or tears. It sounds simple, almost invisible. But behind this ease lies a complex system of sensors, chemistry, and data. What does it take to bring such subtle technology to life—and into everyday healthcare?

In healthcare and personal wellness, a new generation of wearable biosensors is emerging that can analyze the body's chemical signals through the skin [1]. These devices use microfluidic technology to capture and assess biomarkers from sweat, tears, or other skin-secreted fluids, without needles or lab tests. In doing so, they enable real-time health monitoring in a continuous and noninvasive manner. This article explores how these sensors function, their core components and applications, the challenges that remain, and the broader societal implications of their widespread adoption.

Biotechnological Components

Noninvasive microfluidic biosensors function as miniature „labs on the skin,“ integrating multiple technologies into a single wearable device. They combine several key components that work together to sample biofluids and detect target molecules:

- **Microfluidic Channels:** Tiny capillary networks are embedded in a flexible patch to **wick sweat or interstitial fluid** from the skin into the device [2]. These channels distribute minute fluid samples to different test chambers.
- **Chemical Sensors:** At the heart of the patch, sensor elements are tuned to specific biomarkers. For example, electrochemical sensors use enzyme-coated electrodes (such as glucose oxidase) that produce an electrical signal when a target analyte is present [3]. Colorimetric sensors use reagents that change color in the presence of certain ions or molecules (for instance, pH or chloride indicators) [4]. The resulting electrical or color changes correlate to the concentration of the analyte.
- **Flexible Substrate and Adhesive:** The device is built on a thin, bendable material (e.g. silicone or polyurethane) that conforms to the body. Skin-friendly adhesive ensures the patch stays on through movement and sweating without causing irritation. The flexibility and stretchability help maintain good skin contact and user comfort during daily activities.
- **Electronics and Data:** Many patches include tiny electronics for signal processing and wireless data transmission. A compact Bluetooth or NFC module transmits sensor

readings wirelessly to a connected smartphone application [6]. Some designs are battery-powered while others harvest energy (using, for example, the phone's NFC field or even biofuel cells that run on sweat lactate). The raw sensor signals are processed into meaningful readings and then displayed to the user via an app or onboard indicator, showing metrics like glucose level or hydration status in real time.



Chang-Ho Han

Chang-Ho Han is a Senior Researcher at KIST Europe in Saarbrücken. He earned his Ph.D. in Mechanical Engineering from UNIST, Korea, focusing on microfluidic sensors for rapid bacterial detection. His work bridges microfluidics, biosensing, and biomedical devices.

Kontakt

chang-ho.han@

kist-europe.de

www.kist-europe.de

Noninvasive biosensors enable real-time health monitoring through sweat, offering a needle-free alternative for tracking vital biomarkers.

Applications

Due to their versatility, microfluidic biosensors are being developed and tested across diverse fields – from chronic disease management to athletic performance and advanced wound care. Notable examples include:

- **Diabetes Management:** A prominent goal is continuous glucose monitoring via sweat. For diabetic patients, a skin patch that tracks glucose levels could reduce the need for finger-prick blood tests [3]. Early prototypes have demonstrated that sweat glucose trends can reflect blood glucose changes, though calibration is required for accuracy.
- **Sports & Fitness (and Beyond):** Athletes and workers in extreme conditions can benefit from patches that monitor hydration and fatigue. Measuring electrolyte loss (sodium, potassium, chloride) in sweat helps determine when and what to rehydrate with, preventing dehydration and cramps. Likewise, tracking lactate levels gives insight

into muscle fatigue and endurance limits [4]. Such wearable sweat sensors have been tested on endurance athletes to provide live feedback, and similar technology can alert soldiers or firefighters to early signs of heat stress before it becomes dangerous.

- **Wound Care & Medical Diagnostics:** Smart bandages with microfluidic sensors can detect signs of infection or inflammation in wound fluid. For example, a patch can monitor wound pH or the presence of bacterial enzymes to signal if an infection is developing, without removing the dressing [9]. More generally, on-skin biosensors could aid in diagnostics by measuring biomarkers for disease: researchers are investigating patches for monitoring drugs (like lithium levels) or detecting stress hormones and immune markers noninvasively.

Applications span from diabetes management and athletic performance to wound care and remote diagnostics, marking a shift toward personalized, preventive healthcare.

Challenges

Despite their promise, skin-interfaced biosensors face several technical and practical hurdles that must be addressed before they can achieve mainstream integration:

- **Calibration & Variability:** Readings from sweat or other skin fluids must be calibrated against blood values. Sweat rates and individual differences can dilute or skew measurements, so algorithms are needed to interpret the data accurately [5]. Ensuring

consistent accuracy across different people and conditions is an ongoing challenge.

- **Sample Volume:** These devices rely on the body's natural fluid secretion. If a person isn't sweating much, it can be hard to get enough sample for a reliable measurement. Similarly, tear-based sensors (like experimental smart contact lenses) face issues when tear fluid is scant. Methods to stimulate sweat production or operate with ultra-small volumes are being developed.
- **Sensor Stability:** Over time, biosensor performance can degrade as reagents deplete or sensor surfaces become fouled through repeated exposure to biofluids. Enzymes may lose activity and electrodes can become less responsive. Maintaining calibration and sensitivity over hours or days of wear is difficult [9]. New materials and coatings are being studied to extend sensor lifespan and reduce biofouling.
- **Power & Communication:** Providing power to on-skin sensors without sacrificing comfort is a technical hurdle. While simple patches rely on color change (needing no power), advanced ones with electronics require energy. Tiny batteries have limited life and add bulk, but battery-free designs (powered by NFC or biofuel cells) are complex [6]. Wireless communication must also be robust through the body – connectivity issues could lead to data gaps.
- **User Comfort:** A biosensor patch must remain in place during daily activities (exercise, showering, sleeping) yet be comfortable and easy to remove. Achieving strong adhesion with minimal skin irritation is tricky. If a device is cumbersome or causes discomfort, users won't wear it consistently, defeating its purpose.
- **Privacy & Regulation:** As with any device collecting personal health data, ensuring data privacy is crucial. Users need confidence that their sweat or biochemical data won't be misused [8]. Moreover, before these sensors can be used clinically, they must pass regulatory scrutiny for safety and efficacy. Gaining approvals (e.g. FDA clearance) requires rigorous validation that the device's readings can guide medical decisions reliably [10].

Each of these challenges is an active area of research and development. For instance, machine

learning techniques are being applied to improve calibration by accounting for variables like sweat rate and skin temperature in real time. New adhesive materials and device designs aim to make patches virtually unnoticeable to the wearer. Over time, these hurdles are expected to be overcome, paving the way for wider use of skin-mounted biosensors.

Challenges like calibration accuracy, fluid sample limitations, and data privacy remain, but ongoing innovations aim to overcome them for wider adoption.

Societal Impact

The rise of noninvasive, on-skin biosensors could have a profound impact on healthcare and daily living. By enabling continuous, real-time monitoring, they herald a shift toward more preventive and personalized healthcare. Individuals would be empowered to track their wellness day-to-day and catch early signs of trouble rather than relying only on occasional check-ups [7]. For example, someone with hypertension or diabetes could receive instant feedback from their sensor and adjust their behavior (medication, diet, or activity) before a condition worsens.

Healthcare systems could also benefit from this abundance of real-time data. Doctors might remotely monitor patients through data streamed from biosensor patches, allowing them to intervene earlier and reduce the need for in-person visits. A postoperative patient, for instance, could go home with a smart bandage that alerts the doctor if inflammation or infection markers rise, prompting

timely advice or a return to clinic. Such telemedicine applications could improve outcomes and ease the burden on healthcare facilities.

However, the widespread adoption of skin-mounted biosensors also introduces critical ethical and societal questions that must be proactively addressed. Managing the large volume of personal health data securely is paramount – users must trust that their sensitive biometric information remains private and protected [8]. Clear regulations will be needed to govern who can access this data and how it can be used. There is also the question of user consent and comfort: not everyone may feel at ease with continuous monitoring of their body, and some could experience anxiety from constant health data feedback. Society will need to balance these concerns with the potential benefits.

In conclusion, noninvasive microfluidic biosensors exemplify a cutting-edge convergence of biology, microtechnology, and digital health. As this field progresses, we may soon see wearable patches that routinely monitor our bodies' chemistry as easily as today's smartwatches track our steps. Overcoming the remaining challenges will be key to making this vision a reality. If successful, skin-mounted biosensors could revolutionize personal healthcare by enabling individuals and clinicians to make more informed, timely decisions—shifting the paradigm from reactive to truly preventive care. ■

In short

Skin-worn microfluidic biosensors collect sweat or tears to measure glucose, electrolytes, lactate, pH, or inflammation—without needles. They use enzyme-coated or colorimetric sensors, flexible substrates, and wireless data transfer. Applications span diabetes, sports, wound care, and stress monitoring. Challenges include calibration, sample volume, sensor stability, power supply, and privacy.

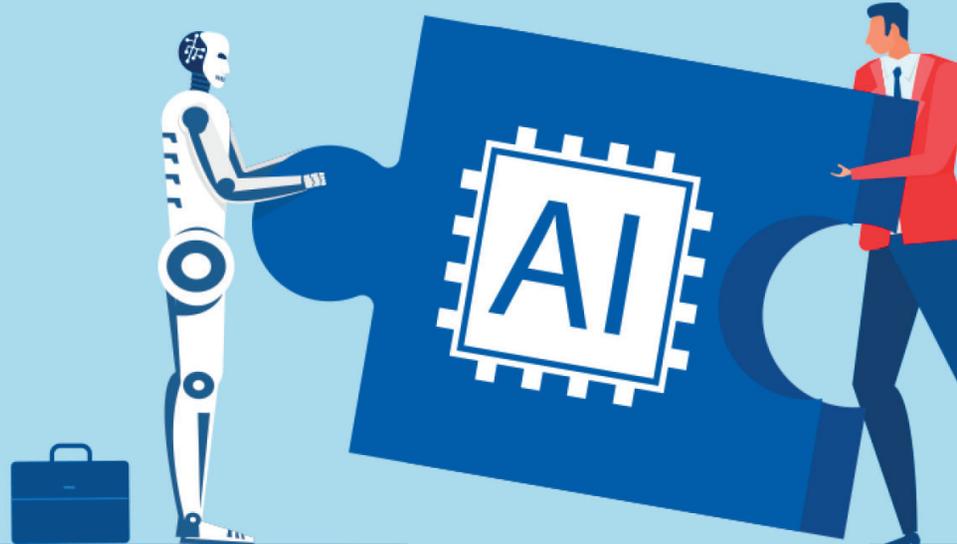


Further information about the article can be found at the following link: <https://bit.ly/43qm6CD>

KI in Unternehmen:

Vom Experiment zur Notwendigkeit

Isabell M. Welp, TUM, Mario Pofahl, Linklaters



In Unternehmen auf der ganzen Welt laufen immer mehr Prozesse im Hintergrund mit Unterstützung von Künstlicher Intelligenz. Ob in der Finanzbranche, in der Produktion oder im Rechtswesen – moderne KI-Tools sind längst fester Bestandteil der Geschäftsstrategie. Sie helfen, Daten effizienter zu nutzen, Abläufe zu automatisieren und fundierte Entscheidungen zu treffen. Mit dem rasanten Fortschritt kommen auch neue Herausforderungen: Wie lässt sich KI sinnvoll in bestehende Geschäftsmodelle integrieren? Welche rechtlichen und strategischen Fragen müssen Unternehmen dabei berücksichtigen? Diese Punkte stehen im Zentrum einer Studie, die den Einfluss von KI auf Unternehmen, Strategien und rechtliche Rahmenbedingungen analysiert.



Prof. Dr. Isabell M. Welpé

Isabell Welpé unterrichtet am Lehrstuhl für Strategie und Organisation an der TU München und leitet die gleichnamige Forschungsgruppe. Ihre Expertise umfasst die digitale Transformation von Unternehmen, Geschäftsmodellinnovationen, die Auswirkungen digitaler Technologien auf Wirtschaft und Organisationen sowie die Zukunft von Führung und Arbeits-/ Organisationsgestaltung.

Kontakt

welpe@tum.de

www.tumcso.com

www.strategy.wi.tum.de

© AdobeStock | 937293400 | TA design

Die rapiden Fortschritte im Bereich der Künstlichen Intelligenz führen zu tiefgreifenden Veränderungen in der Geschäftswelt. Dazu hat die Wirtschaftskanzlei Linklaters zusammen mit Isabell Welpé, Professorin an der Technischen Universität München, eine umfassende Studie durchgeführt, um die strategischen und rechtlichen Auswirkungen dieser Technologie zu analysieren.

Die Studie „AI as a driver for corporate transformation“ untersucht, wie Unternehmen KI in ihre Geschäftsmodelle und Unternehmensstrategien integrieren, welche Herausforderungen und Chancen KI für strategische Unternehmenstransaktionen bietet und wie sich die Rollen von Wirtschaftsjurist:innen sowie von Führungskräften der Rechtsabteilung (General

Counsel) entwickeln. Insgesamt wurden 236 Vorstände, Leiter:innen und Mitarbeitende von Rechtsabteilungen sowie in M&A-Transaktionen involvierte Manager:innen und Expert:innen aus börsennotierten und großen mittelständischen Unternehmen befragt. In der ersten Phase der Studie wurden persönliche Interviews mit Branchenexpert:innen geführt, um ein tiefgehendes Verständnis für die derzeitige Nutzung von KI und deren erwartete Entwicklung in den kommenden drei bis fünf Jahren zu gewinnen. Dabei lag ein besonderer Fokus auf der Frage, wie KI langfristig Unternehmensstrukturen, Entscheidungsprozesse und regulatorische Rahmenbedingungen beeinflusst.

Ergänzend wurde ein umfangreicher Fragebogen entwickelt, der sowohl den aktuellen



Mario Pofahl

Mario Pofahl ist Partner im Bereich Gesellschaftsrecht / M&A und Head of Tech Group bei Linklaters in Hamburg. Er berät Unternehmen und Finanzinvestoren bei nationalen und internationalen M&A-Transaktionen, Unternehmensrestrukturierungen und Joint Ventures mit besonderem Fokus auf Technologieunternehmen. Er ist außerdem Head of German Asia Desk und Mitglied im globalen Technologiesektor von Linklaters.

Kontakt

mario.pofahl@linklaters.com
www.linklaters.de

Stand als auch die zukünftigen Erwartungen an KI und deren Auswirkungen auf zentrale Unternehmensprozesse erfasst. Diese Kombination aus qualitativen und quantitativen Methoden ermöglicht eine fundierte Einschätzung der KI-Transformation in der Unternehmenswelt.

Vom Experiment zur Expertise – Erfahrungen von Unternehmen mit KI

Die Studie zeigt, dass die Integration von KI in Unternehmen von einem experimentellen Ansatz zu einer strategischen Notwendigkeit geworden ist. Moderne KI-Technologien bieten eine breite Palette von Anwendungen und werden zunehmend in den täglichen Geschäftsbetrieb integriert. Die Erfahrungen der Unternehmen und ihrer Mitarbeiter:innen mit KI unterscheiden sich erheblich in Intensität und Umfang, insbesondere im Zusammenhang mit dem Einsatz von Large Language Models („LLMs“) wie ChatGPT, der Erkundung der IT-Infrastruktur, der Unterstützung von Rechtsabteilungen, der Auswahl geeigneter Datenpools, der Teilnahme an Pilotprojekten und dem Ausbau von IT-Abteilungen, die von bestimmten Geschäftsmodellen angetrieben werden.

Die Mehrheit der Unternehmen (81 Prozent) befindet sich noch in der Erprobungsphase, davon sind 62 Prozent in der Testphase und knapp 20 Prozent experimentieren mit KI-Anwendungen. Nur 1 Prozent der Unternehmen hat bestätigt, dass sie vollständig KI in ihre Geschäftsprozesse implementiert haben. Voraussetzung für die volle Ausschöpfung des Potenzials generativer KI und die Realisierung der in Studien nachgewiesenen signifikanten Produktivitätssteigerungen ist eine IT-Infrastruktur, die es den Mitarbeitenden ermöglicht, alle Aufgaben mit generativer KI unter Einhaltung des Datenschutzes zu erledigen – eine Voraussetzung, die derzeit nur sehr wenige Unternehmen erfüllen.

Das Engagement und Interesse von Führungskräften und Mitarbeitenden an KI ist hoch. Manager:innen sind persönlich begeisterter von KI als ihre Mitarbeitenden: 78 Prozent der Manager:innen haben ein starkes Interesse an KI-Technologien, verglichen mit 62 Prozent der Arbeitnehmer:innen. Darüber hinaus betrachten 69 Prozent der Führungskräfte KI als Bereicherung ihrer Arbeit, während dies nur auf 48 Prozent der Arbeitnehmenden zutrifft. 44 Prozent der Führungskräfte, aber nur ein Drittel der Arbeitnehmer:innen befassen sich intensiv

mit dem Einsatz von KI am Arbeitsplatz. Diese geringe Einbindung im Arbeitsalltag könnte zu der eher zurückhaltenden Einschätzung der eigenen KI-Kompetenz beitragen.

Von allen Studienteilnehmenden gaben nur 5 Prozent an, über ein sehr hohes Maß an KI-Kompetenz zu verfügen, während jeweils etwa ein Drittel der Teilnehmer:innen angab, über ein geringes (28,7 Prozent), mittleres (36,4 Prozent) oder hohes (30 Prozent) Maß an Erfahrung im Umgang mit KI zu verfügen. Das hohe Engagement der Unternehmen und die Orientierung an internationalen Best Practices sind dagegen positive Indikatoren für die Bereitschaft, KI-Anwendungen dauerhaft zu integrieren.

Die Teilnehmer:innen der Umfrage sehen in der KI einen transformativen Faktor für Unternehmensveränderungen, sind sich jedoch auch der Risiken bewusst.

Integration von KI-Tools in die IT-Infrastruktur

In allen Sektoren erkunden die Befragten den Einsatz von KI-Tools, wobei ChatGPT (53 Prozent) und Microsoft CoPilot (23 Prozent) am häufigsten genutzt werden. Gemini und Claude werden mit 11,1 Prozent beziehungsweise 3,4 Prozent ebenfalls häufiger genannt. Die Mehrheit der Unternehmen hat entweder KI-Pilotprojekte gestartet oder plant dies, um produktorientierte Tools und solche zur Effizienzsteigerung einzusetzen.

Ferner entwickeln Unternehmen auch spezifische, auf das Geschäftsmodell zugeschnittene

Lösungen. Beispiele sind die automatisierte Auswertung von Berichten im Investmentbereich, KI-Projekte zur Bewertung von Renditen im E-Commerce, die automatisierte Erstellung von Entlassungsbriefen in Krankenhäusern oder die Anonymisierung von Gerichtsurteilen und Identifizierung von Gefahrgut in Häfen.

Um neue KI-Tools nahtlos in die bestehende IT-Infrastruktur zu integrieren, müssen Unternehmen die Kompatibilität mit aktueller Software und die Anpassungsfähigkeit an Arbeitsabläufe sicherstellen. Außerdem muss der datenschutzkonforme Einsatz generativer KI gewährleistet werden können.

Unternehmen müssen ihre internen Strukturen an die neuen KI-Technologien anpassen und gleichzeitig einen robusten Datenschutz gewährleisten.

Erwartungen an die Auswirkungen von KI auf Unternehmensstrategien und Geschäftsmodelle

Die Umfrageteilnehmenden haben hohe Erwartungen an den Einfluss von KI auf Unternehmensstrategien und Geschäftsmodelle. Sie sehen in der KI einen transformativen Faktor für Unternehmensveränderungen, sind sich jedoch auch der Risiken bewusst. Besonders im Bereich der klassischen Supportfunktionen erwarten sie von KI eine Effizienzsteigerung durch Automatisierung und Prozessoptimierung. Generative KI macht skalierbare Angebote möglich wie hoch personalisierte Dienste, die traditionell ressourcenintensiv und kostspielig sind.

KI kann nun genutzt werden, um Angebote individuell auf Kund:innen zu geringen

Kosten zuzuschneiden. Das ermöglicht eine neue Skalierbarkeit und die Nutzung kurzfristiger Marktchancen. Langfristig könnte KI die Arbeitsabläufe und Organisationsstrukturen neu gestalten und die strategische Unterstützung von Unternehmen verstärken.

Die größten Auswirkungen von KI sehen die Teilnehmer:innen in den nächsten drei bis fünf Jahren in drei Schlüsselbereichen: Steigerung des Mehrwerts (60 Prozent), Erzielung von Wettbewerbsvorteilen (58 Prozent) und Verbesserung der Anpassungs- und Skalierbarkeit (60 Prozent). Mehr als 45 Prozent der Befragten erwarten erhebliche Verbesserungen bei den Schlüsselressourcen, zu denen Mitarbeitende und ihr Wissen, finanziellen Ressourcen, alle Vermögenswerte, intellektuelle Ressourcen und so genannte „immaterielle Werte“ gehören. Knapp ein Drittel der Befragten erwartet deutliche Veränderungen bei wichtigen Partnerschaften (27,9 Prozent).

Einfluss auf Arbeitsabläufe, Organisationsstrukturen und Geschäftsmodelle

Viele gehen davon aus, dass durch KI Arbeitsabläufe neu gestaltet und interne Strukturen umstrukturiert werden, einschließlich der Bildung neuer Teams und Kompetenzen für die Entwicklung und Anwendung von KI. Erhebliche Auswirkungen werden in den Bereichen Vertrieb, Marketing, Rechtsabteilung, Produktion, Logistik sowie Forschung und Entwicklung erwartet. Die Mehrheit der Befragten glaubt, dass der Einsatz von KI die Produktivität steigern wird (68,4 Prozent) und dass sich die Arbeitsorganisation in den Unternehmen erheblich verändern wird (55,5 Prozent). Mehr als die Hälfte der Befragten sieht großes Potenzial für Kosteneinsparungen (54,2 Prozent) und erwarten spürbare Verbesserungen bei der Qualität von Dienstleistungen und Produkten (52,2 Prozent).

Allerdings sind die Erwartungen an KI hinsichtlich der Erschließung neuer Geschäftsfelder oder der Anpassung von Geschäftsmodellen ausgewogen, etwa 40 Prozent der Teilnehmenden erwarten mittlere bis signifikante Auswirkungen in dieser Hinsicht. Die KI-Automatisierung von Arbeitsabläufen in Dienstleistungen und die Unterstützung von strategischen Entscheidungsprozessen wird begrüßt, jedoch wird sie den menschlichen Faktor bei Entscheidungen nicht ersetzen. Unternehmen müssen ihre internen

Strukturen an die neuen KI-Technologien anpassen und gleichzeitig einen robusten Datenschutz gewährleisten. Diese Anpassungsprozesse sind komplex und erfordern eine sorgfältige Planung und Durchführung, um den gesetzlichen Anforderungen und unternehmensinternen Standards gerecht zu werden.

Von der Investition zum Mehrwert

Kurzfristig wird KI oftmals als Kostenfaktor wahrgenommen, vor allem aufgrund erforderlicher Investitionen in Technologie, Infrastruktur und Personal. Langfristig wird KI ein bedeutender Werttreiber sein: Die Befragten erwarten, dass der Einsatz von KI zu Umsatz-, Gewinn- und Marktanteilssteigerungen führen und die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und -felder ermöglichen wird. Tatsächlich erwarten 52 Prozent keine Veränderung der Kosten, 29 Prozent rechnen mit einem Kostenanstieg und 20 Prozent gehen sogar von sinkenden Kosten aus. Dementsprechend schätzt die Mehrheit (66 Prozent) die Investitionsrendite (ROI) ihrer KI-Projekte als neutral ein, während 18 Prozent einen positiven ROI wahrnehmen. Nur 7,3 Prozent schätzen den ROI als negativ ein.

M&A-Transaktionen im Wandel

Künstliche Intelligenz spielt bereits heute eine wichtige Rolle bei den Kauf- und Verkaufsprozessen von Unternehmensfusionen und -übernahmen (Mergers & Acquisitions, M&A). Unternehmen setzen zunehmend KI-Tools wie maschinelles Lernen, natürliche Sprachverarbeitung

und robotergestützte Prozessautomatisierung ein, um verschiedene Aufgaben effizienter zu gestalten. Dazu gehören unter anderem die detaillierte Unternehmensprüfung (Due Diligence), die Analyse von Verträgen sowie die Bewertung möglicher Risiken. Laut der Studie sehen viele Unternehmen großes Potenzial in diesen Bereichen: 84,2 Prozent erwarten, dass KI die Unternehmensprüfung deutlich verbessert, 87,1 Prozent gehen von einer Erleichterung bei der Risikobewertung und der Einhaltung gesetzlicher Vorgaben aus, und 79,6 Prozent erwarten, dass KI den Verhandlungsprozess effizienter macht.

KI-basierte Tools erhöhen die Effizienz und verbessern die Genauigkeit und Qualität von Due-Diligence-Berichten. Diese Tools filtern große Mengen an Dokumenten und Daten, um relevante Informationen schneller und präziser zu bewerten, wodurch Zeit- und Kosteneinsparungen erreicht werden können. Verschiedene Anbieter von Due-Diligence-Prüfungen und Technologieanbieter implementieren und bieten KI-Funktionen etwa innerhalb ihrer bestehenden Lösungen an. Die Automatisierung der Dokumentenprüfung verdeutlicht, wie innovative KI-Anwendungen bereits Teile des M&A-Prozesses neu gestalten: Mithilfe von Techniken wie der Verarbeitung natürlicher Sprache automatisieren KI-Technologien die Überprüfung von Rechts- und Finanzdokumenten. Dies spart erheblich Zeit und potenzielle Compliance-Probleme bei Transaktionen werden besser erkannt. Angesichts des in den letzten Jahren gestiegenen Datenvolumens, das bei M&A-Transaktionen geprüft werden muss, erleichtern diese Lösungen die Extraktion relevanter Klauseln und reduzieren die Arbeitszeit deutlich.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel von KI gilt dem Schutz sensibler Informationen: Während der Due-Diligence-Prüfung unterstützt KI-gesteuerte Software dabei, sensible Informationen bei Bedarf zu schwärzen und regulatorische Anforderungen wie die Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) einzuhalten. KI unterstützt außerdem bei der Automatisierung von Routineaufgaben wie der Einrichtung von Ordnerstrukturen, der Zuordnung von Dokumenten und bei der Dateneingabe. Dadurch wird Zeit für strategische Analysen freigesetzt und der Informationsfluss verbessert.

Diese Schritte veranschaulichen die wachsende Rolle der KI bei der Umgestaltung von M&A-Transaktionen und versprechen weitere Fortschritte bei der Strategieformulierung und

KI wird in naher Zukunft nicht den gesamten strategischen Entscheidungsprozess bei M&A-Transaktionen übernehmen: Erfahrung und hochspezialisierte Beratung können nicht durch KI ersetzt werden.

Verhandlungsunterstützung. In der Umfrage wurde deutlich, dass viele Unternehmen den Mehrwert von KI in Due-Diligence-Prozessen bereits erkennen. Gleichzeitig bleibt die wesentliche Rolle von Unternehmensjurist:innen und Rechtsberater:innen bei komplexen Verhandlungen und nuancierten Entscheidungen erhalten. M&A ist ein wichtiger Bereich, in dem sich Unternehmen intern stärker professionalisieren und KI intensiver nutzen sollten.

Aber KI wird in naher Zukunft nicht den gesamten strategischen Entscheidungsprozess bei M&A-Transaktionen übernehmen. Dazu braucht es weiterhin den Faktor Mensch: Erfahrung und hochspezialisierte Beratung kann nicht durch KI ersetzt werden. Es geht um den größten Mehrwert aus Automatisierung, Effizienzsteigerung und strategischer Entscheidungskompetenz.

Herausforderungen und Chancen für Unternehmensrechtsexpert:innen

Die Integration von KI in den Unternehmensalltag bringt sowohl Herausforderungen als auch Chancen für Unternehmensjurist:innen und Wirtschaftsanzwält:innen mit sich. Diese müssen sich mit neuen rechtlichen Fragen und ethischen Bedenken auseinandersetzen. Gemäß der Studie sorgen sich 60 Prozent der Befragten um den Datenschutz, 51 Prozent erkennen Rechtsunsicherheiten und 44 Prozent sehen sich bei der Einführung von KI-Technologien mit ethischen Fragen konfrontiert. Der Widerstand von Betriebsräten stellt für 42 Prozent der Teilnehmenden eine große Hürde dar, während 36 Prozent Diskriminierung durch KI für problematisch halten.

Um die Datenschutzrichtlinien einzuhalten und die Datenqualität sicherzustellen, müssen die bestehenden Zugriffsrechte innerhalb der IT-Infrastruktur von Beginn an bei der Implementierung von KI-Systemen berücksichtigt werden. Als Chancen sehen die Rechtsabteilungen, dass KI die Möglichkeit bietet, Routineaufgaben zu automatisieren und die Effizienz zu steigern. Die Mehrheit der befragten Syndikusanzwält:innen und General Counsel rechnen damit, dass KI erhebliche Veränderungen für die Rechtsabteilungen mit sich bringen wird: 62,3 Prozent erwarten erhebliche Effizienzsteigerungen, während 53,9 Prozent größere Anpassungen bestehender Arbeitsabläufe voraussagen.

Insgesamt zeigt die Umfrage, dass die

Unternehmen aktiv an der Integration von KI arbeiten und ihr Potenzial erkannt haben. Die allgemeine Erwartung ist, dass der Einsatz von KI sichere, funktionale und zuverlässige Lösungen erbringen muss, andernfalls wird sie nicht als wertschöpfend angesehen. Um von KI auf allen Ebenen zu profitieren, müssen Unternehmen in technische Infrastruktur, Aus- und Weiterbildung und eine anpassungsfähige Unternehmenskultur investieren. Die Akzeptanz der Mitarbeitenden für neue Tools kann durch entsprechende Schulungen und individuelle Unterstützung gefördert werden, die ihnen hilft, sich mit neuen KI-Tools vertraut zu machen und Know-how aufzubauen. Langfristig, so die Mehrheit der Befragten, wird die Integration von KI in Unternehmen nicht nur Geschäftsmodelle erneuern, sondern auch die strategische Ausrichtung und die Zusammenarbeit innerhalb und zwischen Organisationen beeinflussen. ■

Kurz und Bündig

Die Mehrheit der Unternehmen testet KI noch, nur 1 Prozent hat sie vollständig integriert. Besonders in M&A-Transaktionen verbessert KI Analysen, ersetzt aber keine menschliche Expertise. In juristischen Abteilungen wächst der KI-Einsatz, doch Datenschutz (60 Prozent) und regulatorische Unsicherheiten (51 Prozent) bleiben Herausforderungen. Führungskräfte (78 Prozent) sind begeisterter als Mitarbeitende (62 Prozent), was den Schulungsbedarf erhöht. Fehlende IT-Infrastruktur und interne Widerstände bremsen die Umsetzung, doch langfristig erwarten Unternehmen Produktivitätssteigerungen (68 Prozent), Wettbewerbsvorteile (58 Prozent) und höhere Anpassungsfähigkeit (60 Prozent).



Die Studie zum Download finden Sie hier: <https://bit.ly/4gp3UwA>

KONTAKTIEREN SIE UNS UND PLATZIEREN SIE IHRE ANZEIGE IN DER IM+IO!

Mehr Infos unter: <https://www.im-io.de/mediadaten/>



IM+io

Impressum

IM+io – Best & Next Practices aus Digitalisierung, Management und Wissenschaft
40. Jahrgang, Heft 2 2025
ISSN: 1616-1017

Herausgeber

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. August-Wilhelm Scheer
Universität des Saarlandes,
August-Wilhelm Scheer Holding
GmbH, Saarbrücken
Prof. Dr. Paul Schönsleben,
ETH Zürich (Stellvertreter)

Verlag

August-Wilhelm Scheer Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH
Uni-Campus Nord
66123 Saarbrücken/Germany
Tel.: +49 681 96777-0
info@aws-institut.de
www.aws-institut.de

Geschäftsführung

Prof. Dr. Dr. h.c. mult. August-Wilhelm Scheer, Sandra Ehlen

Herausgeberbeirat der IM+io

Vertreter Wissenschaft
Prof. Dr. Michael Backes, Backes SRT/Universität des Saarlandes, Saarbrücken | Prof. Dr. Christoph Igel, DFKI, Berlin | Prof. Dr. Helmut Krcmar, TU München | Prof. Dr. Georg von Krogh, ETH Zürich | Prof. Dr. Peter Loos, Universität des Saarlandes/DFKI, Saarbrücken |

Prof. Dr. Dr. h.c. Dieter Rombach, Fraunhofer-Institut IESE, Kaiserslautern | Prof. Dr. Günther Schuh, RWTH Aachen | Prof. Dr. Hans-Gerd Servatius, Universität Stuttgart | Univ.-Prof. Prof. Eh. Dr. h.c. dipl. Wirtsch.-Ing Wilfried Sihl, Fraunhofer Austria Research GmbH, Wien | Prof. Dr. Oliver Thomas, Universität Osnabrück | Prof. Dr. Florian von Wangenheim, ETH Zürich | Prof. Dr. Dr. h.c. Walther Ch. Zimmerli, BTU Cottbus

Vertreter Wirtschaft

Meike Scheer, August-Wilhelm Scheer Holding GmbH, Saarbrücken | Dr. Fabian Dömer, Arthur D. Little Int. Inc., Wiesbaden | Dr. Thomas M. Fischer, avantum consult AG, Düsseldorf | Dr. Gerd Große, GFFT e.V., Bad Vilbel | Britta Hilt, IS Predict GmbH, Saarbrücken | Dr. Rainer Minz, The Boston Consulting Group GmbH, Köln | Rolf Scheuch, OPITZ CONSULTING GmbH, Gummersbach

Chefredaktion (verantwortlich)

Sandra Ehlen
sandra.ehlen@aws-institut.de

Redaktion

Sandra Ehlen
(Stv. Chefin vom Dienst)
sandra.ehlen@aws-institut.de
Milena Milivojevic
(Redaktionsvolontärin)
milena.milivojevic@aws-institut.de
Irmhild Plaetrich
(Redaktion - Innovation Review)

irmhild.plaetrich@im-io.de

Norbert Eder
(Redaktion Schwerpunkt)
norbert.eder@im-io.de
Katherina Plakias (Redaktion Schwerpunkt)
katherina.plakias@aws-institut.de
Johanna Krämer (Digitalausgabe)
johanna.kraemer@aws-institut.de
Lukas Ruth (Grafik)
lukas.ruth@aws-institut.de
Taisiia Tsykolanova (Grafik)
taisiia.tsykolanova@aws-institut.de

Erscheinungsweise

vierteljährlich, plus ggf. eine kostenpflichtige Sonderausgabe

Abonnement

Jahresabonnement Deutschland und Österreich € 39,- | für Studierende gegen Vorlage einer Bescheinigung € 29,- (D) jeweils inkl. MwSt. und Versandkosten. Einzelheft € 9,80 zzgl. Versandkosten und Nachnahmegebühr. Eine kostenpflichtige Sonderausgabe wird Abonnenten gegen gesonderte Rechnung automatisch geliefert. Eine Abnahmeverpflichtung besteht nicht. Eine Rücksendung der Sonderausgaben an den Verlag ist erforderlich. Das Abonnement kann innerhalb von 14 Tagen nach Erhalt des ersten Heftes schriftlich widerrufen werden. Die Vertragslaufzeit beträgt 12 Monate. Das Abonnement verlängert sich automatisch um ein weiteres Jahr, wenn 4 Wochen vor Ende der

12-Monats-Laufzeit keine schriftliche Kündigung seitens des Abonnenten erfolgt. Im Falle höherer Gewalt besteht kein Anspruch auf Lieferung oder auf Rückerstattung der Abonnementgebühr. Abo-Bestellungen nimmt das AWS-Institut schriftlich oder via Website www.im-io.de oder über den Buchhandel entgegen.

Anzeigen

Es gilt die Anzeigenpreisliste von 2025.

Sandra Ehlen (Stv. Chefin vom Dienst) sandra.ehlen@aws-institut.de
Tel.: +49 162 4790 116

Layout/Satz

August-Wilhelm Scheer Institut
Milena Milivojevic
Taisiia Tsykolanova
Katherina Plakias

Druck

reha GmbH
Dudweilerstraße 72
66111 Saarbrücken

Lektorat

Sonja Colling-Bost
Jürgen Bost

Rechte

Namentlich gekennzeichnete Beiträge stellen nicht unbedingt die Meinung der Redaktion dar. Für unverlangt eingesendete Manuskripte wird keine Gewähr übernommen. Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge

und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Kein Teil dieser Publikationen darf ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlags in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Der Autor ist damit einverstanden, dass sein Beitrag in der Printversion der Zeitschrift IM+io erscheinen darf. Der Verlag ist darüber hinaus berechtigt, den Beitrag komplett oder in Teilen im Original oder in Übersetzung, insbesondere auch zu Werbezwecken, online (z.B. im Internet) oder offline (z.B. in Jahresbänden) zu verbreiten bzw. durch Lizenznehmer verbreiten zu lassen.



www.rehagmbh.de



scheer school of
digital sciences
at saarland
university

You earn, what you learn.



be the key

Digitale Zukunft braucht Kompetenz.

Technologie allein reicht nicht – es sind die Menschen,
die den Wandel tragen. Setze auf Weiterbildungen mit
Substanz. Für Unternehmen, die gestalten wollen.

Mehr auf: scheer-school.com

process meets integration

Y Scheer PAS



Nahtloses Kundenerlebnis bei dodenhof dank Scheer PAS

Mit einer vernetzten mobilen App und der iPaaS Plattform haben dodenhof und Scheer PAS die IT-Landschaft risikofrei modernisiert und echte Omnichannel-Power geschaffen!

QR-Code scannen und in der Fallstudie erfahren, wie wir Kunden in der digitalen Transformation unterstützen!

