

**POSITIONSPAPIER**

# Neue Schubkraft für die Biotechnologie

Miniaturisierung, Automatisierung  
und Digitalisierung revolutionieren  
die Entwicklung biotechnologischer  
Prozesse und Produkte



# Inhalt

<b>I. Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>II. Einige Beispiele</b>	<b>6</b>
<b>III. Die nächste Generation von Verfahren und Produkten</b>	<b>9</b>
<b>IV. Die Herausforderung der Bioprozessentwicklung</b>	<b>10</b>
<b>V. Die Rolle des Menschen</b>	<b>11</b>
<b>VI. Technische Handlungsfelder</b>	<b>13</b>
<b>VII. Weitere Handlungsfelder</b>	<b>17</b>
<b>Impressum</b>	<b>19</b>



# I. Einleitung

Die Digitalisierung und ihre Konsequenzen für Industrie und Gesellschaft werden aktuell in großer Breite diskutiert – nicht nur im Rahmen der umwälzenden Entwicklungen beim Thema „Industrie 4.0“. Insbesondere in der Biotechnologie zeichnen sich derzeit konvergierende Entwicklungen ab, die erst durch neue Werkzeuge aus den Gebieten der Miniaturisierung, Automatisierung und Digitalisierung möglich werden. **Unter dem Begriff „Digitalisierung“ verstehen wir dabei die umfassende Virtualisierung, d.h. die Schaffung digitaler Abbilder von Ressourcen, Abläufen und Prozessen im Rahmen der Entwicklung von Produkten und Produktionsverfahren bis hin zum Betrieb biotechnologischer Produktionsprozesse.** Derartige „digitale Zwillinge“ können in beiden Richtungen mit ihrem realen Vorbild verknüpft sein. Daraus ergeben sich völlig neuartige Möglichkeiten, z.B. für die Informationsgewinnung, Produktentwicklung und Steuerung von Abläufen.

Die vorliegende Publikation konzentriert sich auf das disruptive Potenzial von Digitalisierung, Automatisierung und Miniaturisierung in der Forschung und bei der Entwicklung biotechnologischer Verfahren vor allem im Bereich der Stamm- und Fermentationsentwicklung. Die Digitalisierung bei der Maßstabsvergrößerung, in der Produktion und im Downstream-

Processing ist ebenfalls hochrelevant und verspricht für diese Bereiche erhebliche Fortschritte. Die Fragestellungen dort ähneln allerdings in weiten Teilen denen, die über die Biotechnologie hinaus auch z. B. für die Chemie gelten. Sie sind daher nicht Gegenstand dieses Papiers, sondern werden an anderer Stelle erörtert.

Automatisierung und Digitalisierung sind Begriffe, mit denen die Biotech-Branche üblicherweise nicht in Verbindung gebracht wird, die aber dennoch eine wesentliche Rolle spielen. Die eigentliche Triebfeder der aktuellen Entwicklungen in der biotechnologischen Stamm- und Prozessentwicklung ist jedoch die Miniaturisierung, weil sie zu einer vielfachen Erhöhung des experimentellen und analytischen Durchsatzes führt. Sie erfordert zunächst eine Automatisierung, um den höheren Durchsatz gewährleisten zu können, und zieht im Anschluss eine Digitalisierung nahezu zwingend nach sich, um qualitativ hochwertige und informative Daten schnell bereitzustellen zu können.

Dabei geht es nicht um die für alle Technologien bekannte inkrementelle Verbesserung bestehender Produkte und Methoden, sondern vielmehr um die Möglichkeit eines disruptiven Wandels, der die bestehenden Vorgehensweisen in der Biotechnologie radikal verändern wird. Einen

solchen möglichen technologischen Umbruch rechtzeitig wahrzunehmen, bietet für die Industrie zugleich große Chancen und Risiken. Gerade in der Biotechnologie finden zurzeit an verschiedenen Standorten bahnbrechende Entwicklungen statt, die mittelfristig konvergieren und Arbeitsabläufe, Prozesse und Geschäftsmodelle grundlegend verändern werden. Das gilt vor allem für industrielle Entwicklungsprozesse. Dieses Papier möchte darauf aufmerksam machen und neue Wege aufzeigen.

## II. Einige Beispiele



In der Biotechnologie findet derzeit eine Fülle von Einzelentwicklungen statt. Deren Konvergenz wird in naher Zukunft ähnlich gravierende Konsequenzen für einen ganzen Industriezweig haben, wie wir sie aus der Fertigungsindustrie bereits kennen. Eine konsequente Miniaturisierung, Automatisierung und Digitalisierung wird Entwicklungs- und Produktionszyklen beschleunigen sowie zu einer erheblich höheren Flexibilität und Diversität der Produkte führen:

- » Die Entwicklung neuer Produktionsorganismen in der industriellen Biotechnologie ist heute so weit automatisierbar, dass über 10.000 genetisch veränderte Stämme in nur einer Woche gezielt erzeugt und auch automatisiert getestet werden können. Parallele Entwicklungen im Bereich der Enzymentwicklung haben bereits ähnlich hohe Durchsätze.
- » Die Konzepte der Synthetischen Biologie revolutionieren derzeit die Vorge-

hensweise der Biotechnologie. Durch konsequente Anwendung von Modularisierungs- und Baukastenkonzepten werden biologische Systeme für einen ingenieurmäßigen Zugang erschlossen. Modulare biologische Systeme fügen sich hervorragend in Digitalisierungskonzepte ein. Die Automatisierung aller Entwicklungsschritte für einen industriellen Produktionsprozess wird die konsequente Folge sein.

- » Moderne Laborassistenzsysteme unter Nutzung von Methoden erweiterter Realität werden in bisher nicht gekanntem Ausmaß menschliche Laborarbeit mit digitalen Systemen vernetzen und damit zu einer erheblichen Produktivitätssteigerung führen.
- » Durch die anhaltende Miniaturisierung biochemischer Analytik, insbesondere bei den systembiologischen „Omics“-Methoden, können Entwicklungsschritte mit immer höherem Durchsatz auf kleinem Raum durchgeführt werden. Eine Gensequenzierung ist heute bereits auf einem USB Stick-basierten Gerät möglich.
- » Im medizinischen Bereich erlauben automatisierte Labore heute bereits die Produktion von induzierten pluripotenten Stammzellen, um daraus abgelei-

tete Patienten- oder Organ-spezifische Zellsysteme für das Wirkstoffscreening und für die Therapie zu entwickeln.

- » Eine analoge Entwicklung nimmt die Kultivierung von Mikroorganismen. Mikrokultivierungssysteme in Verbindung mit Laborrobotik erreichen heute vergleichbare Ergebnisse wie Bioreaktoren im Labormaßstab. Mit den heutigen mikrofluidischen Systemen ist der nächste Miniaturisierungsschritt schon in Vorbereitung.
- » „Smarte“ Softwaresysteme können prinzipiell durch Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz eine weitgehend automatisierte Durchführung von Entwicklungsabläufen ermöglichen und eng in Systeme zur Entscheidungsunterstützung integriert werden.
- » Die durch miniaturisierte Analysesysteme produzierte Datenflut stellt die moderne Biotechnologie zunehmend vor das Problem der Auswertung großer Datenmengen („Big Data“) bei der Entwicklung neuer Produkte. Bioinformatische Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens bis hin zu „Smart Data“ sind bereits heute integraler Bestandteil vieler Arbeitsumgebungen.

- » „Continuous Bioprocessing“ eröffnet neue Wege für die Herstellung einer Vielzahl kleinvolumiger, aber oft extrem hochpreisiger Produkte in der industriellen Produktion. Dabei werden Produktionseinheiten flexibel zu Prozessketten verschaltet und somit Ressourcen für mehrere Prozesse gleichzeitig genutzt. Dies ist ohne eine durchgehende Digitalisierung undenkbar.
- » Auch die klassische Trennung von Laborentwicklung und Produktionsprozess wird in der Industrie mehr und mehr überwunden werden. Produktionsprozessdaten werden bald in derselben Weise wie Labordaten jederzeit digital verfügbar und nutzbar sein, um damit eine ständige integrierte Verbesserung und Weiterentwicklung bereits laufender Produktionsprozesse zu ermöglichen.
- » Dreh- und Angelpunkt für den Betrieb biologischer Produktionsprozesse stellen Online-Sensorsysteme für die wesentlichen biochemischen Leitgrößen dar, die häufig nicht selektiv zugänglich sind. Heute werden mittels indirekter Messmethoden große Datenmengen generiert, aus denen sich, in Kombination mit intelligenten Auswertungsalgorithmen, relevante Systeminformationen gewinnen lassen.
- » Sensorsysteme leisten zunehmend mehr als nur die Bereitstellung valider Daten. Sie werden intelligenter im Sinne einer weitreichenden Selbstüberwachung und -diagnose, einer integrierten Datenauswertung mit Logik- und Regelungsfunktionalität oder einer interaktiven Vernetzung mit anderen Komponenten im Prozessumfeld.

### III. Die nächste Generation von Verfahren und Produkten

In der Summe ergibt sich aus diesen Puzzleteilen das Bild einer Biotechnologie-Branche, in der sich die Art und Weise, wie neue Produkte entwickelt und effiziente Herstellungsprozesse gestaltet werden, umwälzend verändern wird. Daraus werden neue Märkte und veränderte Geschäftsmodelle resultieren. Erste Firmen – vor allem in den USA – haben sich die neuen Konzepte bereits zu eigen gemacht und bauen zunehmend auf Miniaturisierung, Automatisierung und Digitalisierung auf. Zu nennen sind hier z.B. die Firmen Amyris, Zymergen oder Conagen im amerikanischen Raum oder Boehringer Ingelheim, Roche oder GeneArt in Deutschland. Auch für die Gestaltung der Arbeitswelt wird dies erhebliche Konsequenzen haben, woraus ganz neue Anforderungen an die betriebliche und akademische Ausbildung erwachsen.

Die biotechnologische Produkt- und Prozessentwicklung der Zukunft wird alle verfügbaren Ressourcen systematisch im

Rahmen flexibler, digital unterstützter Arbeitsabläufe kombinieren. Die industrielle Entwicklungs-Pipeline der Zukunft wird damit mehr einer automatisierten Fertigungsstraße in der Automobilindustrie ähneln als einem klassischen Laborbetrieb. Die Mitarbeiter entsprechender Firmen können sich im Labor durch Assistenzsysteme auf das Wesentliche konzentrieren und arbeiten überwiegend am Computer, wo sie biologische Systeme und Prozesse am Reißbrett entwerfen, Experimente unter Ausnutzung verteilter Ressourcen in Auftrag geben und automatisierte, modulare aufgebaute Produktionsprozesse mit intelligenten Sensornetzwerken überwachen.

Während sich Entwicklungen auf diesem Gebiet noch auf einige wenige akademische Arbeitsgruppen und Industrielabore beschränken und meist Einzelaspekte betreffen, ist doch abzusehen, dass diese Technologien erst in ihrem Zusammenwirken ihr Potential voll ausschöpfen können.

## IV. Die Herausforderung der Bioprozessentwicklung

Zu den zentralen Herausforderungen bei der Entwicklung neuer biotechnologischer Methoden, Verfahren und Produkte gehören die schwer kalkulierbaren Entwicklungszeiten und die damit verbundenen ökonomischen Unsicherheiten. Im Gegensatz zu klassischen technischen Prozess- und Produktentwicklungen steht die Biotechnologie in besonderem Maße vor dem Problem der schlechten Vorhersagbarkeit: Realisierbarkeit, Produktivität und Konkurrenzfähigkeit eines Prozesses können vor dem Hintergrund volatiler Märkte nur auf einem sehr kurzen Zeithorizont eingeschätzt werden. Im Rahmen einer nachhaltigen Bioökonomie kommen erheblich gestiegene Anforderungen an die Flexibilität von Verfahren hinsichtlich der Rohstoffbasis hinzu. Ebenso steigen die Anforderungen hinsichtlich der Adaptivität der Produktpalette, z. B. im Kontext der personalisierten Medizin. Neue biotechnologische Entwicklungen sind so mit hohen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Risiken verbunden. Das führt dazu, dass Industrieunternehmen der Neuentwicklung biotechnologischer Prozesse und Produkte nach wie vor sehr zurückhaltend gegenüberstehen.

Genau hier setzen die neuen Konzepte der Miniaturisierung, Automatisierung und Digitalisierung in der Biotechnologie an. Punktuell können zwar schon heute durch konsequente Anwendung von Hochdurchsatzverfahren in Verbindung mit bioinformatischen Algorithmen Entwicklungsprozesse erheblich beschleunigt werden, jedoch sind die technischen Möglichkeiten noch lange nicht ausgeschöpft. Ein Schlüssel zum Erfolg ist die Miniaturisierung bis hinunter in die Dimensionen einzelner Zellen und Moleküle in Verbindung mit hochauflösender Analytik und massiv parallelen Experimenten für die erforderliche Durchsatzsteigerung. Zusätzlich sind enorme Synergieeffekte durch Werkzeugintegration zu erwarten. Während bereits viele Durchbrüche der letzten Jahre (z. B. auf dem Gebiet der Gensequenzierung und -synthese) auf der Miniaturisierung beruhen, ist das Potential der Mikrosystemtechnik in der Biotechnologie noch bei weitem nicht ausgereizt. Dazu gehören z. B. Mikroreaktoren, mikrofluidische Systeme, Mikro-Sensoren oder miniaturisierte Analytik-Systeme.

## V. Die Rolle des Menschen



Völlig autonome automatisierte Experimentiersysteme für die Stamm- und Prozessentwicklung in der Biotechnologie, die den Menschen vollständig ersetzen, sind nicht das Ziel dieser Entwicklung. Trotzdem ändert sich die Rolle des Menschen in der Biotechnologie-Industrie der Zukunft dramatisch. Der eigentliche paradigmatische Wechsel hinter dem zu erwartenden disruptiven Wandel ist, dass der Mensch derzeit von vereinzelt hochintegrierten Automationssystemen (wie z.

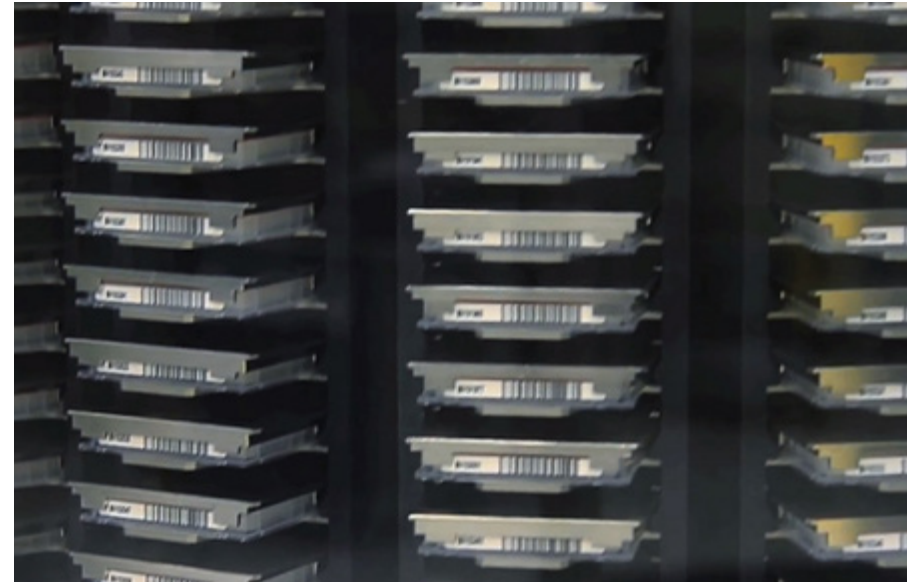
B. Pipettierleinrichtungen oder Mikrokultivierungssystemen) unterstützt wird. Das automatisierte System der Zukunft übernimmt alle elementaren Laboraufgaben und dem Menschen kommt vor allem die Rolle des finalen Informationsbegutachters und Prozessentscheiders zu.

Der Aufenthalt im Labor wird eher auf nicht-automatisierte Handreichungen, Etablierung von neuen Methoden oder technische Wartungsarbeiten beschränkt

sein. Der Berufsalltag des Biotechnologen ändert sich damit radikal. Der Mensch im Labor muss sich dabei an die automatisierten Abläufe anpassen. Moderne Methoden der Mensch-Maschine-Kommunikation in Verbindung mit Augmented-Reality-Technologie wie z. B. Datenbrillen werden dabei das Arbeiten in derart komplexen Gesamtabläufen erleichtern bzw. überhaupt erst ermöglichen und zu erheblichen Produktivitätssteigerungen führen.

Wie auch in anderen Branchen wird sich die Arbeit gleichzeitig immer mehr an den Computerarbeitsplatz verschieben. Die Fähigkeit zur Planung von Experimenten und zur Analyse komplexer Datensätze wird immer mehr gefragt sein. Um fundierte Entscheidungen zu treffen, ist der Mensch dabei angewiesen auf die Unterstützung von Informationssystemen, statistischen Methoden sowie künstlicher Intelligenz in Verbindung mit auf die menschlichen Wahrnehmungsfähigkeiten optimal zugeschnittenen Visualisierungsmethoden.

## VI. Technische Handlungsfelder



**Miniaturisierung:** Die Miniaturisierung ist die Haupt-Triebfeder für die aktuell stattfindenden Umwälzungen. Der Drang zur weiteren Verkleinerung und zur Nutzung neuer physikalischer Prinzipien in Verbindung mit einem drastisch erhöhten Durchsatz ist gerade in der lebenswissenschaftlichen Grundlagenforschung ungebrochen. Jedoch entstehen auf diese Weise nicht zwangsläufig Systeme, die bestehenden Lösungen überlegen sind.

In vielen Fällen sind miniaturisierte Systeme zunächst fehleranfälliger und weisen eine geringere Reproduzierbarkeit auf als ihre klassischen Vorbilder. Genau dies ist der Grund, warum erst durch Parallelisierung und Automatisierung das volle Potential der Miniaturisierung gehoben werden kann. Weitere Herausforderungen ergeben sich durch die erforderlichen physikalischen und digitalen Schnittstellen. Dies zeigt z. B.

die Kopplung von mikrofluidischen Chips oder der Umgang mit kleinsten Probenmengen im Bereich der Massenspektrometrie. Weiterhin werden sich in diesem Gebiet vielfältige Möglichkeiten durch den Einsatz moderner 3D-Fertigungssysteme ergeben, die heute bereits Strukturen im Submikrometerbereich drucken können.

#### **Modularisierung biologischer Systeme:**

Auch die Synthetische Biologie hat als eine weitere Triebfeder der Entwicklung nach wie vor eine hohe Dynamik. Gerade der inhärente Modularisierungsgedanke leistet den Entwicklungen Vorschub. Hier gilt jedoch dasselbe wie bei der Miniaturisierung: Nur Konzepte, welche die industrielle Umsetzbarkeit – insbesondere im Kontext von Automatisierungssystemen – im Auge behalten, werden auf Dauer von Nutzen sein. Die Kombination von synthetischer Biologie mit Laborrobotik ist deshalb derzeit an vielen Orten zu beobachten.

**Gerätestandards:** Besonders im Bereich der miniaturisierten Laborgeräte stellen sich im Kontext der Digitalisierung völlig neue Anforderungen. Wurden solche Geräte bisher meistens im „standalone“-Betrieb vom

Laborpersonal bedient, müssen sie sich in Zukunft in automatisierte Abläufe integrieren lassen und damit mit anderen Geräten kompatibel sein. Das vielzitierte „Internet der Dinge“ zeichnet diesen Weg bereits vor. Während die technische Gerätekopplung via Internet heute zum Standard gehört, bleibt die Entwicklung geeigneter Protokolle für eine standardisierte Kommunikation gerade im Laborbereich eine Herausforderung.

**Laborrobotik:** Die erforderliche Robotik zur Automatisierung biotechnologischer Entwicklungsabläufe ist heute vorhanden. Neue Herausforderungen ergeben sich aber, wenn teilautomatisierte Geräte wie z. B. Mikrokultivierungseinrichtungen in robotergestützte Experimentieranlagen zur Durchführung vollautomatisierter Experimente integriert werden müssen. Auch die Kopplung verschiedener Laborroboter zu Robotersystemen in Analogie zur Automobilfertigung ist bereits im vollen Gange, derzeit allerdings noch infolge von Integrationsproblemen verzögert.

**Mensch-Maschine-Systeme:** Der Mensch wird im Kontext automatisierter Experimentiersysteme auch weiterhin Aufgaben übernehmen, jedoch muss

er in der Lage sein, nahtlos, sinnvoll und standardkonform mit einem Automatisierungssystem zu kommunizieren. Der menschliche Mitarbeiter muss in der Lage sein, zu einem beliebigen Zeitpunkt einen vollständigen Überblick über den derzeitigen Stand des aktuell bearbeiteten Entwicklungsprozesses zu gewinnen. Neue Methoden für die Mensch-Maschine-Kommunikation werden derzeit unter dem Begriff „Labor der Zukunft“ entwickelt. Dabei setzt die Laborassistenz zunehmend auf Methoden der erweiterten Realität.

**Informations-Infrastruktur:** Die einheitliche Datenhaltung – von Kultivierungsdaten bis zu Daten aus der Massenspektroskopie und aus der Hochdurchsatzsequenzierung – beginnend mit dem elektronischen Laborbuch ist eine wesentliche Voraussetzung der Virtualisierung und damit der Digitalisierung. Dies beinhaltet auch die eindeutige Identifikation aller verwendeten biologischen Systeme, durchgeführten Experimente oder daraus gewonnener Proben. Dafür müssen auf allen Ebenen konsistente Datenformate geschaffen werden. Ebenso erfordert die stark verteilte Datengenerierung neue Infrastrukturen, die z. B. auf modernen

Cloud-Lösungen aufbauen können. Skalierbarkeit wird darüber hinaus eine zentrale Anforderung werden. Auf Dauer werden zudem das Management von Labordaten und Prozessdaten miteinander verschmelzen. Traditionelle Labor-Informations- und Management-Systeme (LIMS) sind damit noch überfordert.

**Gesamtprozess-Steuerung:** Die industrielle Automatisierung ganzer Fertigungsstraßen kennt heute konzeptionell ausgereifte Prozesssteuerungssysteme, die auf verschiedenen Abstraktionsebenen den Gesamtprozess organisieren. Vergleichbares ist im Bereich der Stamm- und Prozessentwicklung für die Biotechnologie noch nicht bekannt. Allerdings sind experimentelle Abläufe aus abstrakter Sicht oft Geschäftsprozessen ähnlicher als Fertigungsprozessen. Dabei gewinnen flexibel konfigurierbare, fehlertolerante und trotzdem standardisierte Workflows große Bedeutung.

**Versuchsplanung und Datenanalyse:** Letztendlich ist die Planung zielführender Experimente auf Grundlage großer Datenmengen die wichtigste Aufgabe für den Menschen im automatisierten Experimentiersystem. Dabei müssen zunächst große Roh-



datensmengen wie z. B. gemessene Massenspektren oder mikroskopische Videosequenzen automatisch zu Nutzdaten vorverarbeitet werden. Die Heterogenität der so erzeugten großen Datenmengen stellt eine Herausforderung für Methoden aus den Gebieten der Statistik und Künstlichen Intelligenz wie z. B. multivariate Analysen, Zeitreihenanalysen, Data Mining oder Machine Learning dar. Klassische Versuchsplanungsmethoden stoßen zudem rasch an ihre Grenzen, wenn Zusammenhänge hochgradig nichtlinear sind oder die vorherrschenden experimentellen Parallelansätze neue Strategien erfordern.

## VII. Weitere Handlungsfelder



Die genannten Beispiele für Miniaturisierung, Automatisierung und Digitalisierung berühren zwar alle das Themengebiet, finden aber weder in einer abgestimmten Weise statt noch werden sie als zusammenhängendes Phänomen wahrgenommen. Potential und Ausmaß der Umwälzungen werden derzeit nicht voll erkannt. Für Deutschland als einem traditionell ingenieurwissenschaftlich geprägten Standort bieten sich durch eine Konvergenz dieser Technologien besondere Chancen, die unbedingt genutzt werden sollten.

Wichtige Handlungsfelder sind in diesem Zusammenhang:

- » **Beobachtung, Begleitung und Systematisierung** der stattfindenden Entwicklungen, z. B. durch Marktüberblicke, White Papers und Informations/Diskussions-Veranstaltungen.
- » **Grundlagen der Miniaturisierung:** Die Erforschung neuer Ansätze zur Miniaturisierung der Analytik (Methoden, Apparate) sowie der mikroskaligen

Experimentiersysteme sollte als Triebfeder der Entwicklung weiter gefördert werden.

» **Virtualisierung** von Abläufen, Produkten und Prozessen zur Integration von Technologien, ausgerichtet sowohl auf den vernetzten Betrieb von Geräten als auch auf die weitergehende Vernetzung der gesamten Forschungs-, Entwicklungs- und Produktionskette ist entscheidend für den Erfolg.

» **Integration von Technologien** durch Schaffung von Demonstratoren und Plattformen, um die neuen Technologien exemplarisch anzuwenden, die Forschung zu beschleunigen, aber auch um die Weiterentwicklung der Technologie zu fördern.

» **Smarte Algorithmen, Sensoren und Softwaresysteme**, die in der Lage sind, selbständig Umgebungskontexte zu erkennen und Entscheidungen über den weiteren Ablauf eines Arbeitsschritts oder Experiments zu treffen.

» **Schnittstellenstandards** zur Förderung der Konvergenz verschiedenster Technologien. Die Entwicklung entsprechender Standards sollte kritisch begleitet und durch Testszenerarien (Benchmarks) erprobt werden.

» **Wirtschaftliche Konsequenzen:** Durch Digitalisierung werden alternative Geschäftsmodelle möglich. Bereiche wie Bioökonomie oder personalisierte Medizin werden davon profitieren, aber auch neue Randbedingungen schaffen. Die ökonomischen Konsequenzen müssen durchdacht werden.

» **Gesellschaftliche Begleitforschung:** Die zu erwartenden Umwälzungen werden zurzeit noch nicht absehbare Konsequenzen für die Arbeitswelt und Gesellschaft haben, denn einerseits wird die Automatisierung neue Kompetenzen erfordern und andererseits wird der Endverbraucher neue Produkte nutzen können. Die Partizipation der entsprechenden gesellschaftlichen Gruppen ist notwendig.

» **Ausbildung:** Universitäten müssen in die Lage versetzt werden, in der biotechnologischen Forschung und Lehre miniaturisierte Plattformtechnologien in intelligent vernetzten Laborumgebungen auf aktuellstem Entwicklungsstand verfügbar zu haben, um ihrer zentralen Rolle in Forschung und akademischer Ausbildung entsprechend qualifizierter Fachkräfte gerecht werden zu können.

#### Autoren

Wolfgang Wiechert      BG-1:Biotechnologie, Forschungszentrum Jülich  
Thomas Scheper      Inst. für Technische Chemie, Leibniz-Universität Hannover  
Dirk Weuster-Botz      Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik, TU München  
Alle Autoren sind Mitglied von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften

#### Herausgeber

DECHEMA  
Gesellschaft für Chemische Technik  
und Biotechnologie e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main  
Tel: +49 69 7564-0  
Fax: +49 69 7564-201  
E-Mail: info@dechema.de

#### Verantwortlich im Sinne des Presserechts

DECHEMA e.V.  
Dr. Kathrin Rübberdt  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main

#### Gestaltung/Satz

PM-GrafikDesign  
Peter Mück, Wächtersbach

Erschienen im August 2018

#### Bildnachweise

Titel: Sergey Nivens - stock.adobe.com; S. 3: pixabay; S. 6: Pzucchel - Own work, CC BY-SA 3.0; S. 11: lev dolgachov - stock.adobe.com; S. 13: National Institute of Allergy and Infectious; S. 17: DECHEMA/Valentin

DECHEMA  
Gesellschaft für Chemische Technik  
und Biotechnologie e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 25  
60486 Frankfurt am Main

[www.dechema.de](http://www.dechema.de)