

Die Biologische Transformation

von Thomas Bauernhansl und Robert Mieke

Wenn die Digitale auf die Biologische Transformation trifft, können die technischen Voraussetzungen geschaffen werden, um die dringenden Probleme der Gesellschaft tatsächlich zu lösen. Nahezu alle industriellen und gesellschaftlichen Bereiche und auch entsprechende Forschungsinstitutionen werden sich in einer biointelligenten Wertschöpfung massiv verändern. Die Vision der Biologischen Transformation, wie sie hier detailliert vorgestellt wird, ist bereits dabei, Realität zu werden.

Die Biologische Transformation der industriellen Wertschöpfung beschreibt die zunehmende Nutzung von Materialien, Strukturen, Prozessen und Organismen der belebten Natur in der Technik. Diese systematische Anwendung von Wissen über biologische Prozesse führt im Kontext der Wertschöpfung zu einer zunehmenden Integration von Produktions-, Informations- und Biotechnologie mit dem Potenzial, künftige Produkte, Herstellprozesse, Organisationen, kurz die Lebensweise der Menschen insgesamt tiefgreifend zu verändern.

Zurzeit wird der Begriff Nachhaltigkeit noch mit ökonomischen Einbußen und Einschränkungen für Unternehmen bis hin zu jeder einzelnen Person assoziiert. Die Biologische Transformation soll genau hier ansetzen und Nachhaltigkeit durch neue Konzepte und Innovationen wirtschaftlich und attraktiv machen.

Das Potenzial der Biologischen Transformation erweist sich als vielfältig – von disruptiven Innovationen über die Modernisierung der deutschen Unternehmens- und Bildungskultur bis hin zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise. Man muss es nur ausschöpfen.

Der vorliegende Artikel basiert auf der vom Fraunhofer IPA federführend verfassten Voruntersuchung Biotrain. Dabei zeigt eine Status-quo-Analyse, dass deutsche Unternehmen derzeit in vielen relevanten Bereichen der Biologischen Transformation, wie etwa der Biotechnologie und der Informationstechnik, nicht führend, aber in einer aussichtsreichen Position sind, wenn nun die richtigen Maßnahmen ergriffen werden.

Zu den Stärken Deutschlands im internationalen Vergleich zählen beispielsweise die ausgeprägte Forschungslandschaft sowohl in der Grundlagen- als auch in der angewandten Forschung sowie eine privilegierte Stellung im Internationalen Handel. Als Schwächen wurden dagegen die Aversion gegenüber potenziellen Risiken und disruptiven Veränderungen in

Voruntersuchung Biotrain mehr auf Seite 20f.

der deutschen Gesellschaft gesehen, die zu einer restriktiven Gesetzgebung geführt hat. Als Chancen wurden unter anderem die Sicherung des Industriestandortes Deutschland und die Eindämmung der Umweltbelastungen beurteilt – beispielsweise durch neuartige Arbeitsplätze und -bedingungen – sowie eine Regionalisierung und die Ressourceneffizienz. Als Risiko sehen die befragten Experten u. a. eine nicht beherrschbare, steigende Komplexität durch Künstliche Intelligenz und autonome Systeme.

Die Vision

In der vom Projektkonsortium Biotrain entwickelten positiven Zukunftsvision für Deutschland hält die Biologie umfassenden Einzug in die Wertschöpfung und ermöglicht den Menschen eine ökologisch ausbalancierte Befriedigung ihrer Bedürfnisse. Mithilfe von intelligenten, dezentralen Bioproduktionszellen (sogenannten Smart Biomanufacturing Devices) vollzieht sich der Wandel hin zu einer biobasierten, personalisierten und dezentralen Fertigung. Obgleich nicht alle Produkte dezentral hergestellt werden können, entwickelt sich aus der technischen Erneuerung der industriellen Wertschöpfung eine fortschrittliche Wirtschaftsform, die die physikalischen Grenzen unseres Planeten berücksichtigt: die technologiebasierte Bedarfswirtschaft. Produkte werden erst dann hergestellt, wenn sie gebraucht werden (just in time). Abfall existiert nicht mehr, da jedweder Output eines ausgebrauchten Produkts den Input für ein neues darstellt. In Summe führt die Dezentralisierung

der Wertschöpfung mithilfe biointelligenter Systeme zu einer massiven Reduktion des Verbrauchs von nicht-regenerativen Materialien und verursachten Emissionen. Re- und Upcycling sind Teil des regulären Produktlebens. Biobasierte Produkte können problemlos an die Biosphäre abgegeben und zurück in den Wertschöpfungskreislauf geführt werden. Weltweit wird Deutschland in diesem Szenario das erste Land sein, das sich einer biointelligenten Wertschöpfung verschreibt. Mitte des 21. Jahrhunderts gilt Deutschland dann als Vorreiter einer nachhaltigen und zugleich wohlstandsorientierten Volkswirtschaft und wird zum globalen Leitbild. Soweit das Wunschdenken.

Voraussetzungen für die Verwirklichung

Im Vergleich zur Digitalisierung sind für eine umfassende Biologische Transformation tiefergehende und längerfristige Fördermaßnahmen notwendig. Beispielsweise muss zunächst ein umfängliches interdisziplinäres Netzwerk aufgebaut werden. Zu den weiteren Voraussetzungen für eine umfassende Biologische Transformation in Deutschland zählen die Erforschung und Entwicklung der Basistechnologien wie etwa Bioinformatik, Systembiologie, Informationstechnologie und Biosensorik, Additive Fertigung mit biointelligenten Materialien oder Tissue Engineering. Auch muss ein differenzierter gesellschaftlicher und interdisziplinärer Diskurs geführt werden, denn die Themen haben häufig ethische Relevanz und enthalten hohes Konfliktpotenzial. Außerdem sind interdisziplinäre Qualifikations- und Ausbildungsformen unverzichtbar, denn eine anpassungsfähige, multidisziplinäre Ausbildung wird als erforderlich für das Ge-

Biointelligenter 3D-Druck

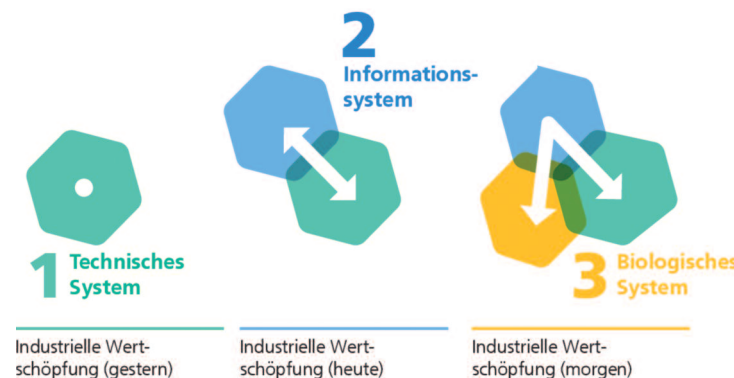
mehr auf Seite 30f.

lingen der Biologischen Transformation angesehen. Ziel soll es sein, die Basistechnologien im Hinblick auf den Transformationsprozess zu stärken, um deutschen Unternehmen auch in Zukunft eine führende Position zu sichern. Wir müssen das gegenwärtige gesellschaftliche und politische Momentum, den Schwung, den die Aktualität und die mediale Aufmerksamkeit für die Themen Bionik, Bioökonomie und Biotechnologie bringen, nutzen, um die weitere Verbreitung konkreter Möglichkeiten und Konzepte analog zur Digitalisierung (Industrie 4.0) voranzutreiben. Zugleich ist es notwendig, Risiken, die mit den neuen Technologien einhergehen, und

hemmende Rahmenbedingungen aktiv zu adressieren und breit zu diskutieren.

Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise

Wie sieht nun aber der Weg zu einer nachhaltigen, biologisch transformierten technologiebasierten Bedarfswirtschaft aus?

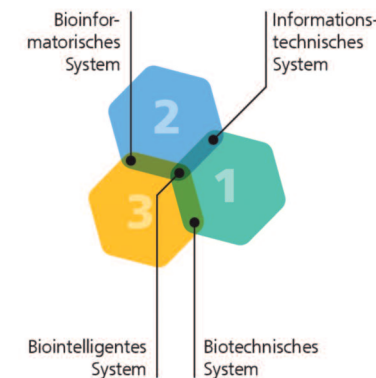


Integrationsebenen der Biologischen Transformation, Wertschöpfung gestern, heute und morgen. Quelle: Fraunhofer

Beim Prozess der Biologischen Transformation unterscheiden wir drei Entwicklungsmodi. Zunächst erlaubt es die Inspiration, über Jahrtausende evolutionär entstandene biologische Phänomene auf Wertschöpfungssysteme zu übertragen. Unternehmen entwickeln mit diesem Ansatz neuartige Materialien und Strukturen (z. B. Leichtbau), Funktionalitäten (z. B. Biomechanik) sowie Organisations- und Kooperationslösungen (z. B. Schwarmintelligenz, Neuronale Netze, evolutionäre Algorithmen). In einem weiteren Modus findet das Wissen über die Biologie Anwendung in Form einer tatsächlichen Integration biologischer Systeme in Produktionssysteme (z. B. Substitution chemischer durch biologische Prozesse). Anwendungsbeispiele dieses Modus sind u. a. biotechnologisch hergestellte Pharmazeutika, aus Zucker oder CO₂-Abfallströmen gewonnene Grundstoffe und Biodiesel für die chemische Industrie oder die Nutzung von Mikroorganismen zur Rückgewinnung von Seltenen Erden aus Magneten. Drittens führt die umfassende Interaktion technischer, informatorischer und biologischer Systeme zur Schaffung völlig neuer, autarker Produktionstechnologien und -strukturen, sogenannten biointelligenten Wertschöpfungssystemen (z. B. in Minizellfabriken). Die wesentlichen Integrationsebenen, die die Grundlage für den Prozess bilden, sind demnach die technische Ebene, die Informationsebene und die biologische Ebene.

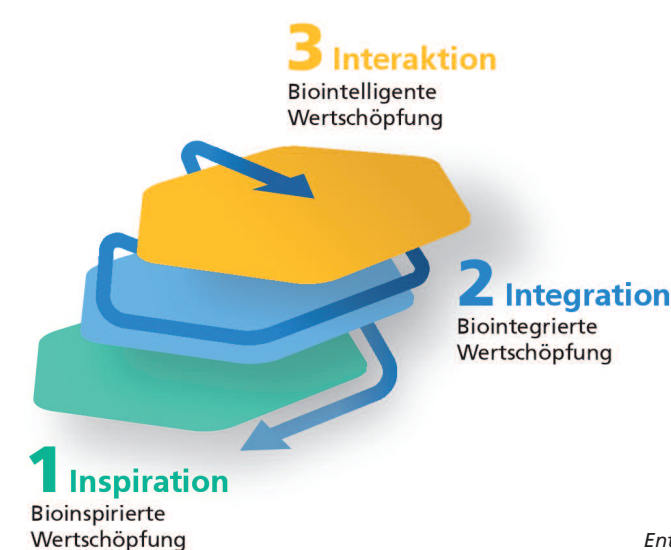
Von der Digitalen zur Biologischen Transformation: Digitalisierung als Befähiger

Während der Einsatz selbstlernender Algorithmen in der Industrie zunächst lediglich der Produktivitätssteigerung dient, nutzen Forschungseinrichtungen diese vermehrt zur Lösung komplexer Herausforderungen menschlichen Zusammenlebens und Wirtschaftens. Gleichzeitig ermöglichen die enormen Entwicklungsschritte und der Preisverfall im Bereich der Sensorik eine



massive Ausweitung des Technologieeinsatzes. Die verfügbare Menge an Informationen wächst dadurch exponentiell. Mit maschinellem Lernen können die immensen Datenmengen gezielt ausgewertet und in Datenbanken potenziellen Nutzern zielgerichtet zur Verfügung gestellt werden. Die Biowissenschaften, insbesondere die Forschung in der Genetik, waren eine der ersten

Disziplinen, die sich mit einer strukturierten Datenerfassung und -speicherung befassen und sind heute ein Vorreiter bei der Digitalisierung in den experimentellen Wissenschaften. Der enorme Anstieg des verfügbaren Wissens über die Biologie, die durch die Digitalisierung ermöglichte Vernetzung von Wissenschaftsdisziplinen und Industrien sowie der intelligente Umgang mit großen Datenmengen wird die industrielle Wertschöpfung der Zukunft sektorübergreifend maßgeblich verändern. Darüber sind sich zahlreiche Experten, Visionäre und Wissenschaftler einig.

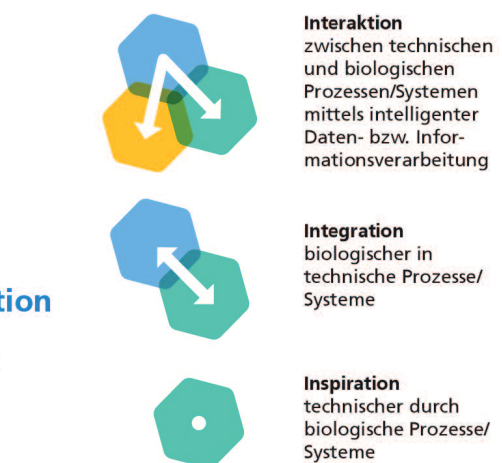


Die Biologie findet Einzug in die Wertschöpfung: Inspiration, Integration, Interaktion

Die Verbindung von Produktions-, Informations- und Biotechnologie wird Produkte, Produktionsverfahren, Organisationsformen, Lehr- und Lernmethoden sowie Regionen und Lebensweisen tiefgreifend verändern. Während sich Optimierungsmaßnahmen seit der ersten industriellen Revolution entweder alleine auf das technische System konzentrierten (z. B. Realisierung der Fließfertigung) oder eine Verbindung zwischen technischem und informatorischem System (z. B. Vernetzung produktionstechnischer Anlagen mithilfe cyberphysischer Systeme) anstrebten, wird künftig eine synchrone Verzahnung technischer, informatorischer und biologischer Systeme denkbar. Durch Inspiration, Integration und Interaktion kann die Wertschöpfung in allen Bereichen optimiert werden.

Biointelligente Wertschöpfungssysteme: Maximale Wandlungsfähigkeit und Resilienz

Durch die digitale Transformation (Industrie 4.0) wurden in produzierenden Unternehmen umfangreiche Flexibilisierungspotenziale realisiert. Mit der Biologischen Transformation entsteht die Möglichkeit, vollkommen wandlungsfähige Produktionseinheiten zu schaffen. Biointelligente Wertschöpfungssysteme sind in der Lage, ihre Architektur autonom und ad hoc zur optimalen Lösung eines Produktionsauftrags zu adaptieren. Wertschöpfungssysteme sind dabei nicht länger als abgegrenzte Entitäten (Fabriken, Anlagen) zu verstehen, sondern als regionale soziotechnische Zellen, die über sämtliche notwendigen Informationen verfügen (vgl. DNA), um Ressourcen auszutauschen und intelligent zu nutzen (vgl. Stoffwechsel),



Entwicklungsmodi der Biologischen Transformation. Quelle: Fraunhofer

sich an Umgebungsbedingungen anzupassen (vgl. Evolution), sich spontan und autonom untereinander zu vernetzen und im Schwarm gezielte Lösungen für gegebene Aufgaben zu finden. Fallen Teile des Wertschöpfungssystems unvorhergesehen aus, passt sich das System selbstständig und in Echtzeit an (Resilienz). Biointelligente Wertschöpfungszellen können in verschiedensten Dimensionen (vgl. Molekül, Zelle, Organismus, Gemeinschaft, Region etc.) vorkommen, sind dezentral organisiert, bewirtschaften regionale Ressourcen und stehen in vielfältigen Austauschbeziehungen mit ihren umgebenden Wertschöpfungseinheiten und biologischen Ressourcen.

Smart Biomanufacturing Devices:

Technologien für eine biointelligente Wertschöpfung

Smart Biomanufacturing Devices, das sind intelligente Bioproduktionszellen, machen es möglich, verschiedenste Produkte selbstständig mit den gegebenen biologischen Ressourcen vor Ort zu produzieren. Hierzu werden u. a. auf der additiven Fertigung basierende Produktionsverfahren mit selbstlernenden Algorithmen gekoppelt, um regional zur Verfügung stehende biobasierte Materialien aufzubereiten (u. a. Bio-reaktoren, Bioraffinerien), zu verarbeiten und auf spezifische Anforderungen (u. a. Nutzung, End of Life) zu adaptieren.

Es gibt nur ein System, das spontan nach Bedarf ohne Rohstoffe produzieren kann: das biologische System mehr auf Seite 16ff.

Technologische und biologische Systeme werden dazu befähigt, miteinander zu kommunizieren und voneinander zu lernen. Entstehende Haushaltsabfälle werden beispielsweise mit bioelektrochemischen Produktionszellen direkt verwertet und fließen in Form von Energie und Material in neue Produkte ein.

Konsumenten als Zulieferer

Die Verbreitung von Smart Biomanufacturing Devices ermöglicht es den Konsumenten dann, auch als Zulieferer von Rohstoffen und Bauteilen in Erscheinung zu treten und Gestalter der digitalisierten Wertschöpfung zu sein. Auf diese Weise wird es mehr und mehr möglich, Materialkreisläufe zu schließen.

Lebende Produkte ermöglichen Höchstmaß an Personalisierung

Die Biologische Transformation dient nicht nur der Dezentralisierung und Wandlungsfähigkeit der Wertschöpfung, sie ermöglicht auch die Integration von adaptiven Mikroorganismen in Materialien und Oberflächen, eine Funktionalisierung und Anpassung von Produkten an die jeweilige Nutzung und die Refabrikation nach der Nutzungsphase. Über intelligente Kommunikationsschnittstellen können Konsumenten jederzeit aktiv in den Entwicklungs- und Nutzungsprozess eingreifen und wesentliche Parameter steuern.

Neuartige Mensch-Maschine-Schnittstellen: Technologie und Biologie fühlen und steuern

Das intensivierte Kommunikationsvermögen zwischen technischen und biologischen Systemen bietet völlig neuartige Potenziale für Mensch-Maschine-Schnittstellen. In zukünftigen Wertschöpfungssystemen werden Menschen und Maschinen intuitiv zusammenarbeiten. Dabei sind sie in der Lage, miteinander barrierefrei zu kommunizieren. Maschinen geben ihre Informationen beispielsweise über intelligente tragbare Geräte wie Augmented-Reality-Brillen weiter und Menschen werden in den Maschinen über Avatare als digitale Stellvertreter abgebildet. Dadurch kann die Maschine individuell mit der Person interagieren, so zum Beispiel den Arbeitsplatz ergonomisch anpassen, die Sprache ändern oder sonstige physische oder psychische Zustände des interagierenden Menschen im

Wertschöpfungsprozess berücksichtigen. Mithilfe von neuartiger Sensorik, Aktorik und Datenverarbeitung (als Kombination von Human-Brain-Interfaces und Exoskeletten) können Menschen dazu befähigt werden, technologische Systeme (z. B. Maschinenzustände) intuitiv zu steuern und damit eine beanspruchungsgerechte und gleichzeitig hocheffiziente Wertschöpfung zu realisieren.

Neue Lebensweisen, soziale Innovationen

Die Dezentralisierung der Wertschöpfung und die steigenden Möglichkeiten der aktiven Teilnahme an der Wertschöpfung führen auch zu einer Veränderung von Lebensweisen. Lebensmittel, die nicht in Minizellfabriken hergestellt werden, werden in eigenen oder genossenschaftlich bewirtschafteten Garten- und Zuchtanlagen angebaut (Horticulture). In urbanen Regionen werden vermehrt vertikale und horizontale Gärten an privaten

7 von 10 neu zugelassenen Medikamenten sind biologischer Natur und werden auf Basis biologischer Systeme produziert mehr auf Seite 22ff.

und öffentlichen Gebäuden installiert. Ganze Gebäudekomplexe und Viertel werden biointelligent, weit über die Einführung von Smart Grids und Smart Entertainment hinaus. Intelligente Plattformtechnologien ermöglichen eine ideale Kapazitätsauslastung der installierten Smart Biomanufacturing Devices. Infolge der Regionalisierung der Wertschöpfung werden Transportwege massiv reduziert. Kleine und mittlere Unternehmen mit flexiblen Strukturen als Grundlage für Innovationsprozesse gewinnen in diesem Zusammenhang an Bedeutung.

Der Trend der genossenschaftlichen Nutzung führt zu sozialen Innovationen. Sharing-Konzepte gewinnen an Akzeptanz und werden in vielen Bereichen marktfähig. Das Open-Source-Prinzip löst in vielen Fällen das Eigentumsprinzip ab. Zwischen den Bewohnern von Regionen entsteht ein neues Gefühl des Miteinanders und der Selbstbestimmung. Die Wertschöpfung wird sich weniger in Ballungszentren konzentrieren und ehemals von Landflucht betroffene Regionen und Kommunen werden neu belebt.

Die technologiebasierte Bedarfswirtschaft

Aus der technischen Erneuerung der industriellen Wertschöpfung entwickelt sich eine fortschrittliche Wirtschaftsform: Die technologiebasierte Bedarfswirtschaft – ein fundamentaler Wandel. Statt Waren werden mehr und mehr Baupläne gekauft, die von lernenden Systemen verarbeitet und auf lokale Gegebenheiten, zum Beispiel das Ressourcenvorkommen oder das Energiedargebot, adaptiert werden können. Während ein Großteil der Konsumprodukte vor Ort – auch im Privathaushalt oder in lokalen Fertigungszellen – produziert wird, übernehmen etablierte Unternehmen weiterhin die Fertigung komplexer Produkte wie Maschinen, Anlagen, Fahrzeuge etc. Im Gegensatz zu heutigen zentralisiert-linearen Produktionsweisen erfolgt dies jedoch dezentral und in Kreisläufen.

Nachhaltige Wertschöpfung durch biointelligente Systeme

In Summe führt die Dezentralisierung der Wertschöpfung mithilfe biointelligenter Systeme zu einer massiven Reduktion des Verbrauchs von nicht-regenerativen Materialien und von Emissionen, u. a. durch die Substitution ökologisch unvorteilhafter Produktionsprozesse, Einsparungen durch die kollaborative

Nutzung (Shared Economy) und Problemlösungskompetenzen selbstlernender Systeme. Kreisläufe werden flächendeckend nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip geschlossen. Re- und Up-cycling sind Teil des Produktlebens, das bereits in der Frühphase geplant wird. Biobasierte Produkte oder Produktreste können problemlos an die Biosphäre abgegeben und zurück in den Wertschöpfungskreislauf geführt werden. Die Substitution importierter durch regional verfügbare biobasierte Materialien erlaubt eine dramatische Reduktion der Importabhängigkeit. Die von der Bundesregierung bereits früh aktiv forcierte Standardisierung der Bewertung von nachhaltiger Wertschöpfung ermöglicht gezielte regulatorische Eingriffe. Die Erweiterung der Bilanzgrenzen und eine konsequente Bepreisung von externen Effekten führen zu einem Umdenken in Unternehmen. Damit verbunden verdrängt die Stakeholder-orientierung die Shareholder-Orientierung. Entscheidungsträger in Unternehmen priorisieren vermehrt den Dienst an der Gemeinschaft. In Summe sinkt der individuelle Fußabdruck der Bürgerinnen und Bürger auf ein sozio-ökologisch vertretbares Maß. Die Ökosphäre wird radikal entlastet. ■

