



Fraunhofer
UMSICHT

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR UMWELT-, SICHERHEITS- UND ENERGIETECHNIK UMSICHT

UMSICHT-Diskurs Heft 2

FRAGEN ZU EINER BIOLOGISCHEN TECHNIK

Thomas Marzi*, Volker Knappertsbusch, Anne Marzi, Sandra Naumann, Göрге Deerberg, Eckhard Weidner

*Korrespondenzautor



Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik
UMSICHT
Osterfelder Str. 3
46047 Oberhausen

Telefon 0208 8598-1230
E-Mail thomas.marzi@umsicht.fraunhofer.de
URL www.umsicht.fraunhofer.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie.

DOI 10.24406/UMSICHT-N-502309

Warenzeichen und Handelsnamen in dieser Publikation sind geschützt.

Autorinnen, Autoren und Herausgeber haben sich bemüht, alle Bildrechte zu klären. Sollte dies im Einzelfall nicht oder nicht zutreffend gelungen sein, wird um Nachricht an den Verlag gebeten.

Titel
Einzelfotos: ©shutterstock, Gestaltung: Anja Drnovsek

© Verlag Karl Maria Laufen
Oberhausen 2018
www.laufen-online.com

*Das Neue kommt nicht durch immer wieder veränderte
und reaktive Problemlösungsstrategien in die Welt.
Und auch nicht durch das bloße Vorhandensein von Mannigfaltigkeit oder kul-
turellen und gesellschaftlichen Farbenreichtums.
Es entsteht vielmehr durch eine kreative Veränderung des Gemisches aus
Fragen und Antworten.*

Michael Reitz, Publizist, 2015¹

¹ Wie kommt das Neue in die Welt, Beitrag im Deutschlandfunk 24.05.2015, https://www.deutschlandfunk.de/wie-kommt-das-neue-in-die-welt-2-2-zufaelle-und-katastrophen.1184.de.html?dram:article_id=317218, zuletzt geprüft am 04.07.2018.

Fragen zu einer biologischen Technik – worum geht es?

Was denken Sie, wenn Sie die Begriffe biologische, biologisch transformierte oder »biologisierte« Technik hören? Sie werden sich wahrscheinlich zunächst fragen, was das denn eigentlich ist, eine biologische oder biologisch transformierte Technik. Handelt es sich bei Biologie und Technik nicht um völlig verschiedene Dinge? Beschäftigt sich die Biologie nicht mit der Erforschung von Lebewesen, während Technik etwas Künstliches schafft, das etwas völlig Anderes ist als ein Lebewesen? Nach kurzem Nachdenken fallen Ihnen wahrscheinlich die Begriffe Biotechnologie und Gentechnik als Beispiele für eine biologische Technik ein, da diese Themengebiete anscheinend sowohl etwas Biologisches als auch etwas Technisches enthalten. So kommt die Kombination aus Biologie und Technik in den Begriffen Biotechnologie und Gentechnik sogar sprachlich zum Ausdruck, da in ihnen die biologisch geprägten Silben »Bio-« und »Gen-« mit den technisch geprägten Silben »-technologie« und »-technik« kombiniert werden.

Doch nicht nur Biotechnologie und Gentechnik können als biologische Technik aufgefasst werden. Auch Themen, die zunächst gar nicht biologisch klingen, wie das Forschungsgebiet der Künstlichen Intelligenz (KI), lassen sich als biologisch transformierte Technik auffassen, da sie versuchen, Eigenschaften von Lebewesen, im Fall der KI kognitive Leistungen, auf technische Systeme zu übertragen. Was also mit einer biologisch transformierten Technik gemeint ist, ist nicht »pure« Biologie, sondern die Übertragung von Komponenten, Erkenntnissen, Prinzipien oder Methoden aus der Biologie in technische Verfahren und Systeme. Auch eine Übertragung auf weiter gefasste Bereiche wie die Industrie, die Wirtschaft und vielleicht sogar die Gesellschaft scheint möglich zu sein.

Vielleicht verstehen Sie unter einer biologischen Technik oder Wirtschaft aber auch etwas, was besser und nachhaltiger ist als bisher, biologisch eben, so wie ein Bioprodukt. Aber stimmt das? Entsteht durch die Übertragung biologischer Prinzipien in andere Bereiche wirklich eine verträglichere Technik oder Wirtschaft? Was sind das überhaupt für Komponenten, Erkenntnisse, Prinzipien oder Methoden, die übertragen werden können und was liegt seinem Wesen nach dann vor: Etwas Lebendiges oder etwas Technisches? Um sich Antworten auf diese Fragen anzunähern, muss auch nach den Unterschieden zwischen technischen Verfahren und Lebewesen gefragt und nach Gemeinsamkeiten zwischen diesen gesucht werden.

Darum geht es im Folgenden bei den »Fragen zu einer biologischen Technik«.

Inhalt

Fragen zu einer biologischen Technik – worum geht es?	2
1 Biologische Transformationen – eine Einführung	5
1.1 Vorbemerkungen	6
1.2 Was sind »Biologische Transformationen«? – eine Begriffsklärung.....	10
1.3 Exkurs 1: Konvergierende Technologien	14
1.4 Was ist eine »Biologische Transformation«? – Eine Strukturierung.....	16
1.5 Fragen zur Bewertung biologischer Transformationen	20
2 Lebewesen und Technik – Teil 1	23
2.1 Zielgerichtetheit in Natur und Technik.....	24
2.2 Exkurs 2: Teleologie	27
3 Lebewesen und Ökosysteme	28
3.1 Was sind Lebewesen	29
3.2 Leben – eine emergente Eigenschaft?	33
3.3 Evolution	37
3.4 Ökosysteme	41
4 Was ist Technik?	46
4.1 Philosophie der Technik	47
4.2 Wie entsteht Technik?.....	48
4.3 Mensch, Technik, Kultur, Gesellschaft und Wirtschaft	54
5 Lebewesen und Technik – Teil 2	60
5.1 Evolutionäre technische Entwicklungen?.....	61
5.2 Evolutionäre Ökonomik und Evolutionsmanagement	64
5.3 »Künstliche Lebewesen«	66
5.4 Menschen und Maschinen im »Parlament der Dinge«	70
5.5 Exkurs 3: Einzeller als Vorbild für »lernende« Agenten	75
5.6 Technik im Menschen.....	76
5.7 Muskelbetriebene Roboter	78
5.8 Lebewesen in maschinellen Strukturen?	80
5.9 Die »biologische Dimension« von Technik.....	85
6 Biologische Transformation – Ethische Fragen	88
7 Resümee	92

8 Anhang	97
8.1 Autorinnen und Autoren	98
8.2 Danksagung	99
8.3 Tabellenverzeichnis	100
8.4 Abbildungsverzeichnis	100
8.5 Abbildungsnachweise	101
8.6 Literaturverzeichnis	103

1 Biologische Transformationen – eine Einführung

1

Kapitel 1

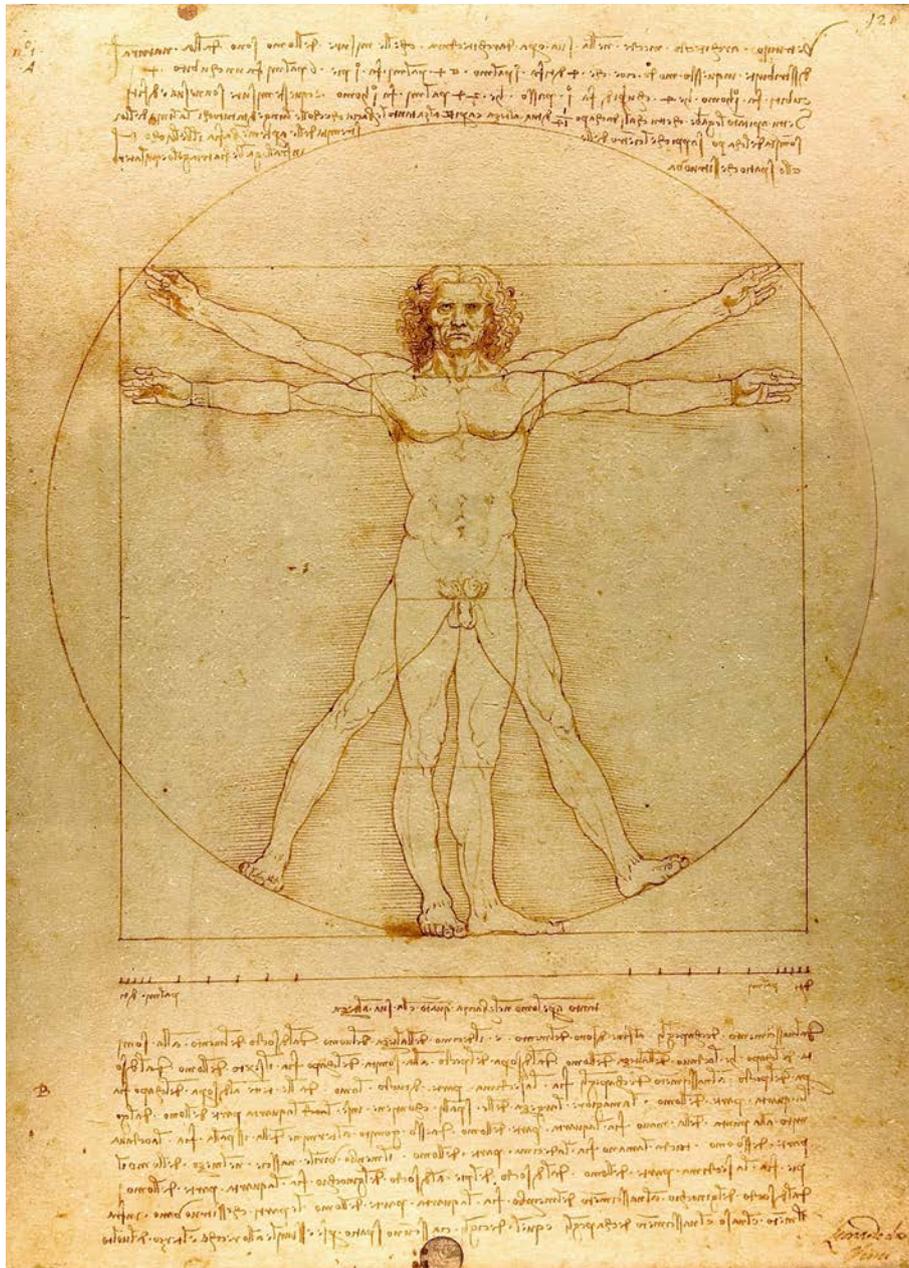


Abbildung 1: »Vitruvianischer Mensch« von Leonardo da Vinci, ca. 1490

Diese Zeichnung von Leonardo da Vinci zeigt die einen Menschen mit idealisierten Proportionen. Die Abbildung wird als vitruvianischer Mensch bezeichnet, da die vorgenommene Idealisierung von Formen und Proportionen sich an Vorstellungen des antiken Architekten Vitruvius orientiert. Die Autorinnen und Autoren assoziieren mit dem Bild, dass durch Menschen sowohl eine biologische, als auch eine technische Dimension sichtbar wird. So sind Menschen einerseits biologische Wesen, andererseits aber auch die schöpferische Quelle für Technik.

1.1 Vorbemerkungen

»I think the biggest innovations of the twenty-first century will be the intersection of biology and technology. A new era is beginning, just like the digital one...«², Steve Jobs (Isaacson 2011).

»Kommen technische Innovationen zukünftig hauptsächlich aus der Biologie?« Glaubt man dem Unternehmer Steve Jobs, der als Gründer des Unternehmens »Apple« einer der bekanntesten Pioniere der digitalen Entwicklung war und den Ruf eines Visionärs innehatte, sind aus der Biologie zukünftig technische Entwicklungen zu erwarten, die von großer Bedeutung für unser Leben sein werden. Aber hat Steve Jobs mit seiner Prognose recht, dass biologische Innovationen sogar mit der digitalen Revolution vergleichbar sind und eine neue Ära prägen werden? Auf den ersten Blick verwundert seine Prognose doch sehr. Waren es in der Vergangenheit nicht überwiegend Erkenntnisse aus der Physik oder Chemie, die die naturwissenschaftlichen Grundlagen für technische Entwicklungen lieferten, während Innovationen aus dem Bereich der Biologie seltener waren und viel später einsetzten? Handelte es sich zu Beginn des 19. Jahrhunderts, als physikalische und chemische Forschungen bereits technische Entwicklungen wie die Dampfmaschine oder elektrische Anlagen ermöglichten, bei der »Lebenswissenschaft Biologie« nicht noch um eine eher beschreibend und naturphilosophisch arbeitende Wissenschaft ohne erkennbares technisches Entwicklungspotenzial? Die Innovationsfähigkeit, die Steve Jobs der Biologie heute zuspricht, muss deshalb mit einer Entwicklung zusammenhängen, durch die die Biologie zu einer experimentell arbeitenden Naturwissenschaft mit vielen Teildisziplinen (Ingensiep 1997) wurde, was auch das Entstehen angewandter Richtungen³ ermöglichte.

Doch auch wenn sich mithilfe einer angewandten biologischen Forschung neue Technologien entwickeln lassen – führen diese wirklich zu Innovationen, die mit der digitalen Revolution vergleichbar sind? Bei der Beantwortung dieser Frage lohnt sich erneut ein Blick auf das Zitat von Steve Jobs, der die von ihm erwarteten Innovationen nicht der Biologie als Einzelwissenschaft zuschreibt, sondern eine Verbindung (»*intersection*«) von Biologie *und* Technik als treibende Kraft für Innovationen annimmt. Erst die Verbindung aus Biologie und Technik, so lässt sich aus dem Zitat schließen, führt zu Entwicklungen, die mit den Innovationen im digitalen Bereich vergleichbar sind. Worum es sich bei einem solchen Zusammenwachsen von Biologie und Technik handeln kann, lässt sich anhand eines Beispiels erahnen, das in einem Sammelwerk der Zeitschrift *Spektrum der Wissenschaft* (Spektrum der Wissenschaft 2015), das den gar nicht biologisch klingenden Titel »*Roboter*« trägt, aufgeführt

² Steve Jobs traf diese Aussage, nachdem sein Sohn begonnen hatte, in einem Onkologielabor zu arbeiten. Dort beschäftigte man sich mit DNA-Sequenzierung, um nach Genmarkern zu suchen, die Darmkrebs hervorrufen (Isaacson 2011).

³ Eine Erweiterung des Begriffs »Biologie« ist der Begriff »Biowissenschaften«. Unter Biowissenschaften sind verschiedene Forschungs- und Entwicklungsbereiche zu verstehen, deren Grundlage und Ausgangspunkt Erkenntnisse und Methoden der Biologie sind. Zu unterscheiden ist dabei zwischen Disziplinen, die aus Kombinationen von Biologie und anderen Naturwissenschaften hervorgegangen sind (z. B. Biochemie, Biogeografie, Biomathematik, Biometeorologie, Biopharmazie, Biophysik) und Disziplinen, die biologische Erkenntnisse technisch nutzen (z. B. Bioelektronik, Bioinformatik, Biokybernetik, Bionik, Biotechnologie, Gentechnologie (Spektrum der Wissenschaft 1999)).

ist. Dort wird u. a. die Entwicklung eines Mikroroboters beschrieben, der aus biologischen und anorganischen Bestandteilen besteht (Dönges 2015). Bei den biologischen Komponenten handelt es sich um Muskelzellen, durch die der Roboter bewegt werden kann.

Konzepte, die auf einer Interaktion zwischen Biologie und Technik aufbauen, sind jedoch nicht vollkommen neu. Neben bionischen Konzepten, die u. a. Material- und Formeigenschaften aus der Natur auf technische Anwendungen übertragen, ist in diesem Zusammenhang auch eine von den Vereinigten Staaten ausgehende Debatte um konvergierende Technologien («Converging Technologies») zu nennen, die auf eine als »NBIC-Konvergenz«⁴ bezeichnete Wechselwirkung zwischen den Themengebieten Nano-, Bio- und Informationstechnik und Kognitionswissenschaft abzielt. Die Debatte zur NBIC-Konvergenz (Roco 2003; Coenen 2008) wird etwa seit Beginn des 21. Jahrhunderts kontrovers geführt, da vor allem die formulierten gesellschaftlichen und humanen Visionen, die sich auf technologische Veränderungen von Menschen beziehen, zu Recht erheblichen Widerspruch hervorrufen (siehe Exkurs 1). Auch ein im Auftrag der Europäischen Union erstellter Expertenbericht nimmt Bezug auf eine mögliche NBIC-Konvergenz (Nordmann 2004), ohne sich dabei aber die umstrittenen gesellschaftlichen und humanen Visionen zu eigen zu machen.

In der deutschen Wissenschaftsszene und Forschungspolitik hat das Interesse an einer biologischen Technik unter Anwendung der Begriffe »*Biologisierung*« oder »*Biologische Transformation*« in den letzten Jahren zugenommen. So erwartet der Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, Reimund Neugebauer, eine »*Biologisierung der Industrie*«, die dadurch gekennzeichnet sein wird, dass sich Biologie und Technik immer mehr »*verzahnen*« (Neugebauer 2017). Eine solche Biologisierung sprach auch die ehemalige Bundesforschungsministerin Johanna Wanka auf einem Innovationsdialog⁵ zum Thema Biotechnologie an, auf dem sie eine »*Agenda Biologisierung*« in Aussicht stellte, die die Forschungsprogramme der Bundesregierung zukünftig wesentlich bestimmen soll (bioökonomie.de 2017). Spätestens seit dieser Ankündigung haben die Begriffe »biologische Transformation« und »Biologisierung« einen forschungspolitischen Charakter, sodass es nicht verwunderlich ist, dass das Thema auch in den aktuellen Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD aufgenommen wurde. Im Koalitionsvertrag heißt es: »*Wir werden die Nutzung von Prinzipien der Natur vorantreiben und eine ressortübergreifende Agenda 'Von der Biologie zur Innovation' gemeinsam mit Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft erarbeiten*« ((CDU, CSU, SPD 2018), S. 35). Zur Vorbereitung dieser Agenda, die den Titel »*Von der Biologie zur Innovation*« tragen soll, erfolgte inzwischen auch eine durch die Fraunhofer-Gesellschaft im Auftrag des Ministeriums für Bildung und Forschung durchgeführte Voruntersuchung, die die industrielle Wertschöpfung potenzieller biologischer Transformationen bewerten sollte. Die Ergebnisse der Voruntersuchung wurden auf zwei Konferenzen im Juni 2018 der Öffentlichkeit vorgestellt (Fraunhofer-Gesellschaft 2018b, 2018a).

⁴ NBIC: nano, bio, info, cogno

⁵ Der Innovationsdialog Biotechnologie fand im November 2016 auf Initiative der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina im Bundeskanzleramt statt.

**Zitat 1 – Carl Friedrich von Weizsäcker
(1912 – 2007)**



»Das Verhältnis von Philosophie zur sogenannten positiven Wissenschaft lässt sich auf die Formel bringen: Philosophie stellt diejenigen Fragen, die nicht gestellt zu haben die Erfolgsbedingung des wissenschaftlichen Verfahrens war.«
(Anzenbacher 2010), S. 24)

Auch wenn auf den genannten Konferenzen erste Ansätze zur Definition biologischer Transformationen erfolgten, sind die zu erwartenden Auswirkungen dieser Transformationen immer noch eine offene Frage. Ohne einer notwendigen Diskussion zu diesem Thema vorgreifen zu wollen, geht jedoch aus den Beiträgen der o. g. Konferenzen hervor, dass die Teilnehmer einer Übertragung von biologischen Prinzipien auf technische, wirtschaftliche

und soziale Bereiche das Potenzial zusprechen, umfassende Veränderungen anzustoßen, deren Wesen und Auswirkungen heute noch nicht zu überblicken sind. Zur Untersuchung dieser Aspekte werden deshalb, obwohl es sich bei der Biologie um eine Naturwissenschaft handelt, nicht nur die Ingenieur- oder Naturwissenschaften benötigt, sondern eine Reihe sehr unterschiedlicher Disziplinen, zu denen auch die Kultur- und Formalwissenschaften zählen.⁶ Vor allem mit Blick auf gesellschaftliche und wirtschaftliche Zusammenhänge lassen sich so weitere Erkenntnisse zu biologischen Transformationen gewinnen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass es ein wesentliches Merkmal der Wissenschaften ist, dass sie thematisch fokussiert sind und jeweils eine spezifische Methodik anwenden. Auch wenn sie, wie Carl Friedrich von Weizsäcker schreibt (Zitat 1), dieser Fokussierung ihren Erfolg verdanken, schränkt sie sie zugleich aber auch in ihren Erkenntnismöglichkeiten ein, da etwas, das außerhalb der thematischen und methodischen Grenzen liegt, nicht in Betracht gezogen werden kann.⁷ Diese Beschränkung hat zur Folge, dass eine Transformation als »Ganzes« sowie das, was die Transformation eigentlich ausmacht, von keiner Einzelwissenschaft abgebildet werden kann. Zwar lassen sich Erkenntnisteile aus einzelnen Wissenschaften durch interdisziplinäre Herangehensweisen möglicherweise zu einem größeren Bild zusammensetzen, der Blick auf das Ganze erschließt sich so jedoch nicht. Die von den einzelnen Wissenschaften erschlossenen Teile können nur zu einem sinnvollen Ganzen zusammengesetzt werden, wenn zumindest eine Vorstellung darüber existiert, was das eigentliche Wesen dieses Ganzen denn ausmacht. So schwierig es ist, dieses Ganze in den Blick zu nehmen, so wichtig ist es für Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, kontinuierlich den Versuch hierzu zu unternehmen, wie schon Erwin Schrödinger, einer der Begründer der Quantentheorie, im Vorwort seines Buches »Was ist Leben?« bemerkt ((Schrödinger 1989), S. 29 f., Zitat 2). Schrödinger versucht seinem eigenen Anspruch gerecht zu werden, in dem er sich als Physiker zu dem eigentlich anderen Wissenschaftsdisziplinen vorbehaltenen »Phänomen Leben« äußert. Er scheut sich dabei nicht, auch philosophische Schlussfolgerungen zu ziehen. Die Autorinnen und Autoren des vorliegenden Textes sprechen sich deshalb dafür aus, neben einzelwissenschaftlichen Aspekten auch philosophisches Denken in die Entwicklung und Bewertung biologisch-technischer Transformationen einzubeziehen. Sie sind davon überzeugt, dass das, was wir über Welt, Lebewesen, Technik, Menschen und uns selbst denken, z. B. Beispiel unsere jeweilige Vorstellung von Natur, auch unseren

⁶ Nach Anzenbacher ((Anzenbacher 2010), S. 22 f.) sind die Kulturwissenschaften als Oberbegriff für die Geistes-, Sozial- und Wirtschaftswissenschaften zu verstehen, während die Formalwissenschaften u. a. auch Mathematik, Informatik, Komplexitätsforschung und Systemtheorie beinhalten. Mit dieser Zuordnung werden sich nicht alle Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler identifizieren können, es sei deshalb bemerkt, dass es noch andere Möglichkeiten der Einteilung gibt.

⁷ Ein Effekt, der durch eine zunehmende Spezialisierung der Wissenschaften weiter verstärkt wird.

Umgang mit biologischen Transformationen prägen wird. Umgekehrt wird auch die Art, wie wir mit einer biologischen Transformation umgehen, unser Denken nicht unbeeinflusst lassen.

Zitat 2 – Erwin Schrödinger (1887 – 1961):



»Wir haben von unseren Vorfahren das heftige Streben nach einem ganzheitlichen, alles umfassenden Wissen geerbt[...]. Aber das Wachstum in die Weite und Tiefe, das die mannigfaltigen Wissenszweige seit etwa einem Jahrhundert zeigen, stellt uns vor ein seltsames Dilemma. Es wird uns klar, dass wir erst jetzt beginnen verlässliches Material zu sammeln, um unser gesamtes Wissensgut zu einer Ganzheit zu verbinden. Andererseits ist es einem einzelnen Verstande beinahe unmöglich geworden, mehr als nur einen kleinen spezialisierten Teil zu beherrschen.

Wenn wir unser wahres Ziel nicht für immer aufgeben wollen, dann dürfte es nur den einen Ausweg aus dem Dilemma geben: dass einige von uns sich an die Zusammenschau von Tatsachen und Theorien wagen, auch wenn ihr Wissen teilweise aus zweiter Hand stammt und unvollständig ist – und sie Gefahr laufen, sich lächerlich zu machen[...]

Dublin, September 1944.

E.S.

(Schrödinger 1989)

Der vorliegende Text ist als Versuch zu verstehen, verschiedene Aspekte in die aktuellen Diskussionen um biologische Transformationen einzubeziehen. Hierzu erfolgt zunächst eine Spezifizierung der Begriffe »Biologische Transformation« und »Biologisierung« in Kapitel 1.2, eine Strukturierung der damit verbundenen Technikfelder in Kapitel 1.4 und eine erste Bewertung verschiedener Transformationen in Kapitel 1.5. Anschließend werden in Kapitel 3 spezifische Wesensmerkmale von Lebewesen und in Kapitel 4 von technischen Artefakten und Verfahren herausgearbeitet. Beide werden in Kapitel 2 und 5 miteinander in Beziehung gesetzt. In Kapitel 5 werden dabei auch unterschiedliche biologische Transformationen betrachtet. In Kapitel 6 sprechen sich die Autorinnen und Autoren für die Berücksichtigung ethischer Aspekte aus.

Die Autorinnen und Autoren und dieses Textes sind in einem ingenieurwissenschaftlichen Umfeld tätig. Ihnen ist bewusst, dass sie den Themenkomplex »Biologische Transformationen« nicht in allen seinen fachlichen Aspekten umfassend darstellen können. Trotzdem orientieren sie sich an der Aufforderung Erwin Schrödingers, über die eigenen Fachdisziplingrenzen hinauszugehen, um nicht zuletzt auch ihre eigene Arbeit besser reflektieren zu können. Aufgrund der thematischen Breite muss hierzu notwendigerweise an vielen Stellen auf Sekundärquellen zurückgegriffen werden, was die Kolleginnen und Kollegen der verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen, die in einzelnen Teilen des folgenden Textes besser zu Hause sind, den Autorinnen und Autoren nachsehen mögen. Bei der Vielzahl möglicher Herangehensweisen an das Thema erhebt der vorliegende Text keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Er soll aber als Einladung zu einem Diskurs verstanden werden, die sich an unterschiedliche Akteure und Disziplinen richtet.

1.2 Was sind »Biologische Transformationen«? – eine Begriffsklärung

Die Entwicklung des Begriffs »Biologisierung«

In Kapitel 1.1 wurden die Begriffe »Biologisierung« und »Biologische Transformation« als Synonyme für eine intensiver werdende Wechselwirkung zwischen Technik auf der einen und biologischen Erkenntnissen und Methoden auf der anderen Seite verwendet. Bei dem Versuch nachzuvollziehen, in welchem Zusammenhang die Begriffe gebraucht werden und welche Entwicklung ihr Verständnis in den letzten Jahren genommen hat, ist es sinnvoll, zunächst mit dem Begriff »Biologisierung« zu beginnen.

Der deutsche Begriff »Biologisierung« ist inzwischen auch im englischen Sprachraum angekommen. So schreibt der irische Wissenschaftler Gerry Byrne⁸ in einem Diskussionsbeitrag zur Digitalisierung in der Produktion, dass im Jahr 2017 in Deutschland mit dem Wort Biologisierung⁹ ein neuer Begriff entstanden ist, der zunehmend eine größere Verbreitung findet, obwohl eine präzise Definition des Begriffs noch aussteht (Byrne 2017). Als Themen, die sich dem Begriff »Biologisierung« zuordnen lassen, nennt er Gentechnik, Synthetische Biologie, Medizintechnik, Landwirtschaft, Biotreibstoffe, neue Materialien sowie Nanomaschinen. Ebenso wie Steve Jobs (Kapitel 1.1) erwartet er durch eine Biologisierung gravierende Veränderungen, die er mit den Auswirkungen der Digitalen Revolution vergleicht: *»...it is the start of an entirely new revolution which has the potential to impact on the human being in a highly personal and profound manner – more so than the societal, cultural, economic and political impact of digitization to-date... So yes, there is an industrial revolution taking place and Biologicalisation is sitting at the centre of it.«* (Byrne 2017)

Tatsächlich wird der Begriff »Biologisierung« in Deutschland schon länger verwendet als seit 2017, allerdings zunächst noch nicht in dem von Gerry Byrne beschriebenen Zusammenhang interpretiert, sondern, im technischen Kontext, nahezu ausschließlich auf biotechnologische Prozesse und das Themengebiet der Bioökonomie (Telgheder 2009; Schüler 2015) bezogen. Biologisierung wird in diesem Zusammenhang in erster Linie als eine zunehmende Verwendung biotechnologischer Verfahren oder als Mittel zu einer biobasierten Wirtschaft verstanden (BMBF 2014, Lipkowski und Gloger 2007; Vogt 2017; EY Client Portal 2016; Hannovermesse 2015). Allerdings bietet auch der Begriff Bioökonomie noch ausreichend Interpretationsspielraum, der, vor allem international, sehr unterschiedlich ausgelegt wird (Wikipedia 2017a). Der deutsche Bioökonomierat, der die Bundesregierung in Fragen der Bioökonomie berät, bezeichnet Bioökonomie als Umdenkprozess (Bioökonomierat 2014) und die »Nationale Forschungsstrategie Bioökonomie 2030« nennt für die Bioökonomie fünf wesentliche Handlungsfelder, die unter Berücksichtigung von Aspekten der Kreislaufwirtschaft zu erschließen sind. Dabei handelt es sich um die Themengebiete »Sicherung der Ernährung«, »Nachhaltige Agrarproduktion«, »Gesunde und sichere Lebensmittelproduktion«, »Industrielle Nutzung nachwachsender Rohstoffe« sowie »Energetische Biomassenutzung« (BMBF 2017). Diese Interpretation der

⁸ Gerry Byrne ist Managing Director bei der Firma GB Innovation Ltd. Leinster, Irland, die u. a. Serviceleistungen für Management von Firmen anbietet. Er ist u. a. auch als Senior Advisor für die Fraunhofer-Gesellschaft tätig.

⁹ Als englische Übersetzung verwendet er den Begriff »*Biologicalisation*«.

Bioökonomie wird in letzter Zeit immer mehr um den Aspekt einer Nutzung von biologischem Wissen (Braun 2014) erweitert, womit auch bionische Konzepte jeglicher Art eingeschlossen werden, die nicht nur Material- und Forminnovationen beinhalten. Da unter Bionik die Übertragung von Erkenntnissen aus biologischen Systemen auf Konstruktionen, Verfahren, Entwicklungsprinzipien und wirtschaftlich-technische Anwendungen verstanden wird (Ferdinand et al. 2012), lässt sich Biologisierung somit auch als Teilaspekt der in Kapitel 1.1 bereits genannten und in Exkurs 1 beschriebenen »NBIC-Konvergenz« auffassen. Wie erwähnt, ist unter NBIC-Konvergenz eine konvergierende Wechselwirkung zwischen Nano-, Bio- und Informationstechnologien und Kognitionswissenschaften zu verstehen. Von der NBIC-Konvergenz werden sehr weitreichende technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen erwartet, von denen vor allem die teilweise formulierten gesellschaftlichen Ziele, die sich auch auf optimierte, leistungsfähigere Menschen beziehen, auf erhebliche Kritik gestoßen sind (Roco und Bainbridge 2003; Coenen 2008, 2014). Inwieweit gesellschaftliche Veränderungen mit dem Begriff Biologisierung verbunden sind und welche Veränderungen angestrebt oder in Kauf genommen werden, ist somit eine Frage, die im aktuellen Diskurs nicht ausgeklammert werden darf.

Biologisierung der Gesellschaft?

Was sich unter einer Biologisierung in Bezug auf die Gesellschaft verbergen kann, lässt sich anhand der Argumentation nachvollziehen, die Alfred Nordmann (Nordmann 2015) in seinem einführenden Buch zur Technikphilosophie auf die Prozesse »Technisierung«¹⁰, »Medikalisierung« und »Digitalisierung« anwendet. Wird diese Sichtweise auf biologische Transformationen übertragen, handelt es sich bei einer Biologisierung nicht nur um die Zunahme oder Ausbreitung von biologisch inspirierten Verfahren, sondern um einen historischen Prozess, der auch eine Veränderung der Gesellschaft einschließt. Wie eine solche Veränderung aussehen kann, wird am von Nordmann gewählten Beispiel der Medikalisierung deutlich. Er beschreibt, dass durch eine Medikalisierung medizinische Begriffe wie »Gesundheit« und »Krankheit« auf Gesellschaftsbereiche übertragen werden, die eigentlich nicht dem Bereich der Medizin angehören und leitet hieraus ab, dass menschliche Verhaltensweisen oder Auffälligkeiten vermehrt als behandlungsbedürftige Krankheiten bezeichnet werden. Auch Wirtschaftszweige oder Unternehmen (Voigtländer und Demary 2016) werden so entweder als »gesund« oder »krank« diagnostiziert. Unternehmen, die die Diagnose »krank« erhalten, gelten dann als »behandlungsbedürftig«. Das Verwenden der Bezeichnungen »gesund« und »krank« in nicht-medizinischen Bereichen ist mehr als eine Analogie, denn es weist auf eine veränderte Sichtweise hin, die zu entsprechenden Handlungen führen kann. Eine Biologisierung wirkt in ähnlicher Weise und hat die Übertragung biologischer Begriffe auf andere Bereiche zur Folge. Dass dieser Prozess bereits stattfindet, zeigt beispielsweise die zunehmende Verwendung der Begriffe »Evolution« und

¹⁰ Nordmann ((Nordmann 2015), S. 83) beschreibt den Vorgang einer zunehmenden Technisierung am Beispiel des Fotoapparates. Der Fotoapparat bewirkt, dass Menschen das Sehen als technischen Vorgang auffassen. Die Begegnung mit der Wirklichkeit, beispielsweise bei einem Waldspaziergang, kann so zu einem Vorgang werden, der vornehmlich Erfahrung in Bildern festhalten möchte. Diese Art, die Welt zu betrachten ist bei Fotografen ggf. sogar ohne Kamera noch wirksam, da man sich daran gewöhnt, die Welt als verwertbares Fotomotiv zu betrachten. Die Technisierung des Waldspaziergangs nimmt weiter zu, wenn Fotoapparat, Internet und GPS zusammenarbeiten und der Computer während des Waldspaziergangs die gelaufene Strecke kartiert, die Landschaftsfotos der Karte zuordnet und so eine Reisedokumentation erstellt. Auf diese Art entsteht ein rein technisches Abbild des Waldspaziergangs, das den Spaziergänger begleitet.

»Ökosysteme« im wirtschaftlichen Umfeld (Lambertz 2016; Beinhocker und Bertheau 2007; Melcher 2011; Hebenstreit 2016) und nicht zuletzt auch die hier geführte Diskussion um eine biologische Transformation selbst.

In Zusammenhang mit der Gesellschaft ist der Begriff »Biologisierung« jedoch sehr kritisch zu hinterfragen,^{11,12} da biologische Erklärungsmodelle außer Acht lassen, dass das Verhalten von Menschen und menschlichen Gesellschaften nicht nur biologisch beschrieben werden kann und noch durch andere Faktoren beeinflusst wird, als sie in der Biologie untersucht werden. So ist beispielsweise die für den Zusammenhalt von Gesellschaften wichtige Frage nach Gerechtigkeit kein Thema der Biologie. Wie kritisch eine einfache Übertragung von biologischen Erkenntnissen auf Menschen und Gesellschaft sein kann, wird deutlich, wenn berücksichtigt wird, dass sich auch politische Ideologien wie der Nationalsozialismus am Verhalten von Tieren orientiert haben, um ihr jeweiliges Gesellschaftsmodell zu begründen (»Sozialdarwinismus«) (Wikipedia 2017c; Richter 2005). Auch die Erschaffung »neuer« Menschen, wie sie heute noch in trans- und posthumanistischen Visionen (Exkurs 1) propagiert wird, war Gegenstand dieser Ideologie.

Es müssen jedoch nicht unbedingt Extrembeispiele wie das einer faschistischen Gesellschaftsstruktur herangezogen werden, um auf Fehlinterpretationen bei der Übertragung biologischer Erkenntnisse auf Gesellschaften hinzuweisen. Auch bei Ansätzen aus der Wirtschafts- und Managementbionik finden sich hierfür Beispiele. So lassen sich als »bionisch« bezeichnete Angebote für das Training und Coaching von Führungskräften finden, die sich auf Vorbilder aus der Tierwelt beziehen. Sylvia Lipkowski und Svenja Gloger berichten, dass z. B. das Sozialverhalten in Wolfsrudeln in Führungsseminaren als Vorbild verwendet wird (Lipkowski und Gloger 2007). Matthias Nölke (Nölke 2011) propagiert einen »biologistischen Ansatz«, der paradoxerweise das Ziel eines »menschengerechten Managements« haben soll.¹³

Wie die o. g. Argumente zeigen, sollte der Begriff »Biologisierung« nicht als Zielvorstellung für eine gesellschaftliche Veränderung eingesetzt werden. Aus diesem Grund wird anstelle des Begriffs »Bio-

¹¹ Dass der Begriff Biologisierung im gesellschaftlichen Zusammenhang eine kritische Historie hat, macht der Titel des Buches von Anett Schulze und Thorsten Schäfer deutlich: »Zur Re-Biologisierung der Gesellschaft - Menschenfeindliche Konstruktionen im Ökologischen und im Sozialen« (Schulze und Schäfer 2012).

¹² In der deutschsprachigen Wikipedia (Wikipedia 2017b) wird Biologisierung als »Sammelbegriff für die zunehmende Integration von Prinzipien der Natur in moderne Wirtschaftsbereiche, beziehungsweise die Entwicklung von Produkten oder Problemlösungen mithilfe der Lebenswissenschaften« bezeichnet. Aus der Historie des Wikipedia-Eintrags geht hervor, dass diese Deutung vergleichsweise neu ist und Biologisierung zuvor als zunehmender Biologismus interpretiert wurde. Im März 2017, also wenige Monate nach dem in Kapitel 1.1 genannten Innovationsdialog, fand eine Weiterleitung vorheriger Inhalte zu dem Begriff »Biologismus« statt. Der Begriff Biologisierung wird bei Wikipedia also erst seitdem im o. g. Kontext verwendet.

¹³ Nölke (Nölke 2011) wählt in seinem Beitrag das Beispiel einer Affenhorde, um das Konfliktverhalten herauszustellen. Lipkowski und Gloger (Lipkowski und Gloger 2007) berichten über Seminarangebote mit Wölfen als Beispiel. Hier drängt sich die Frage auf, an welchen Tieren die Orientierung erfolgen soll, wenn ein geeignetes Verhalten für Menschen ermittelt werden soll – Ameisen, Nacktschnecken, Kaninchen oder Wölfe? Für fast jedes Verhalten lässt sich in der Tierwelt ein Beispiel finden; und die Auswahl des Tierbeispiels enthält im Prinzip schon eine Wertung darüber, welche Verhaltenseigenschaften gewünscht sind. Selbst bei den Menschenaffen Orang-Utans, Schimpansen, Bonobos und Gorillas finden sich unterschiedliche Sozialstrukturen. Erkenntnisse aus der menschlichen Psychologie oder den Sozialwissenschaften sind hier sicherlich menschengerechter als Beispiele aus der Tierwelt.

logisierung« zunehmend der Begriff »Biologische Transformation« verwendet, wenn auf eine zunehmende Integration von Prinzipien der Natur in Technik, Industrie und Wirtschaft Bezug genommen werden soll. Allerdings sind diese Bereiche auch Teil der Gesellschaft, sodass biologische Transformationen immer auch einen gesellschaftlichen Bezug haben.

Biologische Transformation von Technik, Industrie und Wirtschaft

Die Vision einer weitgreifenden biologischen Transformation technischer und wirtschaftlicher Prozesse wurde von dem Ökonomen William Brian Arthur in seinem Buch »*The Nature of Technology*« beschrieben (Arthur 2009). Arthur vertritt darin die Ansicht, dass sich die vorhandene Technik immer mehr von einem stationären, klassischen Maschinenkonzept zu einem vernetzten System verändert, das zumindest in Teilen selbstkonfigurierend, -optimierend und -strukturierend ist (Zitat 3). Seiner Ansicht nach zeigen technische Aggregate zukünftig Eigenschaften, die bisher nur Lebewesen zugeschrieben wurden. Er erwartet eine Verschiebung weg von statischen Produktionssystemen zu neuen Systemen, die sich selbst konstruieren und bauen, selbst reparieren, kognitive Fähigkeiten haben und lernfähig sind. Gerry Byrne bezeichnet diese Systeme als »living systems« bzw. »biointelligent« (Byrne 2018), wobei davon ausgegangen werden muss, dass diese Aussage wohl metaphorisch gemeint ist. Robert Miehle und Alexander Sauer (Miehle und Sauer 2018) verstehen unter biointelligent »*lokal abgegrenzte technische Fabrikssysteme ...[die sich] zu selbstorganisierten, vernetzten und adaptiven Wertschöpfungssystemen wandeln*«.

Zitat 3 – William Brian Arthur (* 1945):



»The representative technology is no longer a machine with fixed architecture carrying out a fixed function. It is a system, a network of functionalities – a metabolism of things-executing-things – that can sense its environment and reconfigure its actions to execute appropriately. [...] Therefore, increasingly, networks are being designed to »learn« from experience which simple interactive rules of configuration operate best within different environments [...] Does this constitute some form of “intelligence”? To some degree it does. One simple definition of biological cognition – as say with E. coli bacteria sensing an increased concentration of glucose and moving toward that – is being able to sense an environment and react appropriately. Thus, as modern technology organizes itself increasingly into networks of parts that sense, configure, and execute appropriately, it displays some degree of cognition. [...]technology becomes more sophisticated, it is becoming more biological.« (Arthur 2009)

Die Autoren des EU-Berichts »*Making Perfect Life*« ((van Est et al. 2012), S. 15 ff.) orientieren sich zum Teil mit ihren Argumenten an Arthur und verwenden die von ihm geprägten Schlagwörter »*biology becoming technology*« und »*technology becoming biology*« als Synonyme für zwei Megatrends, die sie für das 21. Jahrhundert ausmachen. Der Trend »*biology becoming technology*« geht dabei auf eine Betrachtungsweise zurück, die Lebewesen als mechanistisch organisierte Objekte betrachtet, sodass Leben auch »konstruiert« werden kann. Der Trend »*technology becoming biology*« bezieht sich auf die Integration lebewesentypischer Eigenschaften in technische Systeme. Hierzu gehören beispielsweise die auch von Byrne genannten Eigenschaften Selbstorganisation, Kognition und Lernfähigkeit. Die Begriffe »Technisierung« und »Biologisierung« fließen hier ineinander.

Nach Sichtweise von Arthur, kann eine biologische Transformation viel weiter gefasst werden, als das bei einer reinen Nutzung biologischer Materialien oder der Anwendung von biotechnologischen Prozessen der Fall ist. Zu berücksichtigen sind dann eine ganze Reihe anderer Bereiche, die beispielsweise auch logistische Konzepte, Robotik, Künstliche Intelligenz (KI) und ökonomische Aspekte beinhalten können. Im folgenden Kapitel erfolgt deshalb der Versuch, diese sehr unterschiedlichen Themen zu erfassen und zu gliedern.

1.3 Exkurs 1: Konvergierende Technologien

Unter dem Begriff »Konvergenz« wird im Allgemeinen die Annäherung oder das Zusammenlaufen von verschiedenen Dingen verstanden, beispielsweise wenn unterschiedliche Techniklinien zu einer gemeinsamen Technik »konvergieren« (Coenen 2008; Kornwachs 2013a). Ausgehend von Diskussionen in den 1990er Jahren um eine »Medien- und Informationskonvergenz« sowie um Entwicklungen in der Nanotechnologie hat sich um die Jahrtausendwende herum eine kontroverse Debatte um konvergierende Technologien und Wissenschaften (»Converging Technologies«) entwickelt, die von einer als »NBIC-Konvergenz« bezeichneten Wechselwirkung zwischen Nano-, Bio- und Informationstechnologien sowie Kognitionswissenschaften ausgeht (Roco und Bainbridge 2003; Coenen 2008). Die NBIC-Konvergenz beinhaltet eine Kombination von Erkenntnissen, Methoden und Forschungsaktivitäten, die zwischen den einzelnen NBIC-Feldern bi-, tri- oder tetralateral erfolgen kann (Abbildung 2).

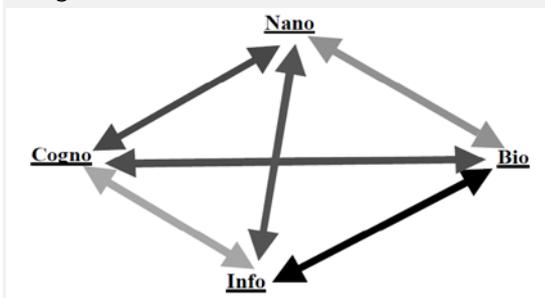


Abbildung 2: Darstellung der NBIC-Konvergenz, Tetraederdarstellung nach (Roco und Bainbridge 2003)

Christopher Coenen (Coenen 2008, 2014) unterscheidet in seiner zusammenfassenden Bewertung der NBIC-Konvergenz zwischen einer von den USA ausgehenden Debatte, die sich am Begriff des »Human Enhancements«, also einer Optimierung von Menschen, orientiert und einer eher forschungspolitischen Diskussion, die vor allem in Europa geführt wird (Nordmann 2004). Er ordnet den Beginn der US-amerikanischen Debatte im Wesentlichen der ersten NBIC-Konferenz im Jahr 2001 zu, die von Mihail Roco und Sims Bainbridge organisiert wurde. Roco und Bainbridge gehen von einer zunehmenden Vereinheitlichung unterschiedlicher Wissenschaften und Technologien aus (Roco und Bainbridge 2003). Sie verwenden dabei den Begriff einer »materiellen Einheit auf der Nanoebene« (Coenen 2008; Roco und Bainbridge 2003), der zu einem »hierarchischen Verständnis von Wirklichkeit« führt und zur Erklärung der gesamten Natur, dem menschlichen Gehirn sowie von sozialen und kulturellen Prozessen herangezogen werden kann. Komplexe soziale Zusammenhänge werden hierbei auf Gesetzmäßigkeiten auf der Nanoebene zurückgeführt. (Abbildung 3)

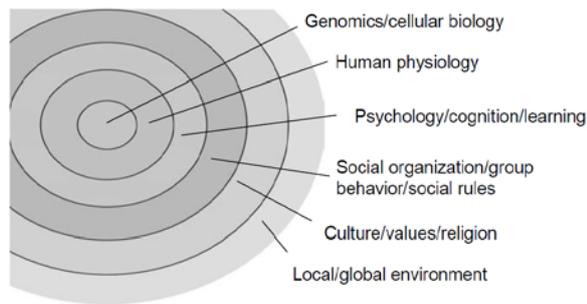


Abbildung 3: »Holistische« Darstellung sozialen Verhaltens (Yonas und Glicklen Turnley 2003)

Ein Grund für die Postulierung einer Konvergenz besteht darin, dass Information sowohl bei Lebewesen als auch in der Informationstechnologie auf vergleichbaren logischen Grundlagen beruht (Coenen 2008). Weiterhin wird angenommen, dass sich biologische und informationstechnische Erkenntnisse gegenseitig inspirieren. Konvergenzen werden u. a. durch den Einsatz biologischer Materialien in der Mikroelektronik sowie durch Gehirn-Maschine-Schnittstellen erwartet (Coenen 2008; Nordmann 2004). Weiterer Treiber soll eine zunehmende Miniaturisierung sein (Coenen 2008, 2014; Nordmann 2004). So kann die Nanotechnologie neue biologische Sensoren und Erkenntnisse für bioinformatische Anwendungen bereitstellen und umgekehrt lassen sich in der Biologie entdeckte Prozesse auf nanotechnologische Konstrukte übertragen oder biologische Strukturen in informationstechnische Anwendungen überführen (»Natural Computing«). Weiterhin können mithilfe der Informationstechnologien viele Aufgabenstellungen modelliert werden; bei den Kognitionswissenschaften wird vor allem der neurowissenschaftliche Teil in den Blick genommen.

Die im Rahmen der NBIC-Konvergenz vertretenen Konzepte sind z. T. Gegenstand von Diskussionen (Coenen 2008, 2009, 2014), die zumindest in den USA auch auf weltanschaulichen Gegensätzen beruhen. So rufen die sozial-technologischen Ziele der NBIC-Initiative vehemente Kritik hervor, die u. a. von den Sozialwissenschaftlern und religiös motivierten Menschen formuliert wird. Ein Kritikpunkt ist das als holistisch bezeichnete, im Kern jedoch auch reduktionistische Weltverständnis einiger NBIC-Vertreter. Zudem werden die visionären Vorstellungen der NBIC-Initiative, die sich an einer Optimierung von Menschen orientieren, kritisiert. Mit Bezug auf die Neurowissenschaften werden auch Ideen zu einer »sozialtechnologische Steuerung gesellschaftlicher und kultureller Prozesse« formuliert (Coenen 2014). Erwartet wird darüber hinaus ein zukünftiger, »paradiesischer« Zustand,¹⁴ den Coenen (Coenen 2009) als »technokratische Eschatologie«¹⁵ bezeichnet. Extrempositionen gehen auch von einer »Ergänzung, Ersetzung oder Abschaffung der Menschheit« durch posthumane Wesen aus (Coenen 2014).¹⁶

¹⁴ »Technological convergence could become the framework for human convergence [...] The twenty-first century could end in world peace, universal prosperity, and evolution to a higher level of compassion and accomplishment. It is hard to find the right metaphor to see a century into the future, but it may be that humanity would become like a single, distributed and interconnected "brain" based in new core pathways of society« (Roco und Bainbridge 2003).

¹⁵ Eschatologie bezeichnet in der Theologie u. a. »die Vorstellung von einer endgültigen innerweltlichen Heilszeit, [...] eine Wende der Zeit, die zur Vollendung der Schöpfung führt« (Coenen 2007.)

¹⁶ Vergleiche hierzu den Übersichtsartikel zum Thema »Transhumanismus« von Christopher Coenen (Coenen 2015).

1.4 Was ist eine »Biologische Transformation«? – Eine Strukturierung

Da unter dem Begriff »Biologische Transformation« oder »Biologisierung« ein weites Feld von auf den ersten Blick sehr unterschiedlichen Themen verstanden werden kann, wird im vorliegenden Kapitel ein Gliederungsvorschlag ausgearbeitet. Eine Gliederung kann grundsätzlich nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen und sich beispielsweise an originär biologischen Kategorien wie Biotechnologie oder technischen Kategorien wie KI-Forschung orientieren. Die Autorinnen und Autoren des vorliegenden Textes schlagen einen anderen Gliederungsansatz vor, der sich an der »Wesensart« der jeweiligen Transformation orientiert. Als Transformationskategorien wird dabei zwischen (1) »Materialadaptionen«, (2) »Formadaptionen«, (3) »Systemadaptionen« und (4) einer »Biologisch-technischen Konvergenz« unterschieden. Die Grenzen für die genannten Kategorien sind fließend und einzelne Transformationen können mehreren Kategorien zugeordnet werden. Beispielsweise ist die Entwicklung eines Fluggeräts, das sich in seiner Form am anatomischen Aufbau eines Vogels orientiert, der Kategorie »Formadaption« zuzuordnen. Werden anstelle von anorganischen Materialien Werkstoffe verwendet, die biologischen Ursprungs sind, kann die Transformation zusätzlich der Kategorie »Materialadaption« zugeordnet werden. Eine Beschreibung der postulierten Transformationskategorien erfolgt in den nächsten Abschnitten.

(1) Biologische Materialadaption

Unter einer biologischen Materialadaption ist die *Nutzung von nachwachsenden Materialien* zur Herstellung von Werkzeugen, Produkten oder zur Wandlung von Energie zu verstehen. Materialien pflanzlichen und tierischen Ursprungs sind kulturgeschichtlich von großer Bedeutung, da sie als Rohstoffe für die ersten Werkzeuge und lange Zeit als Brennmaterialien dienten. Im Zuge der Diskussion um eine Umstellung unseres heute weitgehend auf fossile Rohstoffe ausgerichteten Wirtschaftssystems kommt ihnen zukünftig wieder eine wichtige Rolle zu (Marzi und et.al. 2017). Neben der Energie- und Grundstoffversorgung können Materialien aus der belebten Natur zukünftig auch vermehrt eine Rolle bei der Herstellung von Produkten für verschiedene Spezialanwendungen spielen, beispielsweise im Maschinenbau, in der Automobilbranche, bei der Arzneimittelherstellung sowie bei Textilien und in der chemischen Industrie. Zur Herstellung chemischer Produkte wird u. a. das Konzept der Bioraffinerie diskutiert, durch das, wie die sprachliche Analogie zur Erdölraffinerie zum Ausdruck bringt, der Rohstoff Biomasse in seine chemischen Bestandteile zerlegt und verwertet wird (BMBF 2014) (siehe auch Bewertung in Kapitel 1.5).

(2) Biologische Formadaption

Bei biologischen Formadaptionen werden *Formen und Materialstrukturen* aus der belebten Natur imitiert und auf technische Artefakte angewendet (Ferdinand et al. 2012). Sie gelten als klassische Art bionischer Entwicklungsarbeiten. Als Beispiele für Formadaptionen sind Versuche Leonardo da Vincis zu nennen, der aus der Analyse des Vogel- und Fledermausflugs Ansätze für technische Fluggeräte ableitete, Stacheldraht, der Dornenhecken nachempfunden ist oder Klettverschlüsse, die den reversiblen Haftmechanismus der Klette imitieren. Der

Zusammenhang zwischen Form und Funktion wird als Funktionsmorphologie bezeichnet, da die Funktion an die Form und weniger an das formgebende Material gebunden ist. Die Orientierung an Formen, die der belebten Natur nachempfunden sind, kann vorteilhaft sein, wenn eine optimale Form nicht aus theoretischen Überlegungen abgeleitet werden kann und die Entwicklung empirisch erfolgen muss. Für dieses »Ausprobieren« stand während der biologischen Evolution bereits eine lange Zeitdauer zur Verfügung, sodass von bereits optimierten Lösungen ausgegangen werden kann (Ferdinand et al. 2012) (siehe Bewertung in Kapitel 1.5).

(3) Biologische Systemadaption

Unter einer biologischen Systemadaption wird an dieser Stelle die Imitation von Eigenschaften verstanden, die in der Regel Lebewesen oder Ökosystemen zugeschrieben werden. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang Eigenschaften wie »Adaptivität«¹⁷, »Resilienz«¹⁸, »Selbstorganisation«¹⁹ und »Schwarmintelligenz«²⁰ oder die Eigenschaften von »Ökosystemen«²¹. Hiermit ist die Erwartung verbunden, hohe Anpassungsfähigkeiten, Robustheit und Krisentoleranz auch für technische Systeme, Industrieunternehmen und Volkswirtschaften zu erreichen. Eine Reihe von Forschungsarbeiten gehen deshalb der Frage nach, welche Prinzipien der belebten Natur auf technische oder wirtschaftliche Anwendungen übertragen werden können. Einen Überblick gibt hier eine Literaturstudie von Jan-Peter Ferdinand (Ferdinand et al. 2012). Analogien zwischen Lebewesen bzw. Systemen aus Lebewesen auf der einen und Unternehmen, Volkswirtschaften und Märkten auf der anderen Seite werden deshalb gezogen, weil die Interaktionen von Unternehmen möglicherweise Parallelen zu Interaktionen von Lebewesen in Ökosystemen aufweisen. Beispielsweise hofft man so Systeme aufbauen zu können, die aus »einfachen« Systembestandteilen bestehen, die nur nach einfachen und begrenzten Regeln handeln können, aber als »schwarmintelligentes« Kollektiv in der Lage sind, auch schwierigere Probleme zu lösen.

Ein Prinzip, das aus Ökosystemen auf die Wirtschaft übertragen werden soll, ist das Prinzip einer »Kreislaufwirtschaft« bzw. einer »Circular Economy«, die sich an Kreisprozessen in der

¹⁷ Als Adaptivität wird die Fähigkeit von Lebewesen und Systemen, sich an ihre Umwelt anzupassen, bezeichnet. Hierzu gehört beispielsweise die Fähigkeit des Auges, sich auf wechselnde Lichtverhältnisse einzustellen oder eine Anpassung des Stoffwechsels an wechselnde Erfordernisse.

¹⁸ Das Wort Resilienz (lateinisch *resilire* »zurückspringen«, »abprallen«) beschreibt die Widerstandsfähigkeit eines Systems oder, wie Ferdinand (Ferdinand et al. 2012) schreibt, seine Fähigkeit, »Systemdienstleistungen« auch unter dem Einfluss externer Störfaktoren aufrecht zu erhalten. Hier gelten Lebewesen und Ökosysteme als besonders robust, obwohl die Aufrechterhaltung der Systemdienstleistungen in manchen Fällen eine völlige Umorganisation des Systems erfordert.

¹⁹ Hierunter ist das Entstehen von Ordnung in komplexen Systemen zu verstehen.

²⁰ Als »Schwarmintelligenz« wird ein Phänomen bezeichnet, das vorliegt, wenn Lebewesen als Gruppen vergleichsweise komplexe und »intelligente« Handlungen zeigen, zu denen die einzelnen Lebewesen nicht in der Lage sind. Einfache Kommunikations- und Verhaltensweisen sowie systembildende, selbstorganisierende Prozesse spielen dabei eine Rolle. Als Beispiele können Fisch- oder Vogelschwärme sowie Insektenkolonien genannt werden.

²¹ Der Lebensraum von Lebewesen, der diese zusammen mit nicht belebten Komponenten wie Luft, Wasser, Boden enthält, wird als Ökosystem bezeichnet.

Natur orientiert.²² In diesen Kontext gehört beispielsweise auch die »Industrielle Ökologie«, die industrielle Systeme und Ökosysteme sowie ihre Interaktionen untersucht. Die Industrielle Ökologie sieht es als ihre Aufgabe an, wirtschaftliche Stoff- und Energieströme in die natürlichen Stoffströme einzubetten und anzupassen. Sie steht in engem Zusammenhang mit Konzepten, die industrielle Wirtschaftssysteme ähnlich wie Ökosysteme konzipieren möchten (»Unternehmensökosysteme«). Hierbei spielen auch systemtheoretische Überlegungen eine Rolle. Ein wichtiger Aspekt im Vergleich zu traditionell kausal, linear gedachten Zusammenhängen ist dabei auch die Nichtdeterminiertheit offener Systeme^{23,24} (siehe auch Kapitel 5.2).

Auch die Anwendung sogenannter evolutionärer Algorithmen ist als Systemadaption aufzufassen.

(4) Biologisch-technische Konvergenz

In die Kategorie einer biologisch-technischen Konvergenz gehören Prozesse, die (i.) Lebewesen oder etwas Ähnliches wie Lebewesen künstlich erzeugen wollen und (ii.) Lebewesen oder lebende Systeme mit technischen Prozessen oder Produkten kombinieren.

i. »Künstliche Lebewesen«/Imitationen von Lebewesen:

Dieser Subkategorie können Entwicklungen aus der Forschung zur *Künstlichen Intelligenz (KI)*, der *Robotik* und der *Synthetischen Biologie* zugeordnet werden. Im Forschungsgebiet *Künstliche Intelligenz* wird versucht, menschenähnliches intelligentes Verhalten in Maschinen nachzubilden. Es ist eng mit der *Robotik*, also der Entwicklung von Robotern, verwandt (siehe hierzu Kapitel 5.3, 5.4 und 5.7).

Die *Synthetische Biologie* ist zurzeit noch eine reine Grundlagenwissenschaft, die sich erst in den letzten Jahren entwickelt hat. Zur Definition gibt Marc-Denis Weitze in einem Übersichtsartikel (Weitze 2011) eine Beschreibung des Fachgebiets von Thomas Knight wieder: »*Synthetische Biologie ist das rationale Design, Modellieren, Konstruieren, Korrigieren und Testen künstlicher lebendiger Systeme*«. In der Synthetischen Biologie sollen bekannte Organismen gezielt verändert oder neue, in der Natur nicht vorkommende Organismen aus Grundbausteinen aufgebaut werden. Biologische Systeme werden dabei auch mit chemisch synthetisierten Komponenten zu neuen Einheiten kombiniert. Biologie wird hier als Ingenieurwissenschaft betrieben, die Zellen als Gebilde auffasst, die wie Maschinen aufgebaut sind. Zellen bestehen in

²² Allerdings sind nicht alle Prozesse in der Natur Kreisprozesse.

²³ In diesen Kontext gehört auch die Kybernetik als Selbststeuerung und Regelung von Systemen. Die verschiedenen Systemelemente haben dabei in der Regel rückkoppelnde Eigenschaften. Je nachdem, ob es sich um biologische, technische, soziale oder wirtschaftliche Systeme handelt, werden die Begriffe Biokybernetik, Regelungs- und Steuerungstechnik sowie von Wirtschafts-, Management- oder Sozialkybernetik verwendet.

²⁴ In nichtlinearen Systemen, die offen sind und Energie, Materie oder beides mit ihrer Umgebung austauschen und sich fern vom thermodynamischen Gleichgewicht befinden, können sich selbstorganisierende, dynamische und geordnete Strukturen bilden. Die Entropie nimmt dabei lokal ab (vgl. hierzu (Prigogine et al. 1993)).

der Sichtweise der Synthetischen Biologie aus funktionellen Modulen, die verändert werden können.

ii. Kombination aus Lebewesen oder lebenden Systemen mit technischen Systemen

Die Subkategorie umfasst höchst unterschiedliche Themengebiete, zu denen Konzepte gehören, die Systeme aus Lebewesen und technischen Systemen konstituieren. Zu letzteren gehören auch Entwicklungen, die lebende Zellen mit technischen Anwendungen verbinden sowie Mensch-Maschine-Beziehungen.

Bei einer Kombination aus Lebewesen und technischen Prozessen übernehmen die in Technik eingebundenen Lebewesen zumeist die Rolle eines konventionell technischen Aggregats. Sie produzieren ähnlich wie konventionelle, rein technische Produktionsanlagen ein bestimmtes Produkt. Beispiele für solche Verknüpfungen sind biotechnologische Prozesse, in denen ein- und mehrzellige Lebewesen oder Subsysteme von Lebewesen eingesetzt werden, um chemische Stoffe oder Arzneimittel herzustellen.²⁵ Die technische Infrastruktur, in die die Lebewesen eingebettet sind, ist in diesem Fall ein Bioreaktor, der als technisches Gesamttaggregat mit anderen technischen Einheiten, beispielsweise einer Produktaufbereitung, kombiniert werden kann. Andere Anwendungen sind mikroskopisch kleine Roboter, die sich mit Hilfe von Muskelzellen bewegen (Kapitel 1.1 und 5.7) oder Ideen für neue Computertechniken, die auf Bakterien als Verarbeitungselemente setzen, um so einer wachsenden Aufgabenkomplexität durch ein exponentielles Wachstum der Schaltelemente zu begegnen (Troge- mann 2014). Eine schwächere Form einer biologisch-technischen Konvergenz liegt vor, wenn keine Lebewesen eingesetzt werden, sondern Funktionsträger aus Lebewesen, wie DNA-Segmente oder Enzyme. DNA-Segmente können u. a. dazu eingesetzt werden, um im Verbund mit anderen Materialien eine chemische Reaktion zu steuern (Boersma et al. 2010) .

Der Aspekt Mensch-Maschine-Beziehungen umfasst höchst unterschiedliche Konzepte. Hierzu gehören u. a. moderne Prothesen, Cochlea-Implantate zur Wiederherstellung des Hörvermögens sowie Methoden zur tiefen Hirnstimulation, die beispielsweise bei der Behandlung der Parkinsonkrankheit eingesetzt werden können (Schubert 2015) (Kapitel 5.6). Hierunter sind jedoch auch Systeme zu verstehen, in denen Menschen mit Maschinen interagieren, woraus sich neue Aspekte durch die Entwicklung lernender Roboter und eine zunehmend vernetzte Welt ergeben, die neue Verbindungen zwischen Menschen und technischen Geräten generieren (Kapitel 4.3, 5.4 und 5.9).

²⁵ Bei den Lebewesen handelt es sich meist um Bakterien oder andere Einzeller; es werden zunehmend aber auch mehrzellige Lebewesen eingesetzt wie Pflanzen, Pilze, tierische Zellen oder Eukaryoten.

1.5 Fragen zur Bewertung biologischer Transformationen

Nach Ansicht der Autorinnen und Autoren bietet es sich an, neben den in Kapitel 1.4 definierten Kategorien auch zwischen »starken« und »schwachen« biologischen Transformationen zu unterscheiden.²⁶ So sind Transformationen, die eine direkte Kombination von Lebewesen mit technischen Strukturen beinhalten, als starke Transformationen zu betrachten. Theoretisch läge auch eine starke Transformation vor, wenn es gelingen sollte, wirklich »denkende« Maschinen zu entwickeln oder wenn in der Synthetischen Biologie der Schritt zur »Herstellung« einer lebenden Zelle aus chemischen Komponenten nachvollzogen würde. Die Transformationen wären in diesen Fällen stark ausgeprägt, da das, was das eigentliche Wesen von Lebewesen ausmacht, in Technik übertragen würde. Dass so etwas möglich ist, ist jedoch anzuzweifeln und eine offene Frage.

Werden anorganische Materialien durch Biomassen ersetzt, kann allenfalls von einer schwachen Transformation gesprochen werden, da lediglich »Abfallprodukte« von Lebewesen in technische Prozesse integriert werden. Biomassen »leben« nicht, sie sind keine Lebewesen, sondern die Überreste von Lebewesen bzw. die Materialien, die einmal die stoffliche Grundlage eines Lebewesens gewesen sind. Holz ist z. B. der stoffliche Überrest des »Lebewesens Baum«.²⁷ Es ist deshalb die Frage, ob reine Materialadaptionen überhaupt als biologische Transformationen verstanden werden können. Da die Nutzung von Biomassen aber faktisch Bestandteil von Bioökonomiekonzepten ist, wird die Nutzung von Biomasse trotzdem als schwache Transformation berücksichtigt. Die hier vorgenommene Bewertung als schwach transformativ darf jedoch hier nicht missverstanden werden. Die Autorinnen und Autoren halten die Nutzung von Biomassen für stoffliche und energetische Anwendungen, sofern sie nachhaltig erfolgen, für sinnvoll, um fossile Stoffe zu ersetzen (Marzi und et.al. 2017). Ob jedoch eine biologische Transformation vorliegt, ist eine ganz andere Frage.

Formadaptionen müssen in der Regel auch als schwach transformativ bewertet werden. Wenn eine in der belebten Natur durch Anpassung entstandene spezielle Materialeigenschaft, beispielsweise der an der Lotospflanze beobachtete »Lotoseffekt«, bei dem Wasser von Oberflächen abperlt und Schmutzpartikel mitnimmt, auf technische Oberflächen wie Glasscheiben übertragen wird, wird nicht das Wesentliche, das Lebewesen ausmacht, auf Technik übertragen, sondern es wird eine Materialeigenschaft kopiert. Als Beispiel hierzu mag ein Auto dienen, das eine metallicfarbene Oberfläche hat. Wenn die Oberfläche eines Kühlschranks genauso gestaltet wird, wird aus dem Kühlschrank kein Auto, sondern er bleibt ein Kühlschrank, solange er nicht wie ein Auto zur Fortbewegung genutzt werden kann. Glasscheiben mit einer am Lotoseffekt orientierten Oberflächenmodifikation werden auch nicht zu Pflanzen, sondern bleiben Glasscheiben.

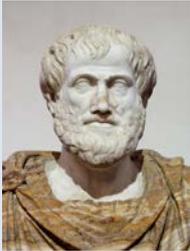
Bei Prozessen oder Verfahren, die einer Systemadaption zugeschlagen werden, muss mit Blick auf ihre biologische Transformationsleistung gefragt werden, ob es sich um eine wirkliche biologische Transformation handelt oder ob der Bezug zu Leben und Lebewesen lediglich als Metapher oder

²⁶ Analog zu den Begriffen einer »starken« und »schwachen« Emergenz als Auftauchen neuer Systemeigenschaften (vgl. hierzu Kapitel 3.2).

²⁷ So ist auch das, was nach dem Tod eines Vogels da ist, kein »toter Vogel«, da der Begriff »Vogel« etwas Lebendes bezeichnet. Das, was noch da ist und einmal zu einem Vogel gehörte, ist kein »Vogel« in diesem Sinne, sondern vielmehr der Kadaver eines Vogels.

Analogie verwendet wird und der Vorgang in Wirklichkeit immer noch rein technischer oder ökonomischer Natur ist. So sollte nicht bei jeder Schließung eines Kreislaufs oder beim Zusammenwirken von Unternehmen bereits von einem »Ökosystem« gesprochen werden. Hierauf wird in Kapitel 5.2 noch eingegangen; verschiedene Formen biologisch-technischer Konvergenzen werden in den Kapiteln 5.4 bis 5.8 näher betrachtet. Soll die Resilienz von technischen oder Systemen oder Wirtschaftsstrukturen verbessert werden, ist zu fragen, ob es sich bei Resilienz wirklich um ein biologisches Prinzip handelt oder ob Resilienz nicht vielmehr eine Eigenschaft ist, die als Resultat aus einem biologischen, evolutionären Prinzip hervorgeht.

Zitat 4 – Aristoteles (384 v. Chr. – 322 v. Chr.):



»Es gibt eine Wissenschaft, welche das Seiende als solches untersucht und das diesem Einwohnende an sich untersucht. Diese fällt mit keiner besonderen Wissenschaft zusammen, denn keine von diesen betrachtet das Seiende als solches im Allgemeinen, sondern jede schneidet sich einen Teil davon aus und betrachtet dessen Eigenschaften, wie es z. B. die mathematischen Wissenschaften tun. Da ich nun die Anfänge und obersten Ursachen aufsuche, so müssen sie offenbar von einer bestimmten Natur als solcher sein [...] Deshalb habe auch ich die ersten Ursachen des Seienden als solche aufzusuchen.«
(Kirchman 1871), S. 152 f)

Der Frage, was das Wesen von Lebewesen ausmacht und was sie von technischen Produkten unterscheidet, soll in den folgenden Kapiteln nachgegangen werden. Dabei wird es sich als hilfreich erweisen, Ansätze aus der Bio- und Technikphilosophie zu berücksichtigen. Wenn das eigentliche Wesen von Lebewesen und Technik betrachtet werden soll, können mit ontologischen Aspekten auch Überlegungen eine wichtige Rolle spielen, die in ihren Ursprüngen bis auf Aristoteles zurückgehen. Die Ontologie fragt nach den wesentlichen Eigenschaften von »Sein« und »Werden«. Sie untersucht die Objekte, die die reale Welt ergeben, nicht

wie die Realwissenschaften in ihren Detailprozessen, sondern auf grundsätzliche Art und Weise. Sie stellt die Frage nach dem »Sein« als solchem (Blume 2003). Die Rückkopplung an ontologische oder naturphilosophische Betrachtungen kann auch davor schützen, unreflektierte Vorstellungen über die Natur als Grundlage für biologische Transformationen heranzuziehen.

In Zusammenhang mit biologischen Transformationen ist vor allem eine Frage zu stellen: *Warum denken wir, dass eine biologisch transformierte Technik oder Wirtschaft besser ist als konventionelle Technik und aktuelles Wirtschaften?* So bestehen Erwartungen, dass eine biologische Transformation technischer, industrieller und wirtschaftlicher Strukturen zur Lösung der globalen Megaprobleme wie Rohstoffverknappungen und Klimawandel führen kann und dass die zugehörige Transformation *»im Rahmen der Bioökonomie möglich ist«* (BMBF 2014). Begründet wird dies damit, dass die Bioökonomie *»sowohl auf nachwachsende Rohstoffe als auch auf biobasierte Prozesslösungen [setzt], die auf die ganze Bandbreite nachwachsender Ressourcen bis hin zu Mikroorganismen, Zellen sowie einzelne biologische Bestandteile zurückgreifen«* (BMBF 2014). Ein solcher Zusammenhang ist jedoch keinesfalls zwangsläufig gegeben. Biotechnologische Prozesse wie die Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und die Nachahmung biologischer Prozesse sind nicht automatisch besser und umweltverträglicher als ein konventioneller technischer Prozess.

Auch ist in Zusammenhang mit Fragen zum Klimaschutz nicht entscheidend, ob beispielsweise der Aufbau eines Unternehmensnetzwerkes Ökosystemen nachempfunden ist. Entscheidend ist vielmehr, wie die Unternehmen mit der Natur in Wechselwirkung stehen und ob ihr Wirtschaften nachhaltig ist. Die Bundesregierung verknüpft in ihrer »Nationalen Politikstrategie Bioökonomie« (Bioökonomierat 2016; BMEL 2014) deshalb mit Recht den Erfolg der Bioökonomie mit dem Nachhaltigkeitsaspekt. Nur wenn Nachhaltigkeit gegeben ist, können biologische Transformationen einen positiven Beitrag zum Klimaschutz leisten.

Möglicherweise steht der Ruf nach einer biologischen Transformation auch in Zusammenhang mit einer ambivalenten Technikhaltung, auf die in Kapitel 4 noch eingegangen wird. Auf der einen Seite sind wir auf Technik angewiesen, um existenzielle Aufgaben wie eine sichere Nahrungs- und Energieversorgung zu lösen; auf der anderen Seite bestehen jedoch Befürchtungen, dass Technik mit Gefahren verbunden ist. Der in Kapitel 1.2 bereits genannte Ökonom William Brian Arthur (Arthur 2009) drückt diese Sichtweise so aus, in dem er von einem Vertrauen schreibt, das Menschen der Natur entgegenbringen, während eine unnatürlich wirkende Technik Angst hervorruft und die Menschen von der Natur trennt. Die Autorinnen und Autoren haben deshalb die Vermutung, dass die Hoffnungen, die sich an biologische Transformationen knüpfen, auch auf Assoziationen gründen, die mit dem Wort »biologisch« verknüpft sind und eine »sanftere« Form der Technik implizieren; gewissermaßen »Technik im Jugendstil«. So suggeriert die von Arthur in Zitat 3 formulierte Vision ein System, das stabil ist wie die Natur und durch eigene Regelmechanismen für ein rechtes Maß sorgt. Hierauf wird später noch zurückzukommen sein. Zunächst soll jedoch der Frage nach den Unterschieden von belebter Natur und Technik nachgegangen werden.



Abbildung 4: Bible moralisée, Buchmalerei, unbekannter Künstler (ca. 1250). Das Bild zeigt die zielgerichtete, planende »Konstruktion« der Welt durch Gott.

2.1 Zielgerichtetheit in Natur und Technik

Im vorliegenden Kapitel erfolgt eine erste Annäherung an die Wesensunterschiede, die zwischen Natur und Technik bestehen. Hierzu ist es hilfreich, zunächst einen rein technischen Vorgang zu betrachten, wie den in Abbildung 5 dargestellten Bau eines Hauses. Was wird benötigt und was muss geschehen, wenn ein solcher Hausbau umgesetzt werden soll? Aristoteles unterscheidet in diesem Zusammenhang zwischen sogenannten »inneren Formal- und Materialursachen« und »äußeren Zweck- und Wirkursachen« ((Anzenbacher 2010), S. 80 ff.). Die inneren Ursachen bestehen aus dem Bauplan (Formursache) und den Baustoffen (Materialursache), während es sich bei den äußeren Ursachen um die Arbeit der Bauarbeiter (Wirkursache) und die Absicht handelt, in dem fertigen Haus zu wohnen (Zweckursache). Hier scheint zunächst ein kausaler Widerspruch vorzuliegen, da ja das Ziel, das erst entstehende, noch nicht vorhandene Haus, auf das aktuelle Geschehen einwirkt. Dieser Widerspruch ist jedoch nur scheinbarer Natur, da nicht das reale zukünftige Haus die Ursache für das Handeln der Bauarbeiter ist, sondern die geistig vorhandene Absicht des Bauherrn. Dieser möchte in einem Haus wohnen und löst mit seiner in die Zukunft gerichteten, aber in der Gegenwart vorhandenen Absicht die Handlung der Bautätigkeit aus. Hierdurch nimmt er das Ende der Handlung, das fertige Haus, gedanklich vorweg, sodass Zukünftiges symbolisch repräsentiert wird (Toepfer 2006b). Unter Ursachen im aristotelischen Sinne sind also nicht nur kausale Ablauffolgen zu verstehen, in denen ein zeitlich früheres Ereignis das nächste »verursacht«, sondern auch Antworten darauf, »warum« ein Ereignis stattfindet oder ein Vorgang erfolgt. Einem technischen Vorgang sind somit ein zielgerichtetes Handeln, eine Absicht und eine Zwecksetzung durch den Menschen wesentlich. Man kann auch sagen: Technik hat einen Sinn.

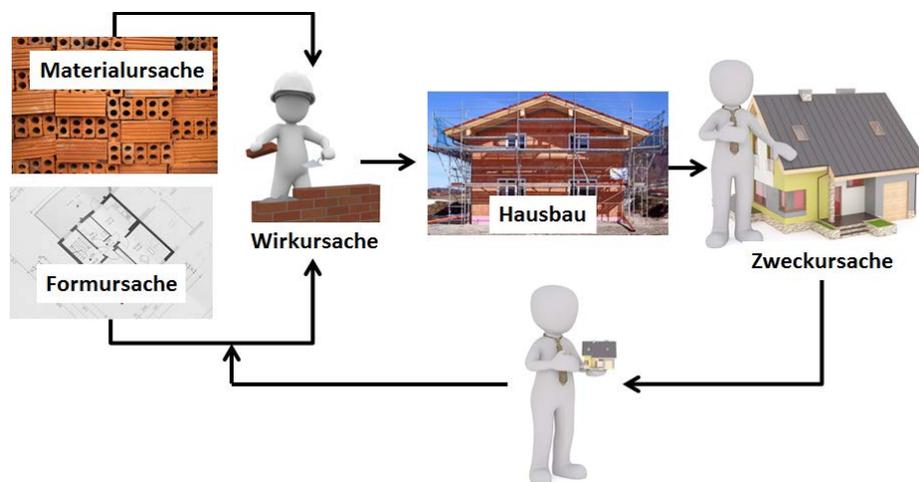


Abbildung 5: Der Zweck eines Hausbaus ist das fertige Haus.

Betrachtet man im Vergleich dazu Prozesse in der belebten Natur, beispielsweise das in Abbildung 6 dargestellte Heranwachsen eines Pferdes, kann vielleicht die Formursache mit dem »genetischen Bauplan« (DNA), die Materialursache mit Futter bzw. Nährstoffen und die Wirkursache mit Stoffwechselprozessen gleichgesetzt werden. All diese Aspekte geben Auskunft über die kausalen Zusammenhänge und darüber, »wie« das Heranwachsen eines Pferdes abläuft. Was ist aber bei dem Heranwachsen eines Pferdes die Zweckursache, die beim Hausbau in der Absicht des Bauherrn bestand, in

einem Haus zu wohnen? Gibt es eine solche Zweckursache, also einen zielgerichteten Sinn hier überhaupt?

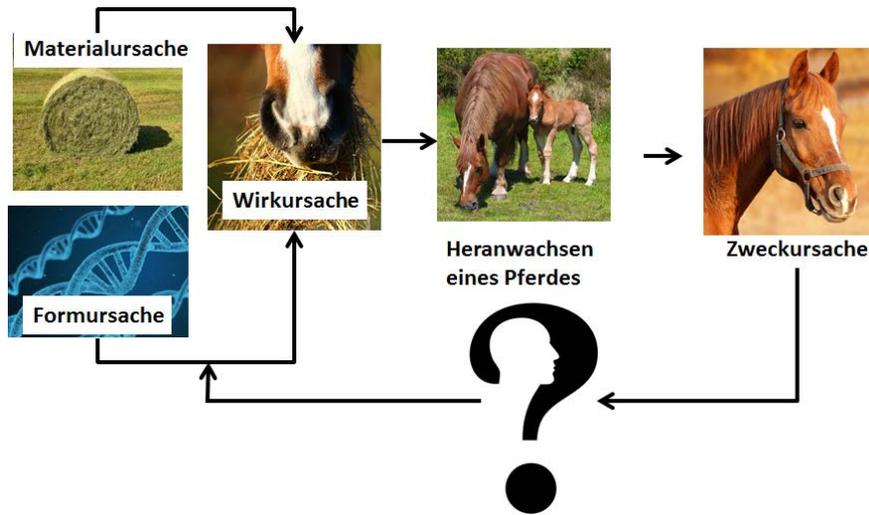


Abbildung 6: Hat das Heranwachsen eines Pferdes einen Zweck?

Zitat 5 – Thomas von Aquin (1225 – 1275):



»Ein jedes Ding wird insofern wahr genannt, als es auf den Geist hingeordnet ist, von dem es abhängt. Darum nennt man die künstlichen Dinge wahr, weil sie auf unseren Geist hingeordnet sind. Denn ein Haus nennt man wahr, weil es der Form entspricht, die im Geist des Baumeisters ist [...] In ähnlicher Weise nennt man auch die Naturdinge wahr, sofern sie den Ideen entsprechen, die im Geist Gottes sind.«
 ((Anzenbacher 2010), S. 64)

Auf die Frage, ob die Natur Sinn und Zweck hat, hätte es vor achthundert Jahren eine eindeutige Antwort gegeben. Zu Zeiten der Scholastik, einer im Mittelalter dominierenden philosophischen Richtung, die sich in ihrem Denken vor allem auf Aristoteles bezog, war man davon überzeugt, dass sowohl in der Technik als auch in der Natur Zweckursachen wirksam sind, die in der Natur durch den göttlichen Willen gegeben sind. Einer »ersten Schöpfung« aus Himmel, Erde und Lebewesen wurde eine »zweite Schöpfung« gegenübergestellt, die aus dem besteht, was durch den Menschen mit Hilfe von Technik oder Kunst geschaffen wird. Thomas

von Aquin, einer der bedeutendsten Protagonisten der Scholastik, spricht in diesem Zusammenhang von einem »Hinordnen« der Dinge auf den Geist (Zitat 5). Dieser Geist ist beim Hausbau der Geist des Bauherrn und in der ersten Schöpfung, der Natur, der Geist Gottes. Da der Geist Gottes über dem Menschen steht und vollkommen ist, während der Geist des Menschen unvollkommen bleiben muss, müssen in der Sichtweise der Scholastik die »Dinge« der Natur vollkommener und »wahr« sein als die Werke von Menschen.

Konzepte wie die des Thomas von Aquin, die einen Zweck oder ein Entwicklungsziel in der Natur voraussetzen, werden im naturwissenschaftlichen Weltbild von heute mit Ausnahme von Randpositionen nicht mehr berücksichtigt. Sie werden aufgrund ihrer Orientierung an einem Ziel auch als »teleologische« Konzepte bezeichnet (Exkurs 2). Heute anerkannte Erklärungsmodelle gehen von einem nicht zielgerichteten Evolutionsprozess aus, der durch Veränderung und Auslese angetrieben

wird. Eine Zweckursache gibt es hier nicht. Einer der aktuell bekanntesten Gegner teleologischer Konzepte ist der Biologe Richard Dawkins. In seinem Buch »Das egoistische Gen« (Dawkins 2005) betrachtet er die gesamte Entwicklung des Lebens als Genselektion. Körper fasst er in seinen Ausführungen als reine »Überlebensmaschinen« der Gene auf. Er drückt das so aus: »Wir sind Überlebensmaschinen – Roboter, blind programmiert zur Erhaltung der selbstüchtigen Moleküle, die Gene genannt werden« (Dawkins 2005).²⁸

Dass im Rahmen der Naturwissenschaft keine Zwecke identifiziert werden können, ist nicht weiter verwunderlich, da Naturwissenschaft ja gerade in dem Versuch besteht, unter Anwendung einer bestimmten Methodik Erklärungsmodelle zu finden, ohne auf das Wirken eines höheren Wesens zurückgreifen zu müssen. So fragt Biologie als Naturwissenschaft nach dem »Wie«, also beispielsweise den funktionellen Zusammenhängen in Lebewesen; während die Frage, »warum« ein Lebewesen existiert, bereits methodisch aus dem Forschungsbereich der Biologie ausgeschlossen ist. Auch wenn das Fehlen eines Zwecks in der Natur zunächst rein methodische Gründe hat, gehen naturwissenschaftliche Weltbilder davon aus, dass ein (außerhalb ihrer selbst liegender) Zweck in der Natur nicht vorliegt. Lebewesen werden in der Biologie als selbstorganisierte Systeme verstanden, bei denen Leben als neue Systemeigenschaft auftritt (siehe Kapitel 3.2). Die Autorinnen und Autoren möchten sich an dieser Stelle kein Urteil über die seit Jahrhunderten geführte Diskussion erlauben, ob eine Zweckhaftigkeit oder Zielgerichtetheit in der Natur vorliegt. Unabhängig jedoch davon, ob natürliche Abläufe als zielgerichtet aufgefasst werden oder nicht, muss bei der Übertragung biologischer Erkenntnisse in andere Bereiche davon ausgegangen werden, dass es in der Natur keine Zwecksetzung gibt, da die Biologie als Naturwissenschaft äußere Zwecke zur Erklärung des Phänomens »Leben« ausschließt. Würden äußere Zwecke im Rahmen biologischer Transformationen als wirksame Faktoren in der Natur herangezogen, würde dies nicht auf der Grundlage biologischer Erkenntnisse geschehen und es läge keine biologische Transformation vor, sondern etwas Anderes.

Was bedeutet es aber, wenn anstelle einer ersten göttlichen Schöpfung der menschlichen Schöpfung gedanklich eine Natur gegenübergestellt ist, in der es keinen wirkenden Geist und damit auch keine Zweckursache gibt? Warum sollte ein zweckfreies System, das sich aus Zufällen und Notwendigkeiten generiert, besser für unser Wohl sorgen, als eine Technik, deren Zweck Menschen auf ihre Bedürfnisse ausrichten können? Wurde Technik nicht auch entwickelt, um Menschen vor der Natur zu schützen? Eine Heizung gibt es, um nicht zu erfrieren, und Medikamente wurden entwickelt, um Krankheiten zu heilen. Technik gleicht also auf der einen Seite einen scheinbaren Mangel der Natur aus, auf der anderen Seite ist aber alles Künstliche von der Natur abhängig, da das Material für technische Geräte letztendlich der Natur entstammt und Menschen als Schöpfer von Maschinen und Werkzeugen selbst Teil der Natur sind.

Wie die Ausführungen in diesem Kapitel gezeigt haben, scheint ein wesentlicher Unterschied zwischen technischen und biologischen Vorgängen in der einerseits vorhandenen und andererseits nicht vorhandenen Zwecksetzung zu bestehen. Bevor diese Frage später wieder aufgenommen wird, gilt

²⁸ Wie das Zitat zeigt, kommt auch Dawkins nicht ohne teleologische Formulierungen aus, da er (zumindest sprachlich) eine Absicht im »Handeln« der Gene unterstellt.

es zunächst zu untersuchen, was Lebewesen und Interaktionen von Lebewesen ausmachen (Kapitel 3) und was das eigentliche Wesen technischer Prozesse ist (Kapitel 4).

2.2 Exkurs 2: Teleologie

Tabelle 1 gibt einen Überblick über verschiedene Ausprägungen des Teleologiebegriffs und ihrer verwissenschaftlichen Form der »Teleonomie«. Weitreichende teleologische Konzepte kommen heute zumeist nur als Randposition vor, wie beispielsweise im Kreationismus. Die biologische Sprache kommt jedoch nur schwer ohne teleologische Redewendungen aus. So entstand das Auge, um »zu sehen«, sodass »Organe [also] in ihrer funktionalen Einbettung in einen Organismus als zweckmäßig beurteilt [werden]« (Toepfer 2006b). Durch die Evolutionstheorie wird jedoch »die zweckmäßige Einrichtung der Organismen nicht als willentliche Gestaltung« interpretiert, sondern als Resultat aus dem Wechselspiel von Variation und Selektion angesehen. Georg Toepfer (Toepfer 2006b) weist allerdings darauf hin, dass dieses Wechselspiel als Erklärung problematisch ist, wenn auch die Entstehung von Leben aus unbelebter Materie in die Theorie einbezogen wird, da in einem spontan entstandenen Organismus die Organe zur Arbeitsweise des Ganzen beitragen und das Ganze eigentlich voraussetzen. »Die natürliche Selektion setzt an einem Gegenstand an, der ein organisiertes und sich selbst reproduzierendes System darstellt«. Toepfer bezieht sich dabei auf die Position von Immanuel Kant, nach der Lebewesen »eine besondere kausale Struktur« haben und sich selbst erzeugen.

Tabelle 1: Unterschiedliche teleologische Konzepte nach (Mahner und Bunge 2000) S. 347 ff

Art	Merkmale			
Ateleologie	kein Zweck vorhanden (Neodarwinismus)			
Teleologie	interne	Zweck ist innere oder nach innen gerichtete Eigenschaft	kosmisch/ Panteleologie	Alle existierenden Dinge haben einen Zweck (Animismus = Beseeltheit der Natur).
			regional/ Hemiteleologie	Einige existierende Dinge, z. B. Lebewesen, haben einen Zweck (Materialismus)
	externe	Zweck wird von außen zugeschrieben*	kosmisch/ Panteleologie	Alle existierenden Dinge haben einen Zweck und Evolution hat ein Ziel. (Teilhard de Chardin)
			regional/ Hemiteleologie	Einige existierende Dinge haben einen Zweck (technische Produkte, Artefakte).
Teleonomie	interne	Zweck ist innere oder nach innen gerichtete Eigenschaft	Panteleonomie	Sollzustand in kybernetischen Prozessen/ individuelle Entwicklung von Lebewesen Systemforschung
	externe	Zweck wird von außen zugeschrieben*	Hemiteleonomie	zweckgerichtetes Verhalten bei Menschen und einigen Tieren, intentionale Auffassung (Wünsche, Technik)

*Setzt etwas Externes voraus, das selbst intern teleologisch ist.



Abbildung 7: Vertumnus – Porträt von Kaiser Rudolf II., Giuseppe Arcimboldo (1526 – 1593)
Das Gemälde erinnert die Autorinnen und Autoren daran, dass alle Lebewesen einen gemeinsamen Ursprung haben, also auch Blumen, Gemüse und Menschen.

3.1 Was sind Lebewesen

Das Phänomen »Leben« zu definieren und von unbelebter Materie durch objektive Kriterien zu unterscheiden, ist ein schwieriges, wenn nicht gar unmögliches Unterfangen. So schreibt Thorsten Moos in einem Artikel zum Thema »Künstliches Leben« sicherlich zu Recht: *»Leben zu definieren möchte ich nicht versuchen. Was auch immer es sei: Hier soll nur vorausgesetzt werden, dass der Zugang, den wir als Menschen zum Lebendigen haben, dadurch ausgezeichnet ist, dass wir selbst Leben sind. Wenn wir etwas als lebendig wahrnehmen [...], erkennen wir das Lebendige, das uns ausmacht, in ihm wieder«* (Moos 2014a). Die Zurückhaltung von Thorsten Moos ist sicherlich berechtigt. Wie jedoch die bis heute geführten Debatten um Abtreibung oder die Organentnahme bei Verstorbenen zeigen, kommt man nicht umhin, die Grenze zwischen Belebtem und Unbelebtem zu beschreiben, wenn es darum geht, ethisch begründete Entscheidungen zu treffen (Ingensiep 2002). Auch wenn, wie hier, nach Unterschieden zwischen Lebewesen und technischen Artefakten gefragt wird, muss zumindest der Versuch unternommen werden, »Lebewesen« zu beschreiben.

Zunächst ist es wichtig, die Begriffe »Leben«, »Lebewesen« und »Organismus« gegeneinander abzugrenzen. So kann der Begriff »Leben« sowohl auf ein einzelnes »Lebewesen«, als auch auf die Gesamtheit der Lebewesen und deren »Abfolge und Wandel« (Toepfer 2006a) bezogen werden. Werner Ingensiep (Ingensiep 2002) formuliert zur Annäherung an den Lebensbegriff zunächst drei Fragen: *»Wann lebt ein Lebewesen?«, »Was ist ein Lebewesen?«* und *»Was ist Leben?«* Die erste Frage zielt dabei auf einen Zustand ab, also ob etwas noch lebendig oder bereits tot ist, während sich die zweite Frage auf Lebewesen als »spezifische Klasse von Naturkörpern« richtet, die von anderen nicht lebenden Körpern unterschieden sind. Mit der dritten Frage dagegen ist das gemeint, was das »Wesen eines spezifischen Prozesses« ausmacht, in das alle lebenden und bereits toten Lebewesen eingebunden sind. Georg Toepfer nennt Letzteres die belebte Natur mit ihren für sie typischen Eigenschaften wie dem evolutionären Wandel (Toepfer 2006a). Die Begriffe »Lebewesen« und »Organismus« werden beide als Synonyme für ein lebendes Individuum verwendet, sind aber in ihrer Bedeutung verschieden. Während der im Grunde vorwissenschaftliche Begriff Lebewesen ein Wesen bezeichnet, das als Ganzes die Eigenschaft hat, »lebendig« zu sein, bezieht sich der Begriff »Organismus« auf Gebilde, die auf eine bestimmte Art und Weise aufgebaut und »organisiert« sind (Scharck 2006a). Der Organismusbegriff interpretiert also bereits Organisation als das wesentliche Merkmal eines Lebewesens.

Historisch hat es verschiedene Antwortversuche auf die Frage gegeben, was Lebewesen eigentlich sind. Grundsätzlich lassen sich »vitalistische« und »mechanistische« Konzepte unterscheiden, wobei der Vitalismus spezielle immaterielle Entitäten,²⁹ wie Seelen oder Lebenskräfte annimmt, während

²⁹ »Im zeitgenössischen philosophischen Sprachgebrauch wird Entität als weitgehend synonym mit Gegenstand gehandhabt. Als Entität gilt dabei nicht allein, was zum Gegenstand sinnlicher Wahrnehmung werden kann, also Gegenstände wie Häuser, Tische, Schatten, sondern alles, was überhaupt in irgendeinem Sinne Gegenstand einer Untersuchung werden kann. Dabei ist es üblich, zwischen konkreten Entitäten, d. h. mit den Sinnen wahrnehmbaren, raum-zeitlich individuierten Gegenständen und abstrakten Entitäten wie z. B. Zahlen; Dingen also, die sich nicht in Raum und Zeit verorten lassen, zu unterscheiden« (Blume 2003).

der Mechanismus Lebewesen als rein physikalisch-chemische (Reduktionismus) oder maschinenartige Systeme (Maschinentheorie) auffasst. Ein dritter Ansatz interpretiert »Lebendigkeit« als eine neue, emergente Systemebene, die bei bestimmten komplexen Systemen auftritt (siehe Kapitel 3.2) (Mahner und Bunge 2000).

Die Lebendigkeit eines Lebewesens wurde historisch an verschiedene Erkennungsmerkmale geknüpft. Meistens werden Listen von objektiven Kriterien angegeben – wie Energieaustausch, Stoffwechsel, Wachstum, Fortpflanzung, Evolution, Wahrnehmung, Struktur und Information (Fritsche 2015). Wird Leben als selbstorganisierter Prozess interpretiert, kommt möglicherweise auch dem »Entstehen von Information« eine wichtige Rolle zu (Riedl 1975; Ingensiep 2002). So fasst beispielsweise Manfred Eigen ((Eigen 1987), S. 76, 151) Leben als einen informationsspeichernden Vorgang auf, bei dem die Information in den Genen der Lebewesen gespeichert wird. Michael Cuntz (Cuntz 2014) legt dies mit Bezug auf Gilbert Simondon (Simondon 2012) so aus, dass das fortgesetzte Gebrauchen von metastabilen Formen und Informationen weitere »verkörperte Information« hervorbringt. Insgesamt scheint die Beziehung zwischen Struktur und Funktion ein charakteristisches Merkmal für Lebensprozesse zu sein (Ingensiep 2002).

Zitat 6 – Manfred Eigen (*1927):



»Leben ist nicht eine der Materie schlechthin innewohnende Eigenschaft. Leben ist zwar an Materie geknüpft, erscheint aber nur unter sehr spezifischen Voraussetzungen und äußert sich dann in sehr vielfältigen und individuell charakteristischen Merkmalen. Es ist daher folgerichtig, die Frage nach der Natur des Lebens mit der Frage nach seiner Entstehung in Beziehung zu setzen.«
(Eigen 1987), S. 20)

Wichtige Voraussetzung für die Existenz von Lebewesen ist ihre »Halboffenheit« (Ingensiep 2002). Wäre ein Lebewesen ein vollständig geschlossenes System, wäre kein Stoffwechsel möglich und die chemische Zusammensetzung des Lebewesens würde der weniger komplexen Zusammensetzung entsprechen, die im chemischen Gleichgewicht vorliegt. Kurz gesagt, es wäre kein Lebewesen mehr. Ein vollständig offenes System würde dagegen dazu führen, dass schließlich keine Struktur mehr vorliegt, da sich die einzelnen Komponenten verteilen würden. Aus diesem Grund kommt der körperlichen Grenze, die mit einer Biomembran bei Lebewesen einen besonderen Charakter hat (Mahner und Bunge 2000), eine wichtige Bedeutung zu. Die Körpergrenze schränkt den Stoffaustausch mit der Umgebung ein und ermöglicht den selektiven Stoffaustausch mit der Umgebung. Die Ausbildung einer begrenzenden Membran wird auch als ein entscheidender Schritt bei der Entstehung der ersten Zellen betrachtet (van Kranendonk et al. 2017). Die Bedeutung der Halboffenheit stellt auch Werner Ingensiep heraus. Er schreibt mit Bezug auf Helmuth Plessner: *»Ein [...] Lebensgebilde steht [...] zwangsläufig in einem besonderen Selbstverhältnis zu seiner Grenze, indem es einerseits auf sich selbst gestellt ist, andererseits [aber] über sich hinausweist«* (Ingensiep 2002). Erst eine halb offene Körpergrenze lässt Existenzen zu, die als Individuen eine Geschichte haben und versuchen, sich selbst zu erhalten (Ingensiep 2002).

Die Angabe einzelner objektiver Kriterien als bestimmende Merkmale von Lebewesen ist problematisch. Lebewesen können durch einzelne Merkmale nicht hinreichend definiert werden, da sie einzeln, in ähnlicher Form, auch bei unbelebten Systemen auftreten (Toepfer 2006a). Aus diesem Grund werden häufig mehrere Kriterien herangezogen und als »lebendig« wird nur etwas bezeichnet, das alle diese Merkmale besitzt (Mahner und Bunge 2000). Der Nachteil dieser Vorgehensweise besteht nach Georg Toepfer (Toepfer 2006a) jedoch darin, dass Leben auf diese Art nicht mehr als einheitliches Phänomen erfasst wird. Nach dem Schweizer Philosophen Christoph Rehmann-Sutter ergibt sich aus einer Kriterienliste auch lediglich eine Definition, die den »Umfang des Bereichs des Lebendigen« bestimmt, »was« Leben aber ist, wird so nicht erfasst (Rehmann-Sutter 2013).

Seit dem 19. Jahrhundert sind vor allem der Stoffwechsel,³⁰ also der ständige Austausch von Körpersubstanzen zum Aufbau und Erhalt des Lebewesens sowie die Fortpflanzung als Fähigkeit zur Erzeugung eines anderen selbstständigen Lebewesens in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Der Begriff des Stoffwechsels ist eng mit der Selbsterhaltung von Lebewesen verknüpft, der scheinbar eine höhere Wertung zukommt als der Fortpflanzungsfähigkeit, da es Lebewesen gibt, die selbst nicht fortpflanzungsfähig sind. Eine fehlende Fortpflanzungsfähigkeit kann auf eine individuelle Unfruchtbarkeit zurückgehen oder darauf, dass es sich bei den betreffenden Lebewesen um Nachkommen von Elterntieren handelt, die unterschiedlichen Arten angehören, beispielsweise die meist unfruchtbaren Maultiere und Maulesel (Scharck 2006a). Es lässt sich also allenfalls noch die Abstammung von einem anderen Lebewesen als unabdingbare Voraussetzung für den Status als Lebewesen benennen, was jedoch argumentative Probleme mit sich bringt, wenn man diesen Aspekt auf ein angenommenes erstes Lebewesen überträgt, das sich aus chemischen Molekülen gebildet haben muss.³¹

Ausgehend von diesen Überlegungen beschreibt Georg Toepfer in seinem Artikel »Der Begriff des Lebens« (Toepfer 2006a) Leben als eine »*Seinsweise von (Natur-)Gegenständen, die sich durch Organisation, Regulation und Evolution auszeichnen*« (Toepfer 2006a). Unter Regulation versteht er die Ausrichtung der in einem Lebewesen ablaufenden Prozesse auf dessen Erhaltung. Hierzu lässt sich der Stoffwechsel des Lebewesens, sein Immunsystem, sein Verhalten sowie die koordinative und integrative Abstimmung der inneren Prozesse zählen. Evolution (siehe Kapitel 3.3) ermöglicht dagegen die Veränderung von Lebewesen. Voraussetzung hierfür ist die Fähigkeit zur Fortpflanzung, durch die neue Lebewesen entstehen, die den vorhergehenden ähnlich sind, sich aber auch von ihnen unterscheiden. Fortpflanzung trägt ebenso wie Regulation zum Erhalt von Lebewesen bei, ist aber nicht auf ein einzelnes Lebewesen ausgerichtet. Zumindest bei mehrzelligen Lebewesen beinhaltet Evolution auch den Tod von individuellen Lebewesen. Die Organisation und Regulation eines Lebewesens wird, wie Toepfer (Toepfer 2006a) schreibt, durch seinen Tod aufgehoben.

³⁰ Manche nicht belebten Systeme (z. B. eine Kerzenflamme) zeigen auch ein scheinbar stoffwechselähnliches Verhalten (Toepfer 2006a; Scharck 2006a).

³¹ Vgl. hierzu die Übersichtsartikel zur chemischen Evolution (van Kranendonk et al. 2017; Fischer 2016; Preiner 2016; Ricardo und Szostak 2016).

Zitat 7 – Adolf Portmann (1897 – 1982):



»Das entscheidend Neue ist die Anerkennung der Tatsache, dass Lebewesen in der Welt als Subjekte auftreten, dass sie als relativ autonome Zentren des Handelns in ihre Umgebung eingreifen und in ihr sich einrichten. [...] Es geht um ein stetiges Ernstnehmen der Innerlichkeit als der besonderen Seinsweise des Lebens. Wir wissen um dieses Besondere von uns selbst am meisten, und wenn wir auch den Kampf gegen die Einlegung menschlichen Fühlens und Erfahrens noch so energisch führen, so dürfen wir darüber nicht vergessen, dass alle Lebewesen in irgendeiner wenn auch noch so rätselvollen Weise eben auch solche Wesen mit Innerlichkeit sind«.

((Anzenbacher 2010), S. 103)

Das Phänomen Leben lässt sich nicht nur mit naturwissenschaftlichen Kriterien beschreiben. Christoph Rehmann-Sutter (Rehmann-Sutter 2013) bezeichnet deshalb ein Lebewesen als etwas, das durch sein *»eigenes Zentrum in der Welt präsent ist, eine eigene Welt hat, innerhalb eines Lebenszyklus altert [und] für das die Zeit »dauert««*. Die Philosophin Marianne Scharck vertritt einen neoaristotelischen Ansatz (Scharck 2006a), in dem sie Lebewesen und unbelebte Dinge als sogenannte *»Kontinuanten«* beschreibt. Dabei handelt es sich um materielle Dinge, die über begrenzte räumliche Ausdehnung, also einen Körper, verfügen und eine bestimmte Zeitdauer existieren. Auf diese Kontinuanten wendet Marianne Scharck den philosophischen Begriff des *»Sortals«* an. Ein Sortal liegt dann vor, wenn ein Gegenstand individualisierbar ist, d. h. wenn sich grammatikalisch der Plural bilden lässt, wenn der Gegenstand zählbar ist und wenn er nicht geteilt werden kann, ohne dass er zu etwas anderem wird, als er vorher war.³² Aufgrund dieser nicht vorhandenen Teilbarkeit kann ein Sortal auch als *»ontologisches Atom«* aufgefasst werden.

Dem Begriff des Sortals lassen sich sowohl Lebewesen als auch unbelebte Dinge zuordnen (*»dieser«* Baum oder *»dieses«* Auto), die über einen gewissen Zeitraum in ihrer Existenz beständig sind. Der Grund für die, als Persistenz bezeichnete, zeitliche Beständigkeit ist jedoch in vielen Fällen nicht einfach zu benennen. Wenn beispielsweise bei einem Auto ein Defekt vorliegt – ab wann spricht man noch von einem Auto und ab wann von einem Metall- und Kunststoffgemisch? Wie Marianne Scharck schreibt, ist bei Lebewesen das entscheidende Kriterium, *»zu leben«*. Was nach dem Tod eines Lebewesens da ist, ist kein Lebewesen mehr. Zu leben beinhaltet hier, *»tätig«* zu sein oder wie Georg Toepfer (Toepfer 2006a) schreibt: *»Jedes Lebewesen verfolgt seine jeweils eigenen Zwecke«*. Marianne Scharck (Scharck 2006a) beschreibt dabei *»Tätigsein«* mit Bezug auf John Locke als *»eine bestimmte Organisationsform von Teilen in einem zusammenhängenden Körper [...], die an einem gemeinsamen Leben teilhaben«* (siehe auch Zitat 7). Im Unterschied zu unbelebten Dingen, wie das oben genannte Auto, ist für Lebewesen die ständige Erneuerung der Stoffe, aus denen sie aufgebaut

³² 40 g Zucker lassen sich in 2 x 20 g Zucker teilen, ohne dass der Zucker zu etwas Anderem wird. Eine Kuh kann nicht zerteilt werden, ohne dass sie dadurch ihre Existenz als Kuh verliert. Eine Kuh ist ein Individuum – auf einer Weide stehen 3 Kühe und nicht 1500 kg Kuh. Ebenso sprechen wir von 3 Autos und nicht von 4 Tonnen Auto.

sind, wesentlich.^{33,34} Marianne Scharck rückt also über ihren ontologischen Ansatz, ebenso wie Georg Toepfer, den Stoffwechsel als entscheidendes Merkmal für Lebewesen in den Vordergrund.

Wie eingangs des Kapitels bereits erwähnt, sind die Versuche, Leben zu definieren, bis heute unvollständig. Fast immer lassen sich Ausnahmen finden: Bestimmte Eigenschaften kommen auch unbelebten Systemen zu oder es stellt sich die Frage nach dem Anfang des Lebens, bei dem die Evolution chemischer Moleküle und die Ausbildung funktioneller Einheiten letztendlich das Gesamtsystem (wie eine Zelle) voraussetzen scheint (Toepfer 2006b). Auch gegen die oben beschriebenen ontologischen Betrachtungen von Marianne Scharck, beispielsweise gegen den individualisierten Sortalbegriff, lassen sich Argumente anführen. So gibt es Plattwürmer, die zerteilt werden können und aus deren Einzelteilen sich wieder neue Plattwürmer bilden. Ebenfalls ist es schwierig, bei verschiedenen Pilzarten ein Individuum zu identifizieren (Hiekel 2008). Diese Einschränkungen zeigen alle, dass es (immer noch) nicht möglich ist, die Begriffe »Leben« und »Lebewesen« eindeutig zu definieren, sodass die eingangs zitierte Bemerkung von Thorsten Moss weiterhin ihre Berechtigung hat. Trotzdem lassen sich mit Fortpflanzung, Stoffwechsel, Informationsgenerierung und -speicherung, einer halb offenen Körpergrenze, Innerlichkeit und Selbstantrieb Merkmale von Lebewesen identifizieren, die beim Vergleich mit technischen Systemen hilfreich sein können. Diese definieren zwar nicht, was Leben ist, beschreiben aber seine Erscheinungsform.

3.2 Leben – eine emergente Eigenschaft?

Verbindet man Dinge auf bestimmte Art und Weise miteinander, entsteht manchmal etwas völlig »Neues«, was qualitativ andere Eigenschaften haben kann, als das, aus dem es entstanden ist. Ein Beispiel hierfür kann der Chemie entnommen werden: die Bildung von Wasser aus Wasserstoff und Sauerstoff.

In reiner Form kommen sowohl Wasserstoff als auch Sauerstoff unter den auf der Erde vorherrschenden Bedingungen von Druck und Temperatur als Gase vor, die jeweils aus zweiatomigen Molekülen bestehen. Bringt man Wasserstoff- und Sauerstoffmoleküle zusammen, verändert sich zunächst nur

³³ Auf den ersten Blick gibt es einen solchen Regenerationsprozess auch bei Autos, da bei Inspektionen und Reparaturen einzelne Komponenten des Autos gegen neue getauscht werden. Dieser Vorgang ist jedoch grundverschieden vom ständig erfolgenden Stoffwechsel, er gleicht eher einer Organtransplantation. Er wäre nur dann vergleichbar mit dem Stoffwechsel, wenn das Auto, das seine für die Funktion erforderliche Energie aus dem Treibstoff gewinnt, die Verarbeitung des Treibstoffs dazu nutzen würde, seine Struktur zu regenerieren.

³⁴ Marianne Scharck (Scharck 2006a) zieht hier den Vergleich mit einer Kerzenflamme, die auch ein stoffwechselähnliches Verhalten zeigt, da ständig Brennstoff und Sauerstoff herangeführt werden, deren chemische Reaktion die Flamme konstituieren. Die Flamme existiert so lange, wie der »Stoffwechsel« störungsfrei abläuft. Wird die chemische Reaktion unterbunden, erlischt die Flamme. Im Unterschied zu einem Lebewesen bzw. Organismus bezeichnet Marianne Scharck Flammen jedoch als phänomenale Gestalten, die über keinen Körper verfügt. Deshalb kommt der körperlichen Grenze, die mit einer Biomembran bei Lebewesen einen besonderen Charakter hat (Mahner und Bunge 2000), eine besondere Bedeutung zu. Fritsche ((Fritsche 2015), S. 21) schreibt hierzu: »Spezielle Hüllstrukturen separieren darum das lebendige Innere vom toten Äußeren und aufbauende von abbauenden Vorgängen. Auf diese Weise schafft sich das Leben eigene Bedingungen, unter denen seine typischen Prozesse optimal stattfinden können«.

wenig. Es liegt immer noch ein Gasgemisch vor, dessen Eigenschaften sich durch die physikalischen Eigenschaften der Einzelkomponenten sowie deren Mischungsverhältnis vollständig beschreiben lässt. Erst wenn ein geeignetes Mischungsverhältnis vorliegt und die chemische Bindung in einem Wasserstoffmolekül durch Zuführung von Energie oder die Aktivität eines Katalysators aufgebrochen wird, bilden sich energiereiche Wasserstoffatome (H), die, wenn sie mit Sauerstoffmolekülen in Verbindung kommen, ein Sauerstoffatom (O) und ein sogenanntes Hydroxylradikal (OH) erzeugen. Aus einer reaktiven Komponente, dem Wasserstoffatom, bilden sich so mit dem Sauerstoffatom und dem Hydroxylradikal zwei reaktive Komponenten, die ihrerseits durch ihre Reaktion mit molekularem Wasserstoff neue reaktive Komponenten erzeugen. Es kommt zu einer sogenannten Kettenreaktion, nach deren Ablauf die Strukturen der beteiligten Wasserstoff- und Sauerstoffmoleküle nicht mehr vorhanden sind, da die Wasserstoff- und Sauerstoffatome in Wassermolekülen (H_2O) gebunden sind. Bei geeigneten Druck- und Temperaturverhältnissen bildet sich schließlich eine Flüssigkeit aus, die durch Interaktion der Wassermoleküle und strukturbildende Prozesse einzigartig ist (Kümmel 1985). In theoretischen Modellen, die das Ziel haben, die Eigenschaften von Wasser zu erklären, wird zu meist von einem »komplizierten und hochorganisierten Pseudomakromolekül« ausgegangen, das sich durch Wechselwirkung der eigentlichen dreiatomigen Wassermoleküle bildet (Kümmel 1985).

Soweit die Sichtweise des Chemikers auf den Vorgang. Im Folgenden soll versucht werden, die naturwissenschaftliche Darstellung durch eine ontologische Betrachtungsweise zu ergänzen, die die Veränderbarkeit materieller Dinge in das Zentrum der Betrachtungen rückt. Nach Aristoteles können existierende Dinge und die ihnen innewohnenden Veränderungen durch den Gegensatz der Begriffe »Akt« und »Potenz« beschrieben werden ((Anzenbacher 2010), S. 66f.). Dieser Beschreibung liegt zugrunde, dass der Zustand von Dingen, der durch die Gesamtheit seiner Eigenschaften beschrieben wird, veränderbar ist. »Akt« (lateinisch *actus*) bezeichnet dabei den aktuell vorliegenden und bereits verwirklichten Zustand, während mit »Potenz« eine noch nicht verwirklichte Zustandsmöglichkeit gemeint ist. Beispielsweise kann ein Marmorblock, der aktuell als Marmorblock vorliegt, potenziell eine Skulptur, ein aktuell leeres Wasserglas kann potenziell ein mit Wasser gefülltes Wasserglas sein und ein Ball kann sich potenziell an einem anderen Ort befinden als aktuell. Bewegung wird in diesem Gedankengebäude als Übergang von Potenz zu Akt verstanden. Beispielsweise wird durch die Bewegung eines Balles zu einem anderen Ort eine potenzielle Aufenthaltsmöglichkeit des Balles zum aktuellen Sein des Balles.

Der Versuch, diese Dialektik von Akt und Potenz auf die oben beschriebene chemische Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser zu übertragen, ist in Abbildung 8 dargestellt. Die Darstellung folgt dabei den Ausführungen von Martin Mahner und Mario Bunge (Mahner und Bunge 2000), die von den Autorinnen und Autoren auf das hier besprochene Beispiel angewendet werden. Abbildung 8a) zeigt die Zustände von zwei in einem Wasserstoffmolekül gebundenen Wasserstoffatomen in Abhängigkeit von zwei Zustandswerten (F_1 und F_2), beispielsweise Geschwindigkeit und Ort. Der Zustandsraum (S_N)³⁵, bei dem es sich aufgrund der zweidimensionalen Darstellung um eine Fläche handelt, beinhaltet alle möglichen potenziellen Zustände des Wasserstoffmoleküls, die sich in diesem Fall

³⁵ Dabei handelt es sich um den sogenannten nomologischen oder gesetzmäßigen Zustandsraum. Dieser Zustandsraum beinhaltet nicht alle logisch möglichen Kombinationen denkbarer Zustände, sondern nur eine

durch Veränderung von Ort und Geschwindigkeit einstellen können. Der Anfangszustand, das Aktuelle, ist durch einen schwarzen Punkt gekennzeichnet. Die rote gestrichelte Linie beschreibt, vom Ausgangspunkt aus betrachtet, die potenziellen Zustände des Wasserstoffmoleküls, die im Zeitverlauf aktualisiert werden. Sie bildet, wenn man es so ausdrücken möchte, die Geschichte der im Wasserstoffmolekül gebundenen Wasserstoffatome ab, die in diesem Beispiel nur einer quantitativen und keiner qualitativen Veränderung unterworfen ist, da sich lediglich die »Werte« für Ort und Geschwindigkeit des Moleküls verändern. Eine qualitative Veränderung ist in Abbildung 8b) dargestellt. Auch hier finden zunächst quantitative Veränderungen der Zustandswerte F_1 und F_2 statt. Erst bei einem bestimmten Zustand, der durch die ausreichende Geschwindigkeit der Wasserstoffmoleküle und einen Ort gegeben ist, an dem Wasserstoff- und Sauerstoffatome in einem geeigneten Zahlenverhältnis vorliegen, kommt es sprunghaft (durch die chemische Reaktion) zu einer qualitativen Veränderung, die in Abbildung 8b) durch Hinzufügen einer weiteren Dimension (F_3) deutlich wird. Diese neue Dimension bildet die »neuen« Eigenschaften für die Wasserstoffatome als Bestandteile von flüssigem Wasser ab. Es entsteht eine neue Systemebene, in der jedoch auch die zuvor bereits vorhandenen Dimensionen (F_1 und F_2) gegenwärtig sind, da auch die in Wasser gebundenen Wasserstoffmoleküle über die Eigenschaften Ort und Geschwindigkeit verfügen. Eine ähnliche Darstellung kann auch für die an der Reaktion beteiligten Sauerstoffmoleküle vorgenommen werden.

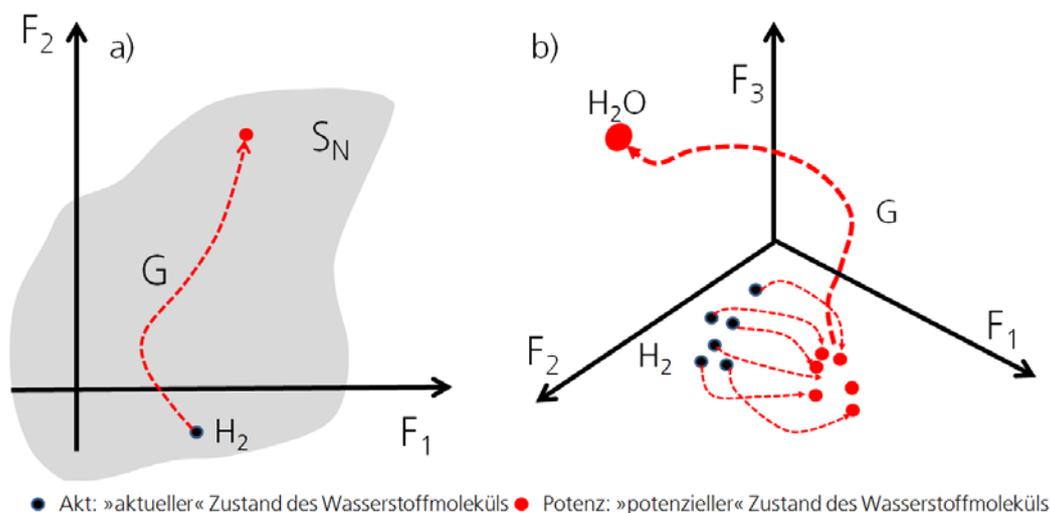


Abbildung 8: Akt/ Potenz-Dialektik für die chemische Umsetzung von Wasserstoff zu Wasser
 F_1 , F_2 , F_3 = Zustandswerte, S_N = Zustandsraum (Fläche), a) quantitative Veränderung,
 b) qualitative Veränderung

Das Auftauchen von qualitativ Neuem, bei dem das Neue etwas anderes ist als das Vorherige wird auch als »Emergenz«^{36,37} bezeichnet. Der Begriff wird verwendet, wenn »ein Ganzes eine Eigenschaft hat, die keines seiner Teile besitzt« (Mahner und Bunge 2000). Wasser besitzt Eigenschaften,

Teilmenge aller denkbaren Zustände, die in der realen Welt möglich ist. Im beschriebenen Fall sind beispielsweise nur Geschwindigkeiten unterhalb der Lichtgeschwindigkeit zulässig und es sind nur Ortspositionen möglich, die unter dieser Bedingung erreicht werden können ((Mahner und Bunge 2000) S. 16 f.).

³⁶ Nach Mahner (Mahner und Bunge 2000) wurde der Emergenzbegriff 1879 von G. H. Lewes eingeführt.

³⁷ Lateinisch emergere = Auftauchen, Herauskommen (Blume 2003)

die ein einzelnes Wassermolekül und die in den Molekülen enthaltenen Atome nicht haben. Emergenz liegt vor, weil mit der Entstehung von Wasser eine neue Systemeigenschaft, eine neue Dimension hinzukommt; die Emergenz ist jedoch schwach, da die Eigenschaften des Wassers zumindest zum Teil aus den Eigenschaften der Wasserstoff- und Sauerstoffmoleküle (-atome) abgeleitet werden können.³⁸ Starke Emergenz liegt vor, wenn die Eigenschaften eines Ganzen aus den Teilen nicht abgeleitet werden können und sich als grundsätzlich nicht vorhersehbar herausstellen. So wird »Lebendigkeit« als starke Emergenz interpretiert. Verfügt eines der Systembestandteile bereits über die Eigenschaft des Systems, so handelt es sich anstelle von Emergenz um »Resultanz« (Mahner und Bunge 2000). So kann die Eigenschaft, lebendig zu sein, bei einer Zelle als emergente Eigenschaft verstanden werden, weil die Bestandteile, aus denen die Zelle aufgebaut ist, selbst nicht lebendig sind, während die Lebendigkeit vielzelliger Organismen eine resultante Eigenschaft ist, da die Zellen, aus denen die Organismen aufgebaut sind, bereits lebendig sind (Mahner und Bunge 2000) .

Zitat 8 – Konrad Lorenz (1903 – 1989):



»Wenn z. B. zwei voneinander unabhängige Systeme zusammengeschaltet werden, [...] so entstehen damit schlagartig völlig neue Systemeigenschaften, die vorher nicht vorhanden gewesen waren. [...] Es ist durchaus nichts Übernatürliches, wenn eine lineare Ursachenkette sich zu einem Kreise schließt und wenn damit ein System in Existenz tritt, das sich in seinen Funktionseigenschaften keineswegs nur graduell, sondern grundsätzlich von denen aller vorherigen unterscheidet.«

((Anzenbacher 2010), S. 110f)

Unterschieden wird auch zwischen einer »synchronen« und einer »diachronen« Emergenz. »Synchron« bedeutet, dass die Eigenschaften des Systems sich aktuell durch die Systemteile konstituieren. Hierunter ist beispielsweise eine Zelle zu verstehen, deren Lebendigkeit als das Ergebnis eines systemischen Zusammenwirkens chemischer Moleküle verstanden wird. Der Begriff »diachrone« Emergenz bezeichnet dagegen das historische Auftauchen grundsätzlich neuer Phänomene, beispielsweise das Hervorgehen von lebendigen Zellen aus nicht belebten Molekülen durch »chemische Evolution« (Widenmeyer 2017). So ist die Evolution für die Philosophen Martin Mahner und Mario Bunge (Mahner und Bunge 2000), S. 301 f.) eine Form der Veränderung, die nicht nur quantitative, sondern auch qualitative, emergente Veränderungen beinhaltet, die zur Entstehung neuer Dinge führen. Emergenztheorien können als Mittelweg zwischen vitalistischen Positionen, die annehmen, dass in Lebewesen »Lebenskräfte« und »Vitalsubstanzen« wirken und biologisch-mechanistischen

³⁸ Auch wenn sich manche Eigenschaften aus den vorhandenen Kenntnissen über den Aufbau von Wasserstoff- und Sauerstoffatomen theoretisch ableiten lassen, sind viele Eigenschaften des Wassers immer noch nicht geklärt (Schnabel 2017). Trotzdem besteht Anlass zur Annahme, dass diese Erkenntnislücken nicht grundsätzlicher Natur sind und die Unterschiede zwischen den Gasen Wasserstoff und Sauerstoff auf der einen und Wasser auf der anderen Seite nicht kategorial sind. Unter Kategorien werden in der Ontologie die Grundmerkmale des Seienden verstanden.

Konzepten, die versuchen, alle Phänomene des Lebens restlos auf physikochemische Prozesse zurückzuführen, angesehen werden (Stephan 2006).³⁹

Zurückkommend auf die Diskussion zu einer biologischen Transformation drängen sich in Zusammenhang mit dem Thema Emergenz mehrere Fragen auf, die sich aus den Arbeiten unterschiedlicher Forschungsdisziplinen ergeben:

Die erste Frage ist die Frage nach künstlichem Leben. Hierzu gibt es eine Reihe von Forschungen, die u. a. das Ziel haben, biologische Systeme wie etwa einfache synthetische Zellen zu konstruieren, die biologische Funktionen nachahmen (DECHEMA 2011; MPG 2017; Biello 2010). Ist es möglich, den Schritt zur Entstehung des Lebens in dieser Forschungsrichtung nachzuvollziehen und wenn ja: Unterscheiden sich die Konstrukte von natürlichen Lebewesen? (vgl. hierzu Kapitel 5.3)

Ein weiteres Entwicklungsfeld ist das Gebiet der sogenannten starken Künstlichen Intelligenz (KI)-Forschung, die versucht, eine menschenähnliche Intelligenz nachzubilden oder nachzuahmen. Ist es möglich, dass hier technische Systeme entstehen, die eine kategorial neue und unvorhersehbare Systemeigenschaft zeigen, die dem Lebendigkeit von Lebewesen ähnelt oder sogar etwas Anderes darstellt, für das wir heute noch keine Bezeichnung haben? Möglicherweise bleiben aber auch die Entwicklungsergebnisse der KI-Forschung Maschinen, die sich nicht grundsätzlich von technischen Artefakten unterscheiden.

3.3 Evolution

Biologische Evolution

Wie in Kapitel 3.1 bereits beschrieben wurde, geht der Lebensbegriff in seiner Bedeutung über ein einzelnes Lebewesen und dessen Selbsterhaltung hinaus. So verbirgt sich hinter der in Kapitel 3.1 mit Bezug auf Werner Ingensiep (Ingensiep 2002) formulierten Frage »*Was ist Leben?*« auch die Frage nach dem »*Wesen eines spezifischen Prozesses*«, der alle lebenden und bereits toten Lebewesen einbezieht. Zu diesem »Lebensprozess« gehören die in Kapitel 3.4 beschriebenen wechselseitigen Beziehungen zwischen Lebewesen, deren Interaktionen mit der Umwelt sowie die Entstehungsgeschichte der Lebewesen mit dem zu Grunde liegenden Prozess, der als »Biologische Evolution« bezeichnet wird.

Der Begriff Evolution lässt sich aus dem lateinischen Wort »evolvere« ableiten, was sich als »herausrollen« oder »entwickeln« übersetzen lässt. In der Naturforschung wird er bereits seit etwa 300 Jahren verwendet, allerdings zunächst nicht in der heute üblichen Bedeutung einer generationenübergreifenden Entwicklung von Lebewesen (Toepfer 2011a). Seine Bedeutung bezog sich zunächst auf die individuelle Entwicklung von Lebewesen. Erst ab Beginn des 19. Jahrhunderts wurde der Begriff

³⁹Ob Emergenztheorien wirklich den Widerspruch zwischen Vitalismus und biologischem Mechanismus aufheben, kann hinterfragt werden. Letztendlich wird angenommen, dass Leben aus der vorhandenen Materie heraus entstanden ist. Leben ist in diesem Fall als potenzielle Möglichkeit (Potenz) bereits in der Vergangenheit aktuell anorganischer Materie vorhanden.

Evolution vermehrt auch auf die Entwicklungsgeschichte der Lebewesen bezogen, für die 1858 von Charles Darwin und Alfred Russel Wallace schließlich auch eine wissenschaftlich begründete Theorie entwickelt werden konnte (Toepfer 2011a),⁴⁰ die im Wesentlichen auf dem Selektionsprinzip aufbaut, das durch »*unterschiedliche Überlebens- und Fortpflanzungswahrscheinlichkeiten*« ((Kutschera 2015)), S. 99) zum Ausdruck kommt (Toepfer 2011a). Dieses Prinzip und nicht die Annahme einer Verwandtschaft der Arten ist die entscheidende Veränderung, die die Betrachtungsweise Darwins von anderen vor ihm unterscheidet. So wurde in Theorien, die vor Darwin entwickelt wurden, zwar auch eine auf Verwandtschaften beruhende Entwicklungsgeschichte der Lebewesen angenommen, diese wurden aber auf Umweltveränderungen oder einen in den Lebewesen liegenden »*Drang zur Perfektionierung*« zurückgeführt. Darwin dagegen identifizierte unterschiedliche Überlebens- und Fortpflanzungswahrscheinlichkeiten in Populationen als wirksame Entwicklungsmechanismen. In seinen Ausführungen benutzt er dabei auch die von dem Ökonomen Thomas Robert Malthus geprägte Metapher »*struggle for existence*«, die dieser im Rahmen seiner »Bevölkerungstheorie« entwickelte (Toepfer 2011a).

In seiner heutigen Bedeutung umfasst der Begriff der Biologischen Evolution die Veränderung von Lebewesen in einem generationenübergreifenden Prozess, die Verwandtschaft aller Lebewesen auf der Erde und die Mechanismen, die bei der Veränderung von Lebewesen wirksam sind (Toepfer 2011a). Vor allem diese Mechanismen waren in der Vergangenheit Gegenstand der Diskussion und sind es zum Teil noch heute. Eine Übersicht zu diesen Mechanismen findet sich beispielsweise bei Gerhard Vollmer ((Vollmer 1995), S. 68 ff. und 95 ff.) und Georg Toepfer (Toepfer 2011a). Als wesentlich für den Evolutionsprozess benennen sie:

1. *Diversität/Variation*: Alle Lebewesen unterscheiden sich in Merkmalen voneinander, die, wenn auch nur minimal, für ihre unterschiedliche Lebensdauer und Fortpflanzungsrate von Bedeutung sind ((Vollmer 1995) S. 95; (Toepfer 2011a)).
2. *Vererbung*: Merkmale sind teilweise vererbbar und werden an die nachfolgende Generation weitergegeben ((Vollmer 1995), S. 95).
3. *Natürliche Auslese*: Überlebende Individuen weisen erbliche Merkmale auf, die ihre Anpassung an eine lokale Umgebung erhöhen. Dabei liegt statistisch eine unterschiedliche Vermehrung aufgrund unterschiedlicher »*Tauglichkeiten*« vor ((Vollmer 1995), S. 95). Wenn begrenzte Ressourcen vorliegen, spielt auch die Konkurrenzsituation von Individuen eine wichtige Rolle. Strittig ist, ob die Umwelt das entscheidende Selektionskriterium darstellt oder ob nicht auch die »Konstruktion« von Lebewesen mögliche Veränderungen von Lebewesen in der Umwelt festlegt (Toepfer 2011a). Entwicklungen, die über Zwischenstadien verlaufen und mit deutlichen Fitnessnachteilen verbunden sind, setzen sich nicht durch ((Vollmer 1995), S. 98).

⁴⁰ Das Wort Evolution verwendet Darwin in der ersten Auflage seines Buches »Origin of species« noch nicht ((Toepfer 2011a), S. 481).

4. *Veränderlichkeit*: Aufgrund von erblich bedingten Unterschieden bei Fortpflanzungsraten von Lebewesen breiten sich in Gruppen potenziell kreuzbarer Lebewesen, den sogenannten »Populationen« oder »Arten« ((Kutschera 2015), S. 72), die »Typen« aus, die eine höhere Überlebens- und Fortpflanzungsrate haben (Toepfer 2011a). Hierbei kommt es zu genetischen Unterschieden, die neue Populationen entstehen lassen, die nicht mehr kreuzbar sind.
5. *Gradualismus*: Die Variation von Lebewesen erfolgt im Vergleich zur vorhandenen genetischen Information in kleinen Schritten. Die stammesgeschichtliche Entwicklung verläuft deshalb graduell und relativ langsam. Die Evolutionsgeschwindigkeit kann unterschiedlich sein ((Vollmer 1995), S. 97).
6. *Genetische Informationsspeicherung*: Die Erbinformation wird in diskreten Einheiten gespeichert, übertragen und geändert. Die Evolution hängt dabei von der genetischen Variabilität ab ((Kutschera 2015), S. 82), die wiederum von spontan auftretenden vererbba- ren Mutationen, Gentransfers bei Bakterien und einer mit der sexuellen Fortpflanzung einhergehenden Rekombination der Erbanlagen abhängt.
7. *Zielfreiheit*: Die auftretenden Variationen erfolgen zufällig. Unter Zufall ist dabei jedoch nicht eine »physikalische Ursachelosigkeit oder Indeterminiertheit« zu verstehen, sondern, dass das Auftreten von Mutationen nicht von ihrem jeweiligen Nutzen abhängt (Toepfer 2011a). Die Evolution ist also nicht auf bestimmte Merkmale oder Anpassungen ausgerichtet und deshalb bis auf Ausnahmen nicht vorhersagbar ((Vollmer 1995), S. 98).
8. *Irreversibilität*: Evolution ist irreversibel und unwiederholbar. Evolutionäre Veränderungen können nur an Lebewesen erfolgen, die aktuell existieren. »Evolutionäre Lösungen«, die in früher einmal existierenden Lebewesen verwirklicht wurden, stehen als Grundlage nicht zur Verfügung ((Vollmer 1995), S. 98).
9. *Zunehmende Komplexität*: Im Allgemeinen hat die Komplexität biologischer Systeme im Laufe der Evolution zugenommen. Diese Komplexität kann jedoch nicht mit dem Begriff Fortschritt gleichgesetzt werden (Vollmer 1995; Toepfer 2011a).

In seinem Übersichtsartikel zur Evolution stellt Georg Toepfer mit den Begriffen »Variation«, »Tradition« (Vererbung) und »Selektion« drei Prinzipien als in jedem Fall notwendig für die biologische Evolution heraus. Entgegen den Vorstellungen Darwins spielt Konkurrenz zwar eine wichtige Rolle, ist jedoch keine notwendige Bedingung für Evolution, da Reproduktionsraten auch dann unterschiedlich sein können, wenn Ressourcen nicht limitiert sind (Toepfer 2011a).

Übertragung des Evolutionsbegriffes auf andere Bereiche

Der Evolutionsbegriff lässt sich grundsätzlich auch auf andere Bereiche übertragen, da jedes reale Objekt eine Geschichte hat und jedes reale System sich entwickelt ((Vollmer 1995), S. 61). So lassen

sich viele Aspekte realer Systeme nur als Ergebnis einer historischen Entwicklung verstehen. Der Evolutionsgedanke bietet deshalb die Möglichkeit, ein eher statisches, an stabilen Gleichgewichtszuständen orientiertes Denken durch eine andere Sichtweise zu ergänzen, die dynamische, im Ergebnis offene Veränderungen als wesentliche Aspekte der Wirklichkeit begreift. Der Frage, ob es neben der biologischen Evolutionstheorie auch eine allgemeine Evolutionstheorie gibt, geht Gerhard Vollmer in seinen Beiträgen zur Biophilosophie ((Vollmer 1995), S. 59 ff.) und seinem aktuellen Buch, das den Titel »Im Lichte der Evolution« (Vollmer 2017) trägt, nach. Vollmer bestreitet das Vorliegen einer befriedigenden, allgemein gültigen Evolutionstheorie. Er benennt aber notwendige Kriterien für einen evolutiven Prozess und arbeitet die spezifischen Merkmale der biologischen Evolution heraus (Tabelle 2).

Tabelle 2: Welche Merkmale sind für evolutive Prozesse wesentlich?
 Auszug aus der tabellarischen Darstellung von Gerhard Vollmer ((Vollmer 2017), S. 29 f.)

Evolutives Merkmal	Erläuterung
Notwendig immer	
nicht statisch	Es geschieht etwas.
nicht stationär	Es geschieht nicht immer dasselbe.
nicht umkehrbar	Irreversibilität
keine reine Zufallsfolge	Es ist ein Mindestmaß an kausaler Kohärenz erforderlich.
Kontingent immer oder fast immer	
Strukturbildung	Komplexität nimmt im Durchschnitt zu
Zufall und Notwendigkeit	stochastische und deterministische Elemente
Meistens	
Stabilitätsprobleme	Komplexe Systeme können auch wieder zerfallen.
Variation und Selektion	Varianten entstehen zufällig; Fortbestand erfolgt nach Kriterien
Optimierung	nur wenn eine Bewertung vorliegt
Nur bei der biologischen Evolution	
Selbstreplikation	Vererbung
Erbänderungen	Mutationen
Selektion	differentielle Reproduktion
Anpassung	

Vollmer legt Wert darauf, zwischen dem allgemeinen Begriff Evolution und der biologischen Evolution zu unterscheiden. So erklärt die biologische Evolutionstheorie die Entstehung von Lebewesen aus Lebewesen. Der Begriff einer biologischen Evolution ist deshalb sinnvoll nur auf selbstreplizierende Systeme anwendbar ((Vollmer 1995), S. 77). Hierzu schreibt Vollmer, »dass die zentrale und in gewisser Weise universelle Rolle des Selektionsprinzips nicht bedeutet, dass nicht auch andere Arten evolutionärer Begriffe, Prinzipien oder Theorien relevant und angemessen sein könnten. Es ist deshalb unbedingt erforderlich, in jedem Falle ganz klar zu machen, über welche Art von Evolution man gerade spricht. [...] Es wäre jedenfalls ein schwerer Irrtum, wenn wir alle Arten von Evolution als demselben Gesetz oder demselben System von Gesetzen unterworfen deuten wollten. Obwohl Evolution wahrhaft universell und der Evolutionsbegriff auf alle realen Systeme anwendbar ist, gilt dies doch nicht für alle Begriffe und Gesetze der Evolution. Viele Prinzipien der Evolutionstheorie bleiben auf spezielle Bereiche beschränkt« ((Vollmer 1995), S. 85).

3.4 Ökosysteme

Die generationenübergreifende Veränderung von Lebewesen lässt sich nicht vollständig verstehen, wenn Lebewesen als isolierte Einheiten betrachtet werden, die keinerlei Beziehungen zu anderen Lebewesen haben. In der Regel stehen Lebewesen in vielfältigen Beziehungen zu anderen Lebewesen. Klassische Beispiele hierfür sind wechselseitige Beziehungen zwischen Raubtier- und Beutetierpopulationen oder biologische Symbiosen, bei denen Lebewesen verschiedener Arten eng zusammenleben. Die Gesamtheit der interagierenden Lebewesen in einem abgegrenzten Bereich wird im deutschsprachigen Bereich als »Biozönose« und im englischsprachigen Raum als »community« bezeichnet ((Toepfer 2011a), S. 320).

Die wechselseitigen Beziehungen zwischen Lebewesen verschiedener Arten bilden den Untersuchungsgegenstand der Ökologie ((Toepfer 2011b), S. 684), deren erste Definition auf den Zoologen Ernst Haeckel im Jahr 1866 zurückgeht. Haeckel definiert Ökologie als »*die gesamte Wissenschaft von den Beziehungen des Organismus zur umgebenden Außenwelt*« ((Begon et al. 2017), S. 4). Diese Definition beschreibt nach wie vor sehr gut, worum es in der Ökologie geht; neuere Definitionen, wie sie beispielsweise von Michael Begon et. al. gegeben werden, präzisieren das Forschungsgebiet jedoch noch weiter. Ökologie ist hier »*die wissenschaftliche Erforschung der Verbreitung und Abundanz [Populationsdichte] von Organismen, der Wechselbeziehungen, welche diese Verbreitung und Abundanz bestimmen, sowie die Erforschung der Beziehungen zwischen Organismen und der Umwandlung und der Fluss von Energie und Stoffen. Die Ökologie befasst sich mit vier Ebenen der ökologischen Organisation: mit einzelnen Organismen, Populationen, Lebensgemeinschaften und Ökosystemen*« ((Begon et al. 2017), S. 4).

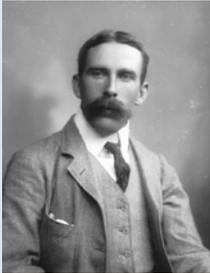
Sowohl bei den Definitionen von Haeckel als auch von Begon fällt auf, dass nicht nur die wechselseitigen Beziehungen zwischen Lebewesen, sondern auch unbelebte Stoffe und Energie in ökologische Fragestellungen einbezogen werden. Dieser Denkansatz findet sich größtenteils bereits 1749 bei Carl von Linné, der feststellt, dass Lebewesen in wechselseitigen Nutzen zueinander stehen, der auch das Verhältnis lebender Pflanzen zu unbelebten Bestandteilen des Bodens einschließt ((Toepfer 2011b), S. 688).

Der Begriff »Ökosystem« ist vermutlich auf den Botaniker Arthur Roy Clapham in den 1930er Jahren zurückzuführen und wurde durch Arthur Tansley bekannt gemacht, mit dem Clapham in Oxford zusammenarbeitete ((Toepfer 2011b), S. 718). Tansley betont, dass erst das Zusammenwirken von Lebewesen und Stoffen ein Ökosystem konstituiert (Zitat 9). Manche Wissenschaftler fassen deshalb auch eine Biozönose als Kompartiment innerhalb eines Ökosystems oder als Teilsystem eines Ökosystems auf ((Toepfer 2011a), S. 423).

Definitionen des Begriffs »Ökosystem« hat es seit der Beschreibung von Tansley noch viele gegeben. Einen Überblick hierzu gibt Georg Toepfer ((Toepfer 2011b), S. 724), dessen zusammenfassende Definition hier wiedergegeben werden soll. Toepfer definiert ein Ökosystem, als »*ein Funktionsgefüge aus den Populationen von Organismen verschiedener Arten sowie den von ihnen genutzten Bedingungen und Gegenständen ihrer Umwelt [...]*« ((Toepfer 2011b), S. 715). Ein Ökosystem ist also mit

anderen Worten das gesamte Biozönose-Umwelt-System ((Mahner und Bunge 2000), S. 167). Da Menschen in hohem Maße in die Natur eingreifen, kommt es zunehmend auch zu einer engen Verflechtung von natürlichen Ökosystemen und menschlichen Wirtschaftsformen ((Toepfer 2011b), S. 725). Inzwischen hat sich der Ökosystembegriff als zentrales Konzept der Ökologie etabliert ((Toepfer 2011b), S. 723). Ökosysteme sind offene Systeme, die zur Aufrechterhaltung ihrer Aktivität und ihrer Struktur eine kontinuierliche Zufuhr an Energie und teilweise auch an Nährstoffen benötigen ((Begon et al. 2017), S. 393). In ihnen ergänzen sich Lebewesen als Produzenten, Konsumenten und Destruenten, die u. a. durch eine Nahrungskette miteinander verbunden sind.

Zitat 9 – Arthur George Tansley (1871 – 1955)



»Though the organisms may claim our primary interest, when we are trying to think fundamentally we cannot separate them from their special environment, with which they form one physical system. Our natural human prejudices force us to consider the organisms (in the sense of the biologist) as the most important parts of these systems, but certainly the inorganic factors are also parts – there could be no systems without them, and there is constant interchange of the most various kinds within each system, not only between the organisms but between the organic and the inorganic.

These ecosystems, as we may call them, are of the most various kinds and sizes«. ((Toepfer 2011b), S. 716)

Die »Biosphäre« ist der regelmäßig von Organismen besiedelte Bereich der Erde und ihrer Atmosphäre, die man auch als umfassendes Erd-Ökosystem oder als Teil eines einzigen »Ökosystems Erde« begreifen kann ((Toepfer 2011a), S. 296) Wie viel Energie von der Biosphäre aufgenommen werden kann, hängt davon ab, wie hoch die Produktivität der Pflanzen, Algen und anderer Primärproduzenten ist ((Begon et al. 2017), S. 394). Durch sie wird mittels Photosynthese Lichtenergie in chemisch gebundene Energie umgewandelt und der Aufbau organischer Biomasse ermöglicht ((Begon et al. 2017), S. 397). Die pflanzliche Biomasse der Primärproduzenten dient »heterotrophen« Lebewesen, die nicht wie die Pflanzen energiereiche organische Stoffe selbst herstellen können, als Nahrung. Zu ihnen zählen Tiere, Pilze und Bakterien ((Begon et al. 2017), S. 393). In einem Ökosystem liegt eine Nahrungskette vor, bei der pflanzliche Biomasse zunächst von Pflanzenfressern, den »Herbivoren«, konsumiert wird, die ihrerseits die Nahrungsgrundlage für fleischfressende »Karnivoren« bilden. Totes organisches Material, das nach dem Tod von Lebewesen vorliegt, wird schließlich von sogenannten »Destruenten« bzw. »Reduzenten« zu anderen Stoffen abgebaut, die wiederum von Primärproduzenten aufgenommen und in Biomasse eingebaut werden können ((Begon et al. 2017), S. 393). Nach der von Toepfer vorgenommenen Definition eines Ökosystems ((Toepfer 2011b), S. 715) umfasst ein Ökosystem mindestens eine Population von primären Produzenten und Reduzenten sowie meistens auch Konsumenten-Populationen (Abbildung 9).

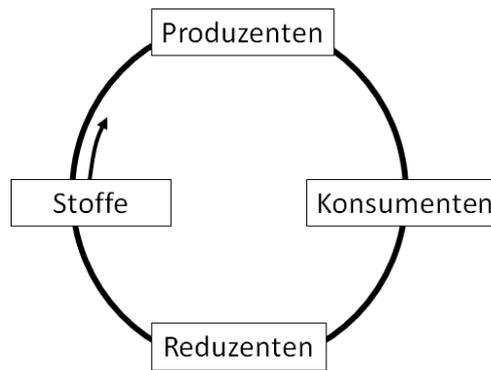


Abbildung 9: Produzenten, Konsumenten, Reduzenten und tote Materie in Ökosystemen
Darstellung entnommen aus ((Toepfer 2011b), S. 737), der sich auf eine Veröffentlichung von Schwerdtfeger bezieht.

Eine große Schwierigkeit bei der Verwendung des Ökosystembegriffs besteht in der Abgrenzung eines Ökosystems gegenüber seiner Umwelt. Hierzu können in der Regel drei unterschiedliche Kriterien verwendet werden ((Toepfer 2011b), S. 726):

1. »Topografisches Kriterium«: Die Grenzen des Ökosystems werden durch die räumliche Heterogenität abiotischer Faktoren festgelegt. So hat beispielsweise das Ökosystem eines Sees seine Grenze am Seeufer, wo ein Übergang vom Wasser zum Land stattfindet.
2. »Zöonologisches Kriterium«: Das Kriterium orientiert sich an einer räumlich diskontinuierlichen Verteilung von Arten. Ein Wald als Ökosystem ist somit in seiner Ausdehnung auf die Grenze des geschlossenen Baumbestandes beschränkt.
3. »Systemtheoretisches Kriterium«: Die Grenzen des Ökosystems werden durch den Kreislauf der Beziehungen zwischen den Organismen an einem Ort bestimmt, beispielsweise durch einen geschlossenen Nahrungskreislauf.

Ökosysteme können als Systeme aufgefasst werden, bei denen sich die einzelnen Systemkomponenten aufeinander beziehen und in wechselseitiger Abhängigkeit zueinanderstehen. Es liegt deshalb zunächst nahe, sie mit Organismen zu vergleichen, da die funktionelle Einheit eines Lebewesens in seiner Organisation besteht ((Toepfer 2011b), S. 777). Der Vergleich geht in Teilen so weit, dass Biozönosen und Ökosysteme als Organismen bezeichnet werden. Biozönosen und Ökosysteme konstituieren sich bei dieser Sichtweise dann nicht nur aus Lebewesen, sondern werden selbst als so etwas wie Lebewesen aufgefasst. So schrieb der Zoologe August Thienemann im Jahr 1926, dass eine Gemeinschaft von Lebewesen mit dem Lebensraum, den sie erfüllt, eine geschlossene Einheit bildet, die als »*Organismus höherer Ordnung*« bezeichnet werden kann ((Toepfer 2011b), S. 718). Die Debatte darum, ob ein Vergleich, der eine Gleichsetzung von Ökosystemen mit Lebewesen beinhaltet, zulässig ist oder nicht, ist auch heute noch Gegenstand der Diskussion ((Toepfer 2011b), S. 720). Gegen einen Standpunkt, dass Lebensgemeinschaften und Ökosysteme als »*Quasi- oder Superorganismen, d. h. als integrierte, koordinierte und selbstregulierende Systeme*« betrachtet werden können, wenden sich beispielsweise Martin Mahner und Mario Bunge (Mahner und Bunge 2000) in ihren ontologisch begründeten Ausführungen. Einen ausführlichen Vergleich zwischen Organismen

und Ökosystemen, bei dem er die jeweiligen Unterschiede deutlich herausstellt, nimmt Georg Toepfer ((Toepfer 2011b), S. 715 ff.) vor, was im Folgenden zusammengefasst werden soll. So ist herauszustellen, dass Lebewesen über

- a) eine geschlossene, artspezifische, körperliche Gestalt,
- b) eine Lebensspanne mit definiertem Anfang und Ende,
- c) aktive Bewegung bei Tieren oder passive Bewegung (Samen) bei Pflanzen,
- d) Fortpflanzung durch Reproduktion verfügen und
- e) einer Veränderung durch Evolution, die auf Variation und Selektion beruht, unterliegen.

Ökosysteme haben dagegen

- a') keine körperlich geschlossene Gestalt, sondern unscharfe Grenzen, die meist durch abiotische Bedingungen gesetzt sind; dabei sind sie durchlässig für Lebewesen, die in das System einwandern oder es verlassen,
- b') unscharfe Grenzen in Bezug auf ihr Entstehen oder Vergehen,
- c') in der Regel keine Selbstbewegung,
- d') keinen spezifischen Fortpflanzungsmechanismus und
- e') durchlaufen selbst keine Evolution, die auf Variation und Selektion beruht.

Ein weiterer, wesentlicher Unterschied besteht in der für Lebewesen typischen Regulation (Kapitel 3.1). So dient die Regulation, die das Ergebnis eines evolutionären Prozesses ist, bei Lebewesen dazu, den Organismus zu stabilisieren. Die Selbsterhaltung des Organismus hat dabei Vorrang vor der Erhaltung der Komponenten, aus denen der Organismus besteht. Die Regulation von Ökosystemen ist dagegen ein resultierender Faktor, der sich aus der Selektion von Lebewesen im System ergibt, für die ihr eigenes Überleben aber wichtiger ist als der Bestand des Systems. So handelt es sich bei vielen Lebewesen um Generalisten, die in unterschiedlichen Umgebungen leben können und von einem Ökosystem in ein anderes wechseln können. Letzteres ist für die Organe oder Zellen eines Lebewesens nicht möglich ((Toepfer 2011b), S. 729 ff.). Auch befinden sich Lebewesen in Ökosystemen in einer Konkurrenzsituation zueinander, was auf die Teile eines Lebewesens nicht zutrifft ((Toepfer 2011b), S. 703 ff.).

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Ökosystemansatz eine neue Denkweise in ökologische Forschungen integriert, die auch quantitative Aussagen erlaubt. Betrachtet man den historischen Verlauf des Denkens in Ökosystemen, wurden zunächst oft Modelle auf Ökosysteme übertragen, die der Thermodynamik oder der Ökonomie entnommen wurden ((Toepfer 2011b), S. 689 und 695). Gingen diese Modelle zunächst noch von Gleichgewichtsprozessen aus, finden seit den 1970er Jahren Modelle Anwendung, die von fluktuierenden Populationsgrößen ausgehen und eine nichtlineare Dynamik in Ökosystemvorstellungen integrieren ((Toepfer 2011b), S. 698 ff.). Ähnliche Entwicklungen lassen sich auch in der Ökonomie beobachten.

Ein ökologisches System ist also ein Modell, das eine Methode zur Beschreibung der komplexen wechselseitigen Beziehungen zwischen Lebewesen auf der einen und Stoffen und Energie auf der anderen Seite zur Verfügung stellen soll. Wie schon Tansley als Begründer des Ökosystembegriffs

herausgestellt hat, handelt es sich bei einem Ökosystem jedoch nicht um eine »*reale Einheit, sondern eine teilweise künstliche geistige Konstruktion*« um wissenschaftliche Zusammenhänge zu erfassen ((Toepfer 2011b), S. 716). Der Modellcharakter eines Ökosystems kommt, wie Kurt Jax (Jax 1996) schreibt, beispielsweise auch dadurch zum Ausdruck, dass Lebewesen zu Naturteilen wie einem See oder einem Wald zusammengefasst werden. Bei Seen und Wäldern handelt es sich jedoch um abstrakte Systeme und nicht um »*natürliche, reale Einheiten*«. Auch interagieren innerhalb von Ökosystemmodellen Arten miteinander. Die Merkmale von Arten werden jedoch statistisch aus den Eigenschaften konkreter Einzelwesen abgeleitet, sodass es sich bei ihnen auch um abstrakte Größen und keine ontologischen Entitäten handelt. Ontologische Entitäten sind dagegen die einzelnen Lebewesen. Sie sind die eigentlichen Akteure und nicht Arten oder Wälder. Hans-Werner Ingensiep (Ingensiep 2016) schreibt deshalb, dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler selbst wesentliche »Konstrukteure« der Systeme sind, da sie die Beziehungen, die sie in Betracht ziehen, auswählen und mit spezifischen Methoden untersuchen.

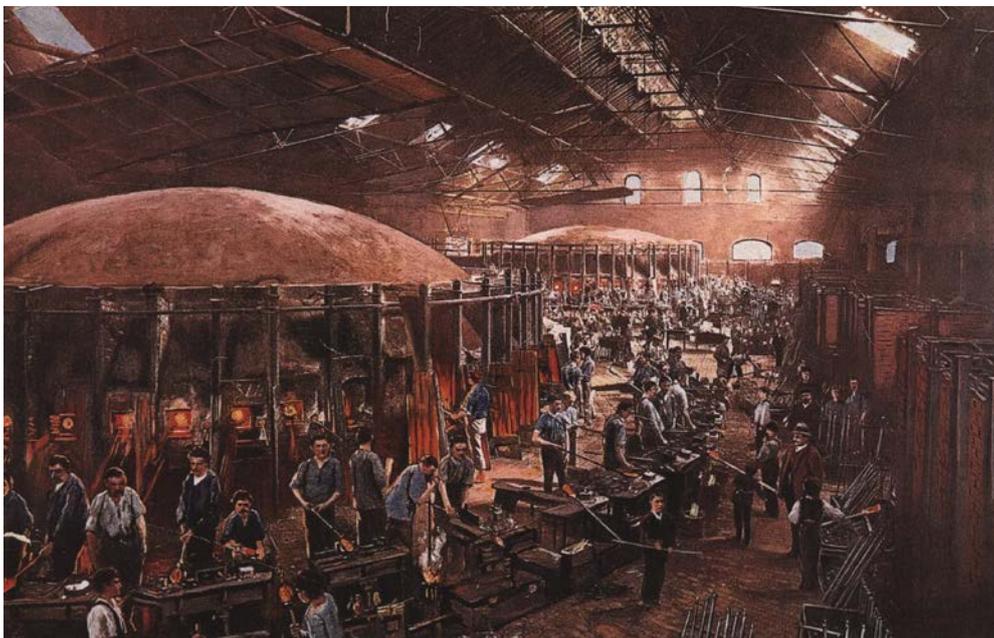
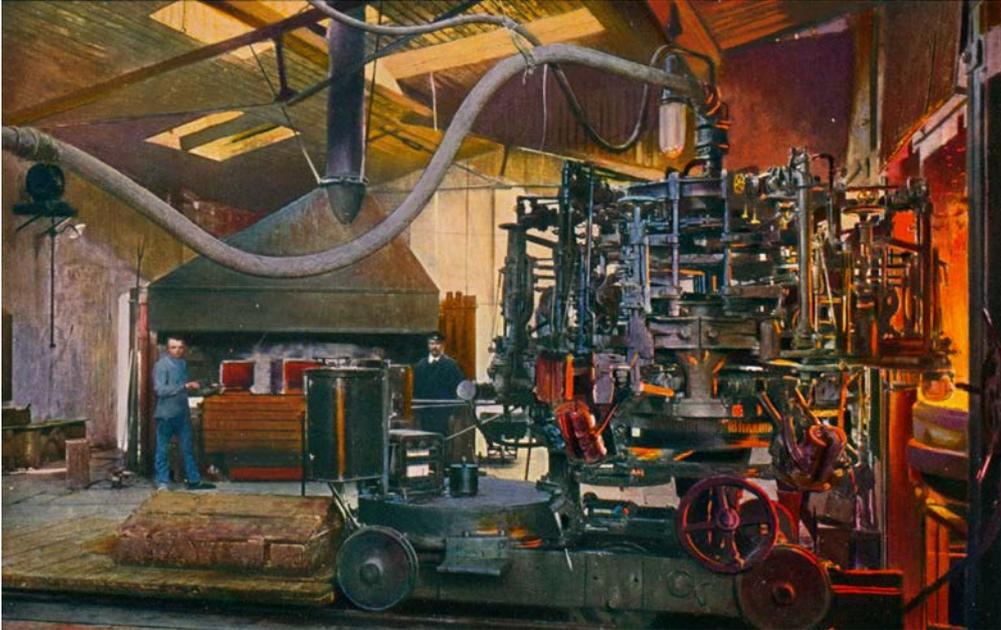


Abbildung 10: Postkartenmotive für die Glasherstellung (unbekannte Künstler, ca. 1913).

Das obere Bild zeigt eine Siemens-Owens-Maschine zur Herstellung von Glasflaschen. Im Hintergrund überwachen zwei Menschen die komplexe Maschine.

Das untere Bild zeigt einen sogenannten Wannenenfenbetrieb bei der Glasherstellung; es wird deutlich, wie die Arbeiter ein Teil der maschinellen Produktion sind.

Die Bilder wurden freundlicherweise von Dieter Neumann zur Verfügung gestellt.

4.1 Philosophie der Technik

Das Wort Technik entstammt dem griechischen Wort *techné* (τέχνη) und ist bereits in seiner Herkunft mehrdeutig, da es sich sowohl auf Werkzeuge als auch auf Kunst und Handwerk bezieht (Kornwachs 2013a). Es ist schwierig, eine allgemein akzeptierte Definition für Technik⁴¹ abzugeben. Man kann Technik auf den Prozess menschlichen Herstellens beziehen, die Menge an Werkzeugen, Maschinen und Apparaten darunter fassen oder eine bestimmte Art und Weise darunter verstehen, wie Menschen mit der Welt umgehen.⁴² Nahezu jeder Autor definiert und bewertet Technik im Detail unterschiedlich. Die Bandbreite reicht dabei von technikbegeisterten Ansätzen, wie man sie beispielsweise bei Friedrich Dessauer⁴³ (Huning 2013a) und Hermann Ley⁴⁴ (Hubig 2013c) findet bis zu den eher kulturpessimistischen Beschreibungen von Günter Anders (Hubig 2013a, 2013b).

Insgesamt gibt es eine Vielzahl von Abhandlungen zum Wesen der Technik, die hier nicht alle vorgestellt werden können. Einen umfassenden Überblick gibt der von Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl herausgegebene Sammelband »*Nachdenken über Technik*« (Hubig et al. 2013), der Beiträge verschiedener Autoren zu wichtigen Arbeiten enthält, die unterschiedliche Aspekte zum Thema Technik in den Vordergrund stellen. Hierzu gehören die Art und Weise des Erfindungsvorgangs, die Funktion von Technik oder die Beziehungen, die Technik zu Natur, Menschen sowie sozialen und ökonomischen Systemen hat. Eine Gliederung verschiedener Ansätze kann historisch oder aufgrund thematischer Schwerpunkte erfolgen. Letztere orientieren sich am jeweiligen Technikverständnis, der Art des jeweils betrachteten menschlichen Handelns, an Bedingungen und Folgen einer Technisierung sowie an weltanschaulichen, methodologischen und disziplinären Aspekten (Rapp und Ropohl 2013). Eine Übersicht über verschiedene Deutungen des Technikbegriffs liefern auch die Bücher von Klaus Kornwachs (Kornwachs 2013a), Christoph Hubig (Hubig et al. 2013), Alfred Nordmann (Nordmann 2015) und Anne-Maren Richter (Richter 2014), denen die folgenden Ausführungen zum größten Teil entnommen sind.

Obwohl es bereits in der Antike philosophische Überlegungen zum Wesen technischer Prozesse und Werkzeuge gegeben hat, ist eine geistesgeschichtliche Tradition, die sich als »Philosophie der Technik« bezeichnet, vergleichsweise neu. Der Begriff wird etwa seit dem Ende des 19. Jahrhunderts verwendet und wird meistens auf die Arbeiten von Ernst Kapp im Jahre 1877 zurückgeführt (Kapp

⁴¹ Der Begriff »Technik« muss ggf. vom Begriff »Technologie« abgegrenzt werden. Günter Ropohl ((Ropohl 2009), S. 31) stellt fest, dass die Begriffe im politischen und journalistischen Sprachgebrauch synonym gebraucht werden. Er führt dies auf den Einfluss des englischsprachigen Wortes »technology« zurück und weist darauf hin, dass unter Technologie die »Menge wissenschaftlich systematisierter Aussagen über Technik zu verstehen« ist. Die von Ropohl geforderte Trennung der Begriffe wird im vorliegenden Text nicht konsequent durchgehalten, da sie teilweise zu sprachlich schwierigen Konstrukten führt.

⁴² In diesem Fall kann sogar das technische Vermögen eines Sportlers oder Meditationstechnik unter den Technikbegriff gefasst werden. Friedrich von Gottl-Ottilienfeld (Huning 2013b) verwendet hierfür den Begriff »Individualtechnik«.

⁴³ Für Dessauer ist Technik eine Fortsetzung der Schöpfung (Huning 2013a).

⁴⁴ Ley verritt einen uneingeschränkten Fortschrittsglauben in Bezug auf die technischen Entwicklungen in sozialistischen Gesellschaften. Nachteilige Technikfolgen führt Ley allein auf das kapitalistische Wirtschaftssystem zurück (Hubig 2013c).

und Maye 2015, Nordmann 2015). Kapp interpretiert Technik als »Organprojektion« und meint damit, dass Technik die durch Organe und Fähigkeiten vorgegebene, unzulängliche natürliche Ausstattung von Menschen verbessert und erweitert. Arnold Gehlen vertieft diese Sichtweise und unterscheidet zwischen Organentlastung und Organverstärkung ((Ropohl 2009), S. 183). Auch wenn diese Definition viele technische Anwendungen richtig beschreibt, beispielsweise einen Hammer als Verstärkung der Arme, wird sie nicht allen technischen Systemen gerecht. So ist die Funktion eines Fernsehers weder als Organentlastung noch als Organverstärkung zu verstehen. Günter Ropohl ((Ropohl 2009), S. 184 ff.) unterscheidet deshalb zusätzlich zwischen einer »Substitution« und »Komplementation« menschlicher Leistungen. Eine Substitution liegt dann vor, wenn Fähigkeiten und/oder das Handeln von Menschen durch ein technisches System ersetzt oder verbessert werden; von Komplementation spricht man, wenn ein technisches System eine Funktion übernimmt, die beim Menschen nicht angelegt ist.

Bevor in Kapitel 4.3 nach verschiedenen Formen der Technik gefragt und dem Verhältnis von Mensch Technik, Kultur, Gesellschaft und Wirtschaft nachgegangen wird, erfolgt in Kapitel 4.2 eine nähere Betrachtung, wie neue technische Verfahren entstehen.

4.2 Wie entsteht Technik?

Wie kommt es zu Erfindungen und wie entwickeln sich aus einzelnen Erfindungen neue Technologien? Wie nicht anders zu erwarten, finden sich hier verschiedene Sichtweisen und Vokabulare. In der nachfolgenden Beschreibung wird hauptsächlich auf Ausführungen von William B. Arthur (Arthur 2009) und Gilbert Simondon (Simondon 2012) zurückgegriffen. Diese sind von besonderem Interesse, da sie Ähnlichkeiten zwischen der biologischen Evolution und einer technischen Entwicklung herausstellen. Die Arbeiten von Gilbert Simondon, dessen Buch »*Die Existenzweise technischer Objekte*« aus dem Jahr 1958 stammt, finden heute deshalb in Zusammenhang mit der Diskussion zur Nano- und Biotechnologie eine zunehmende Aufmerksamkeit (Rapp 2013).⁴⁵Die nachfolgende Beschreibung wird zusätzlich durch Aspekte ergänzt, die den Arbeiten von Günter Ropohl (Ropohl 2009) und Klaus Kornwachs (Kornwachs 2013a, 2015) entnommen wurden.

Technikgenese bei W. B. Arthur

Wie Arthur die Entstehung von Technologien interpretiert, ist in Abbildung 11 dargestellt. Die Entwicklung neuer Technologien wird bei ihm entweder durch Bedürfnisse oder durch Kenntnisse von (Natur-)Phänomenen ausgelöst. Das Entstehen eines Bedarfs für eine Technologie kann ökonomische Gründe haben, die beispielsweise im Erkennen eines neuen Marktes oder eine Veränderung in den ökonomischen Verhältnissen bestehen. Nichtökonomische Gründe können militärischer Art sein oder das Bestreben, einen Konkurrenten zu übertrumpfen, wie beim Mondlandeprogramm der USA in den 1960er Jahren. Laut Arthur muss ein Bedarf nicht unbedingt aktuell konkret vorliegen, sodass es

⁴⁵ Verwunderlich ist, dass Arthur, der seine Interpretation von Technik deutlich später veröffentlichte, in seinen bibliografischen Angaben nicht auf Simondon Bezug nimmt.

besser ist, von Bedarfspotenzialen zu sprechen. Die Entwicklung auf einen bestimmten Bedarf hin wird von Ropohl ((Ropohl 2009), S. 261) als »*nutzungsdominant*« bezeichnet.

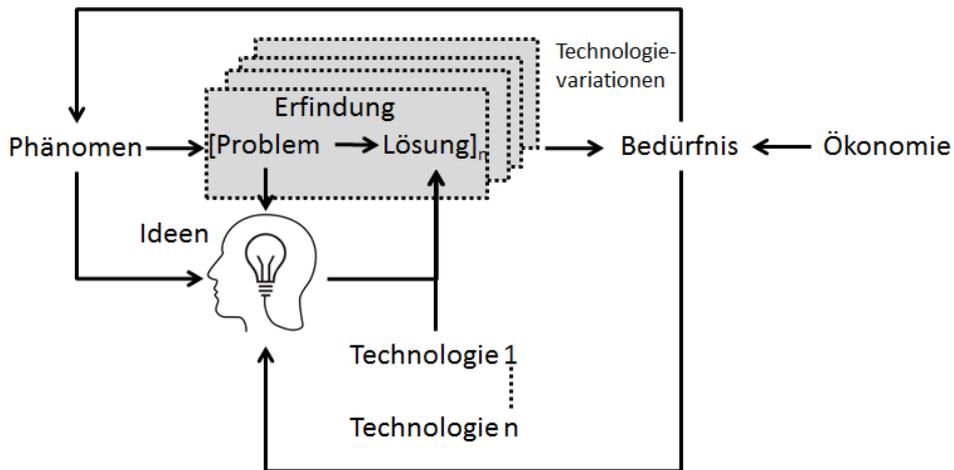


Abbildung 11: Entstehen und Entwicklung neuer Technologien.
Grafische Darstellung des bei W. B. Arthur (Arthur 2009) beschriebenen Konzeptes

Technische Verfahren bauen auf natürlichen Phänomenen auf, die entweder direkt in der Natur beobachtet werden können oder erst noch entdeckt werden müssen. Ein Phänomen⁴⁶, das sich unmittelbar in der Erfahrungswelt erschließt, besteht darin, dass mit scharfkantigen Steinen andere Materialien bearbeitet werden können. Eine daraus resultierende technische Entwicklung ist beispielsweise ein Steinmesser.

Schwerer zugängliche Phänomene sind beispielsweise chemische Reaktionen oder Schwingungsfrequenzen in Quarzkristallen. So war die Erfindung der Quarzuhr, die auf Schwingungsfrequenzen in Quarzkristallen als Phänomen zurückgeht, erst möglich, als bereits ein gewisser technischer Entwicklungsstand vorlag, da zur Entdeckung und Erschließung von Quarzschwingungen andere technische Geräte benötigt wurden. Es besteht somit ein rekursiver Prozess zwischen der Entdeckung von neuen Phänomenen und der Entwicklung von Technologien. Historisch interpretiert Arthur den Entwicklungsprozess von Technologien so, dass zunächst Phänomene erschlossen wurden, die unmittelbar zugänglich waren. Aus einzelnen Technologien entstanden dabei durch Kombination weitere Technologien, die als Werkzeuge, Apparate oder Messgeräte die Entdeckung neuer Phänomene ermöglichten. Technische Entwicklungen erfolgten also zunächst, ohne auf naturwissenschaftliche Grundlagen zurückzugreifen. Dies war erst erforderlich, als schwerer zugängliche Phänomene zur Entwicklung neuer Technologien benötigt wurden. Technik kann also nicht auf die Anwendung von Natur-

⁴⁶ Ähnliche Phänomene können zu Clustern zusammengefasst werden. Sie bilden nach Arthur (Arthur 2009) Technologiedomänen, die Kulturepochen dominieren und in anderen Kulturepochen durch andere Domänen ersetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist der Ersatz von technischen Verfahren, die auf mechanischen oder hydraulischen Phänomenen beruhen, durch digitale Techniken. Bestehende Technologien aus unterschiedlichen Domänen werden zu neuen Technologien kombiniert. So sind in einem Auto u. a. Phänomene der chemischen, mechanischen und elektronischen Domäne wirksam, was jeweils eigene Lösungen und eine geeignete Organisation erfordert.

wissenschaft reduziert werden, da man die Newtonsche Physik nicht kennen muss, um einen Hammer zu konstruieren und nicht in theoretischer Mikrobiologie bewandert sein muss, um Wein oder Bier herzustellen. Allerdings wären die meisten technischen Entwicklungen heute ohne die Einbeziehung naturwissenschaftlicher Kenntnisse nicht mehr möglich.

Damit ein Phänomen technisch verwendet werden kann, muss es erschlossen werden, was Arthur als »*capsulating*« von Phänomenen bezeichnet. Dieses Erschließen setzt als kreativen gedanklichen Akt die Assoziation eines Effekts mit einem Bedarf oder einer Anwendung voraus und ist der eigentliche Erfindungsvorgang. Wie Ropohl ((Ropohl 2009), S. 267) beschreibt, setzt sich der kreative Prozess einer Erfindung aus den vier Phasen »Präparation«, »Inkubation«, »Illumination« und »Verifikation« zusammen. Die Präparation, also die Vorbereitung, besteht dabei in der Sammlung von Wissen für eine neue Anwendung. Es wird angenommen, dass dieses Wissen anschließend »*ins Unterbewusste absinkt*« und dort während der Inkubationsphase »*willentlich nicht steuerbaren Assoziationen*« unterworfen ist. Das Bewusstwerden dieser Assoziationen wird dann als Illumination bezeichnet, auf die mit der Verifikation die Überprüfung der Assoziation und die verlässliche wiederholbare Anwendung des entdeckten Effekts folgt.

Eine neue Technologie verknüpft also einen neuen oder adaptierten Effekt mit einem (potenziellen) Bedarf für eine Anwendung, wobei Bedürfnisse auch erst nachträglich durch eine technische Entwicklung geweckt werden können ((Ropohl 2009), S. 40). Liegen technische Produkte erst einmal vor, werden sie häufig auch für andere Zwecke eingesetzt als ursprünglich vorgesehen ((Kornwachs 2015), S. 121). Ropohl ((Ropohl 2009), S. 261) bezeichnet einen Entwicklungsablauf, der noch nicht auf eine direkte Anwendung ausgerichtet ist, als »potenzialdominant«.

Jede erfolgreiche Verknüpfung eines Bedarfs mit einem Phänomen stellt eine Lösung zur Deckung eines Bedarfs dar. Die Menge der Lösungen, die zu einer Menge von Problemstellungen gehören, bezeichnet Arthur auch als »Design«, das auch eine Optimierung in Bezug auf Funktionalität und Kosten beinhaltet. Die Verwendung eines Designs benötigt ggf. noch verschiedene Subsysteme, bei denen es sich selbst um Technologien handelt, die ebenfalls weiterentwickelt werden, um an das übergeordnete System angepasst zu werden. Technik entwickelt sich dabei in einem relativ langsamen Prozess durch ständige Entwicklung ihrer Subsysteme weiter. Es entstehen neue Lösungskombinationen und technische Variationen, die gewöhnlich zu einer Zunahme der Komplexität führen. Hat sich ein bestimmtes Design in einem Segment durchgesetzt, findet es gegebenenfalls als Modul in verschiedenen Bereichen Anwendung. Vorhandene Technik wird so zum Baustein neuer Technik.

Technikgenese bei Gilbert Simondon

Gilbert Simondon beschreibt die Entwicklung technischer Objekte als Genese ((Simondon 2012), S. 19) und bezeichnet diesen Vorgang als »*natürliche technische Evolution*« ((Simondon 2012), S. 39), die er aber von der biologischen Evolution deutlich abgrenzt ((Simondon 2012), S. 64-65).

Wesentliche Begriffe sind bei Simondon das technische Element, die Maschine und das technische Ensemble. Unter einem technischem Element versteht er die Komponenten technischer Systeme

(Cuntz 2014), unter der Maschine ein »technisches Individuum« und unter einem technischen Ensemble ein System, das sich aus mehreren technischen Elementen oder Maschinen zusammensetzt (Rapp 2013). Beispielsweise besteht ein Ensemble zur Herstellung von Magneten aus den technischen Elementen Ofen, Schmelztiegel und Spulenwindung. Bei Ensembles kann es sich auch um Baustellen, Werften, Stahlwerke oder andere industrielle Konstrukte handeln.

In der Interpretation von Simondon verläuft die technische Entwicklung vom »Abstrakten« zum »Konkreten«. Abstrakte Objekte existieren isoliert (Szepanski 2015) und sind keine »natürlichen« Systeme ((Simondon 2012), S. 42 f.) Abstrakt im Sinne Simondons sind beispielsweise Prototypen, die er »*Übersetzungen von Vorstellungen und wissenschaftlicher Prinzipien in Materie*« nennt ((Simondon 2012), S. 42) So handelt es sich bei einem Prototyp nicht um ein integriertes System, da die Komponenten, aus denen er besteht, mehr eine Zusammenstellung von Anwendungen sind. Erst im Verlauf der technischen Entwicklung nehmen die inneren Zusammenhänge bei technischen Objekten zu, was Simondon als Individualisierung bezeichnet. Darunter ist das Entstehen einer Maschine als vollständige Einheit zu verstehen, die durch rekursive Beziehungen wie rückkoppelnde Regelungsmechanismen sowie multiple Funktionsweisen der enthaltenen technischen Elemente ausgezeichnet ist ((Simondon 2012), S. 51). Als Beispiel für eine multiple Funktionsweise nennt Simondon die Motorenentwicklung ((Simondon 2012), S. 40) und interpretiert dabei die Dampfmaschine als den Ursprung moderner Verbrennungsmotoren. So ist bei Verbrennungsmotoren und Dampfmaschinen der Zylinder, in dem die Ausdehnung bzw. der Druck eines Gases dazu verwendet wird, eine mechanische Kraftübertragung und die Bewegung eines Kolbens zu initiieren, ein wesentliches Element. Bei einer Dampfmaschine wird dieser Vorgang durch den Druck des Wasserdampfs hervorgerufen, der in einem Dampfkessel erzeugt wird, welcher durch eine externe Wärmequelle, in der beispielsweise Kohle verbrannt wird, beheizt wird. Sowohl Gas- als auch Wärmeerzeugung befinden sich bei der Dampfmaschine außerhalb des Zylinders. Bei einem Gasmotor dagegen ist der Zylinder multifunktional, da sowohl die Verbrennung als auch die Bildung des Verbrennungsgases im Zylinder stattfinden. Das konkrete technische Objekt gewinnt durch diese Entwicklung an innerem Zusammenhang und verliert, wie Simondon schreibt, seine »Künstlichkeit« ((Simondon 2012), S. 42 f.). Den Begriff »künstlich« versteht Simondon ((Simondon 2012), S. 43) anders, als in der Umgangssprache üblich. Künstlich sind für ihn alle Dinge, die ihre Ursache in den Handlungen von Menschen haben, gleichgültig, ob es sich um Maschinen oder Lebewesen handelt. Beispielsweise bezeichnet er die gezüchtete Blüte einer Pflanze als künstlich, weil sie, wenn es sich um eine gefüllte Blüte handelt, keine Frucht erzeugen kann. Die Vermehrung der Pflanze ist nur noch mithilfe von Menschen möglich.

Simondon beschreibt weiterhin das Wechselspiel zwischen technischen Elementen und Ensembles anhand der historischen Entwicklung der Energieversorgung in Europa (Abbildung 12). Im 18. Jahrhundert bestanden die wesentlichen Energiequellen (mit Ausnahme von Biomasse) in der Wasserkraft, der Windenergie und der Arbeitskraft von Tieren. Die Produktion in den vorhandenen handwerklichen Ensembles war an diese Energiequellen angepasst, d. h. sie fand an geografischen Orten statt, wo ein Wassergefälle zur Verfügung stand oder musste sich in ihrem Ablauf an den Wetterverhältnissen orientieren. Ein Energietransport erfolgte nur auf natürlichem Wege durch Wind und Wasser sowie durch den Transport von Biomasse durch Tiere und auf Booten. Aus diesen handwerklichen Ensembles gingen schließlich thermodynamische Maschinen wie die Dampfmaschine hervor und es

bildeten sich – an Orten, an denen ausreichend Energie zur Verfügung stand – neue industrielle Ensembles. Die neuen Ensembles ermöglichten eine intensivere Produktion von Metallen als bisher, was Simondon als notwendige Grundlage zur Erschließung elektrischer Phänomene identifiziert. Neben elektrischen Maschinen und Stromnetzen entstanden in Folge Kraftwerke, die sowohl thermodynamische als auch elektrische Phänomene nutzten. Simondon beschreibt weiterhin, wie sich die Atomenergie und Solartechnologie aus den Produkten der existierenden Ensembles entwickelten.

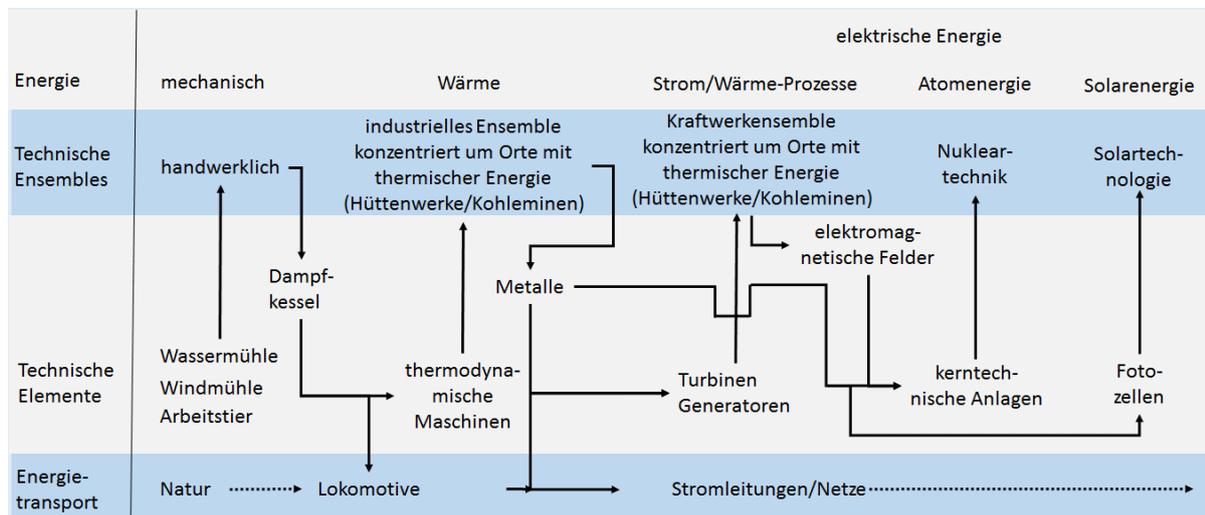


Abbildung 12: Entstehen und Entwicklung neuer Technologien.
 Grafische Darstellung des bei Gilbert Simondon ((Simondon 2012), S. 62 ff.) für die Entwicklung von Energiequellen beschriebenen Konzepts.

Innovation und organisatorische Hülle

Damit aus einer Erfindung eine neue Technologie entsteht, muss ein Phänomen mit einem (potenziellen) Bedarf verknüpft, also mit dem Wirtschaftssystem und der Gesellschaft gekoppelt werden. Dieser Prozess kann als die eigentliche Innovation angesehen werden, die dann wirksam wird, wenn die Voraussetzungen für eine Lösung und ein Bedarf zeitgleich vorliegen. Hierbei spielen wirtschaftliche, soziale und infrastrukturelle Voraussetzungen eine Rolle.

Klaus Kornwachs (Kornwachs 2013a, 2015) beschreibt in diesem Zusammenhang, dass Technik immer in eine sogenannte »organisatorische Hülle« eingebettet ist. Das, woraus diese Hülle besteht, nennt er »institutionelle Tatsachen«, zu denen beispielsweise auch wirtschaftliche Bedingungen gehören. Die organisatorische Hülle für das Auto enthält u. a. Straßen, Tankstellen, Raffinerien, Handelsabkommen, Öltanker, Pipelines, Automobilclubs, Werkstätten, Kfz-Steuer-systeme, Kfz-Versicherungen, Verkehrsregeln sowie Ordnungs- und Rettungskräfte. Eine geeignete organisatorische Hülle ist Voraussetzung für Technik, wie Technik auch eine Voraussetzung für eine organisatorische Hülle ist. Am Beispiel der Digitalisierung wird deutlich, dass Technik sich über eine vorhandene organisatorische Hülle hinaus entwickeln kann. Sie verändert die vorhandene organisatorische Hülle und konstituiert eine neue. Der Austausch zwischen verschiedenen Hüllen wird von der Gesellschaft getragen und benötigt sogenannte Trägersubstrate wie Geld, Macht und Information.

Bei Ropohl (Ropohl 2009; Hubig 2013a) findet sich zu diesem Aspekt ein umfassender Ansatz, der technische »Sachsysteme« sowohl bei ihrer Entstehung als auch bei ihrer Verwendung in systemischen Zusammenhang mit soziotechnischen Systemen bringt. Er untersucht »Handlungssysteme«, in denen Handlungsträger auf Ziele ausgerichtete Handlungen vollziehen. Unter einem Sachsystem versteht er künstliche, an einem Nutzen orientierte, gegenständliche Gebilde, die sich in einer natürlichen, technischen und gesellschaftlichen Umgebung befinden. Kommt ein neues Sachsystem in eine natürliche und gesellschaftliche Umgebung, greift es in diese ein: »Jede Erfindung ist eine Intervention, eine Intervention in Natur und Gesellschaft« ((Ropohl 2009), S. 44). Das Handlungssystem umfasst alles, was erforderlich ist, um eine Handlung zustande kommen zu lassen. Ein menschliches Handlungssystem verbindet sich mit einem Sachsystem zu einer Einheit und erzeugt so ein soziotechnisches Handlungssystem.

Arthur (Arthur 2009) vergleicht die Entwicklung von Technik mit der Evolution von Lebewesen, klammert dabei jedoch die eigentliche Erfindung aus, die er als rein auf menschliche Zwecke ausgerichtetes kreatives Handeln versteht. Sein Vergleich mit der Evolution bezieht sich auf den Prozess der Herausbildung von Technikportfolios, die der Erfindung nachfolgen. In dem in Abbildung 11 beschriebenen Prozess, in dem bestehende Technik zu Bausteinen neuer Technik wird, sieht Arthur einen Vorgang, der mit der Vererbung vergleichbar ist: Eine Technologie folgt auf die vorherige, ähnelt dieser, unterscheidet sich aber von der vorhergehenden Technologie. Arthur vergleicht dabei die Rolle der in der Technik genutzten Phänomene mit der Rolle von Genen. Das Technikkollektiv entwickelt sich dabei sozusagen selbst und dem menschlichen Erfinder kommt, ebenso wie der Wirtschaft, die Rolle eines Vermittlers zu. Bestehende Technik wird durch neue Technik abgelöst und es etabliert sich die Technik, die »funktioniert« und für die eine Bereitschaft vorhanden ist, sie anzuwenden und zu bezahlen. Wenn auch die Entwicklung einer speziellen Technologie ein zweckbestimmter Prozess ist, so betrachtet Arthur die Entwicklung des gesamten Technologieportfolios und der Technikdomänen, aus denen sich diese zusammensetzen, als einen evolutiven, unbestimmten Prozess, bei dem langfristig nicht vorhersagbar ist, welche Technikdomänen das zukünftige Portfolio der Technik ausmachen. Eine vergleichbare Interpretation, bei der die Entwicklung von Technik mit einem evolutionären Prozess verglichen wird, findet sich beispielsweise auch bei Stanislaw Lem (Kornwachs 2013b).

Im Gegensatz zu Arthur stellt Simondon Unterschiede zwischen technischen und biologischen Prozessen deutlicher heraus. Er beschreibt zwar, dass große Ähnlichkeiten zwischen Lebewesen und Maschinen sowie zwischen biologischen und technischen Prozessen bestehen, grenzt diese aber voneinander ab. Beispielsweise kritisiert er in der Kybernetik getroffene Annahmen, die von einer Identität zwischen Lebewesen und selbstregulierten technischen Objekten ausgehen ((Simondon 2012), S. 44). Technische Entwicklungen weisen bei Simondon zwar Ähnlichkeiten mit der biologischen Evolution auf, sind jedoch nicht mit dieser identisch. Der Begriff technische Evolution muss also von dem Begriff der biologischen Evolution unterschieden werden. So entsteht etwas Neues bei technischen Entwicklungen – nicht nur, wie in der Biologie, aus Zufall, sondern aufgrund von gerichteten Veränderungen ((Simondon 2012), S. 37). Technische Objekte werden erfunden und Prototypen entstehen, wenn technische Elemente zusammengeführt werden, die zuvor nur getrennt existierten. Bei

diesem Vorgang handelt es sich um eine zirkuläre Kausalität, in der Zukünftiges gedanklich vorweg genommen wird ((Simondon 2012), S. 56) (vgl. Kapitel 2.1).

4.3 Mensch, Technik, Kultur, Gesellschaft und Wirtschaft

Nutzung und Veränderung der Natur

Das Material, das zur Herstellung von Werkzeugen und Maschinen verwendet wird, hat seinen Ursprung letztendlich immer in der Natur.⁴⁷ Es wird der Natur entnommen und für Zwecke, die von Menschen gesetzt werden, umgeformt (Kornwachs 2013a). Menschen richten sich mithilfe von Technik in der Welt ein und Technik ist ein wesentlicher Bestandteil des »Tätigseins« von Menschen. Günter Ropohl (Ropohl 2009) zitiert in diesem Zusammenhang Arnold Gehlen, der Handeln als auf »*Veränderung der Natur gerichtete Tätigkeit*« auffasst. Technisches Handeln nutzt Naturgesetze, kopiert Natur und gestaltet Natur um. Der gestaltende Eingriff in die Natur wird in der Literatur unterschiedlich benannt und bewertet. So beschreibt Aristoteles Technik als Vollendung von etwas in der Natur bereits angelegtem, das aber von sich aus nicht zur Entfaltung kommt (Nordmann 2015), während Arnold Gehlen (Kornwachs 2013a) Technik als »*passend gemachte Ersatzwelt*« oder »*zweite Natur*«⁴⁸ (Poser und Karafyllis 2013) bezeichnet. Paul Tillich beschreibt Technik als Vorgang, mit dem Menschen die Natur, wie er sich ausdrückt, »*entmächtigen*«^{49,50} (Tillich 1961) (Zitat 13). Gernot Böhme (Wiegerling 2013) bezeichnet diesen Vorgang als »Aneignen und Ausscheiden« von neuer Natur.

Technik erschließt Welt – Gibt es verschiedene Arten von Technik?

Menschen erschließen sich Welt durch Technik und jede Herstellung eines funktionierenden Werkzeugs oder Apparates sagt etwas darüber aus, wie die Welt »funktioniert« und wie mit ihr umgegangen werden kann (Kornwachs 2015). Dieser wahrheitsfindende und erschließende Vorgang wird von Martin Heidegger (Richter 2014; Nordmann 2015) »*Entbergen*« genannt (Zitat 10). Auch Simondon nimmt den Standpunkt ein, dass technisches Handeln die »*Erfassung von Realität*« beinhaltet (Rapp 2013). Unter Entbergen im Sinne Heideggers ist jedoch nicht nur ein Erkennen zu verstehen, das Auskunft darüber gibt, wie die Natur »funktioniert«. Vielmehr spiegelt es auch das Verhältnis von Mensch und Welt. Heidegger unterscheidet zwischen einer älteren in die Natur eingepassten, entbergenden Technik und einer neueren Technik, die die Natur »*herausfordert*«. Das wesentliche

⁴⁷ Auch Kunststoffe entstammen der Natur. Sie werden aus aufbereiteten Erdölfraktionen hergestellt. Erdöl hat sich durch einen natürlichen Prozess aus Biomasse gebildet, die auf Lebewesen in Ozeanen zurückgeht.

⁴⁸ Der Ausdruck »zweite Natur« erinnert an die »zweite Schöpfung« des Thomas von Aquin (Zitat 5).

⁴⁹ Der Begriff »*Entmächtigung*« ist hier nicht im Sinne von sozialer Macht zu verstehen, sondern geht auf den in der Ontologie manchmal verwendeten Begriff der »*Seinsmächtigkeit*« zurück. Paul Tillich beschreibt Seinsmächtigkeit folgendermaßen: »*Was wirkt, muss Macht haben. Das wahrhaft Wirkliche ist das wahrhaft Mächtige. Mächtig nicht im sozialen Sinne, sondern seinsmächtig erfüllt mit Macht zu sein. Jede Begegnung mit Dingen und Menschen zeugt von ihrer Macht zu sein und von dem Grade dieser Macht. Seinsmächtigkeit in abgestufter Größe dringt aus jedem Ding, aus jeder Person auf uns ein und zwingt uns, dessen unauflöslliche Wirklichkeit anzuerkennen [...]*« ((Tillich 1987), S. 184).

⁵⁰ Siehe hierzu auch Kapitel 5.8.

Merkmal der entbergenden Technik besteht für ihn darin, dass ein klassisches Artefakt⁵¹ selbst nichts Technisches ist, sondern nur der Vorgang zu dessen Herstellung. Im Gegensatz zur entbergenden Technik steht eine neuere, herausfordernde Technik, beispielsweise eine aus Maschinen bestehende Fabrik, in deren Abläufe sich auch die Schöpfer der Fabrik, die Menschen, einzufügen haben. Eine Fabrik konstituiert eine eigene Wirklichkeit, in der Menschen nur noch ihren eigenen Konstrukten begegnen, denen sie im Gegensatz zur Natur »entfremdet« sind (Nordmann 2015). Was im Fall der Fabrik zum Ausdruck kommt, also »entborgen« wird, ist in dieser Auslegung die Organisation der menschlichen Gesellschaft. Das Herausfordernde an die Natur besteht darin, dass sie nur noch als Bestand bzw. Ressource der Technik betrachtet wird. Die Unterteilung in eine alte, sanftere und entbergende Technik auf der einen Seite und einer entfremdenden und herausfordernden Technik auf der anderen Seite ist umstritten. Nordmann (Nordmann 2015) bezieht sich hier auf den Standpunkt von Mumford, der einwendet, dass Technik auch in der Antike nicht ohne eine hinreichende Organisationsform angewendet wurde. Er verweist auf den Pyramidenbau in Ägypten, der wie eine aus Menschen aufgebaute Maschine »funktioniert« habe.

Zitat 10 – Martin Heidegger (1889 – 1976):



»Die Technik ist also nicht bloß ein Mittel. Die Technik ist eine Weise des Entbergens. Achten wir darauf, dann öffnet sich uns ein ganz anderer Bereich für das Wesen der Technik. Es ist der Bereich der Entbergung, d. h. der Wahrheit.« (Nordmann 2015)

Neben der von Heidegger getroffenen Unterscheidung von verschiedenen Technikformen gibt es weitere Klassifizierungssysteme, von denen hier beispielhaft die von José Ortega y Gasset und Paul Tillich getroffenen Unterscheidungen genannt werden. Ortega y Gasset (Poser und Karafyllis 2013) differenziert zwischen der »Technik des Zufalls«, die auf prähistorisch verorteten zufällig gefundenen

technischen Handlungen beruht (dabei handelt es sich um die einfach erschließbaren Phänomene bei Arthur), der »Technik des Handwerkers«, mit Handwerkstechniken als von der Natur gegebene Mittel und der »Technik des Technikers«, der als Erfinder methodisch auf ein Ziel hinarbeitet. Paul Tillich ((Moos 2014b), S. 72) unterscheidet zwischen »entfaltender Technik«, »umgestaltender Technik« und »verwirklichender Technik«. Zur entfaltenden Technik zählt er das Züchten von Lebewesen für die Landwirtschaft sowie die Entwicklung sozialer Konstrukte, wie beispielsweise eine Verwaltung. Als umgestaltende Technik bezeichnet er die Herstellung von Werkzeugen und Maschinen; zur verwirklichenden Technik gehören bei ihm Kunst und Medien.

Technik, Wirtschaft und Gesellschaft

Eine besondere Bedeutung bei der Bewertung von Technik hat die Interaktion von Technik mit sozialen und wirtschaftlichen Prozessen. Wie nicht anders zu erwarten, werden diese Interaktionen in der Literatur sehr unterschiedlich bewertet. Ob Technik eher als Treiber wirtschaftlicher und sozialer Veränderungen betrachtet wird oder umgekehrt wirtschaftliche und soziale Impulse technische Entwicklungen initiieren, ist häufig eine Frage der Sichtweise. Beispielsweise interpretiert der Ökonom Friedrich von Gottl-Ottilienfeld Technik vornehmlich als Mittel der Wirtschaft und schreibt »Technik

⁵¹ Heidegger benutzt als Beispiel die Herstellung einer antiken Opferschale durch einen Silberschmied.

ist um der Wirtschaft willen da, aber Wirtschaft nur durch Technik vollziehbar« (Huning 2013b). Der Standpunkt von Gottl-Ottilienfeld gibt wohl eher eine extreme Sichtweise wieder. Wahrscheinlich ist wohl eher von einer wechselseitigen Beziehung zwischen Technik, Wirtschaft und Gesellschaft auszugehen, die eng zusammenhängen. Dieser Zusammenhang, ist u. a. damit zu begründen, dass Technik und Wirtschaft ihren Ursprung in der sozialen Natur von Menschen haben (Huning 2013b). Ein wirtschaftlich-technischer Zusammenhang lässt sich bereits daraus ableiten, dass natürlich vorhandene Dinge zur Befriedigung sich entwickelnder Bedürfnisse nicht ausreichen, sodass zunehmend technische Mittel zur Bedürfnisbefriedigung eingesetzt werden. Da sich die Bedürfnisse von Menschen ständig verändern, verändert sich auch die Technik. Weiterhin werden technische Produkte größtenteils nur hergestellt, weil sie wirtschaftlich verwertet werden können ((Ropohl 2009), S. 39 ff.). Dieser Gedanke wird bei José Ortega y Gasset (Poser und Karafyllis 2013; Kornwachs 2013a) vertieft, der herausstellt, dass sich menschliche Bedürfnisse nicht nur am »Überleben« orientieren, sondern auch am Wohlbefinden. Er bezeichnet »Technik als Erzeugung des Überflüssigen«.

Zitat 11 – Karl Marx (1818 – 1883):



»Mit der Akkumulation des Kapitals entwickelt sich die spezifisch kapitalistische Produktionsweise und mit der spezifisch kapitalistischen Produktionsweise die Akkumulation des Kapitals.« (Ropohl 2013)

Zwischen Wirtschaft und Technik besteht eine iterative Beziehung. So beschreibt Arthur (Arthur 2009) Ökonomie als ein Muster aus Gütern und Dienstleistungen, das sich aus den vorhandenen Produktionsmethoden sowie den gesetzlichen und organisatorischen Gegebenheiten⁵² konstituiert. Er interpretiert dabei das Wirtschaftssystem als eine Organisationsform für Technik, die das, was Menschen benötigen, bereitstellen soll. Arthur zieht Parallelen zwischen Technik auf der einen und Wirtschaftsorganisation,

gesetzlichen Systemen und Zahlungsmitteln auf der anderen Seite. Alle Systeme sind bei ihm Mittel zu einem durch Menschen gesetzten Zweck. So ist Geld ein »technisches Mittel«, um Handel zu ermöglichen, das jedoch nicht wie Technik auf einem physikalischen Phänomen aufbaut, sondern auf dem Vertrauen, dass alle Menschen den Wert von Geld anerkennen (Arthur 2009). Während Arthur Wirtschaft und Technik als wesensähnliche Bereiche bezeichnet, grenzt Ropohl (Ropohl 2009) die von ihm benannten technischen Sachsysteme klarer gegen die Wirtschaft ab, da er den Begriff »technisches Sachsystem« ausdrücklich auf »gegenständliche« Gebilde bezieht, die die virtuellen »Gegenstände« der Wirtschaft ausschließen.

Dass zwischen Technik, Wirtschaft und Gesellschaft ein bis heute noch nicht gänzlich verstandener Zusammenhang existiert, ist unbestritten. Wie dieser Zusammenhang in seiner Bedeutung für Menschen und Natur zu interpretieren ist, ist umstritten. So gehen einige Autoren wie Ropohl (Ropohl 2009) davon aus, dass es sich bei Wirtschaft und Technik um menschengemachte und deshalb grundsätzlich kontrollierbare Systeme handelt, während andere Autoren wie Tillich (Tillich 1961) Technik und Wirtschaft als sich verselbstständigende Phänomene betrachten, die Menschen als fremde Mächte mit dämonischen Zügen (Hubig 2013a) gegenüberstehen, denen sie machtlos ausgeliefert sind. Welche Dynamik und welche gesellschaftliche Auswirkungen die Wechselwirkung zwischen

⁵² Vergleichbar mit der »organisatorischen Hülle« bei Kornwachs.

Technik und Wirtschaft haben kann, wird anhand des Beispiels der industriellen Revolution⁵³ deutlich, die ohne rekursive Wechselwirkungen zwischen menschlichem Handeln, Technikentwicklung, Wirtschaftsprozessen und gesellschaftlichen Vorgängen nicht möglich gewesen wäre (siehe Zitat 11) (vgl. hierzu auch (WBGU 2011)) .⁵⁴

Technik und Menschen

José Ortega y Gasset beschreibt Technik als ein Mittel, mit dem Menschen sich selbst verwirklichen können und verknüpft den Beginn der Technik mit dem Beginn des Menschseins (Kornwachs 2013a). Trotz der Leistung, die Technik zur Sicherheit und Freiheit menschlichen Lebens beiträgt, warnt Ortega y Gasset jedoch vor den negativen Folgen, die Technik in einer Massengesellschaft haben kann (Poser und Karafyllis 2013). Er bezieht sich dabei auf ein sogenanntes »quantitatives« Denken,⁵⁵ das sich in einer Massengesellschaft ausbildet und das Menschen daran hindert, qualitativ neue Lebensentwürfe zu entwickeln. Die technische Welt wird in einer solchen Situation als hinzunehmende Übernatur wahrgenommen, die die schöpferische Tätigkeit von Menschen lähmt und so der Technik ihre eigene Grundlage entzieht.

Dass Menschen ein Gefühl des Ausgeliefertseins gegenüber Technik empfinden können, erläutert auch Klaus Kornwachs (Kornwachs 2015). Er führt dies zum Teil darauf zurück, dass Menschen für vorhandene Technik ständig neue Zwecke suchen. Zu Ende gedacht kann es dann bei einer fortschreitenden Automatisierung schließlich dazu kommen, dass auch die Suche nach neuen Zwecken durch technische Prozesse erfolgt und nicht mehr durch Menschen. Technik sucht sich dann ihre Zwecke selbst und wird zum Selbstzweck. Ropohl ((Ropohl 2009), S. 43) lehnt eine Sichtweise, die ein isoliertes Eigenleben von Technik annimmt, ab. Bei ihm wird Technik durch Rahmenbedingungen bestimmt, die sich aus menschlichem Handeln und gesellschaftlichen Verhältnissen ergeben. Er betont, dass Technik ihre Zwecke nicht selbst hervorbringt, sondern dass es immer Menschen und Organisationen sind, die Technik für andere konzipieren.

Langdon Winner (Nordmann 2015) beschreibt, wie Geräte und Techniken, die Menschen in ihren Alltag übernehmen, ihren Werkzeugcharakter verlieren und so »Teil des Menschseins« werden (Zitat 16) (Nordmann 2015; Winner 2001). Auf diese Art bildet sich ein Netzwerk aus menschlichen und nicht-menschlichen Akteuren, die Alexander Kluge und Bruno Latour das »Parlament der Dinge«⁵⁶

⁵³Als industrielle Revolution wird die Transformation von Agrargesellschaften zu Industriegesellschaften bezeichnet, die in der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts in einigen Teilen der Welt ihren Anfang nahm.

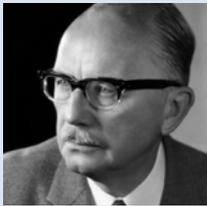
⁵⁴ Klaus Kornwachs weist darauf hin, dass inzwischen nicht nur eine enge Verbindung von Technik und Ökonomie besteht, sondern dass sich inzwischen auch die Wissenschaften immer mehr an ökonomischen Zielen orientieren. Er schreibt: »Diesem Regime, nämlich auf die Anzeichen für die Erfüllung ökonomischer Erwartungen zu achten, hat sich der technische Fortschritt – und mit einer Phasenverschiebung von fast 100 Jahren dann auch die Wissenschaft – seit der Industrialisierung immer mehr beugen müssen. Die Folge davon ist die ökonomische Ausrichtung von Wissenschaftszielen. Dagegen wäre nichts einzuwenden, wenn diese ökonomischen Ziele auch langfristig betrachtet würden – jedenfalls auf so lange Zeiträume, wie die erkannten und möglichen Folgen von Technik, ihrer Gestaltung und Verwendung andauern« ((Kornwachs 2015), S. 106).

⁵⁵ Auch die zunehmende Verwendung von sogenannten Kennzahlen in den unterschiedlichen Lebensbereichen ist ein Beispiel für die Zunahme quantitativen Denkens.

⁵⁶ Alexander Kluge bezog den Begriff »Parlament der Dinge« im Jahr 1984 auf die erste Weltausstellung von 1851, die alle damaligen technischen Neuheiten versammelte (Nordmann 2015) Auffällig ist hier die Analogie

genannt haben (Nordmann 2015) (Kapitel 5.4) . Dieses Parlament der Dinge ergänzt die Interaktion menschlicher Akteure und schränkt sie sogleich ein. Arnold Gehlen vergleicht das Wirken von Technik im menschlichen Leben mit Rückbezug auf Hannah Arendt (Nordmann 2015) mit der Herausbildung einer den Menschen umgebenden technischen Hülle, die er mit der Schale eines »Schalentieres«⁵⁷ in Zusammenhang bringt. Das Anwachsen der Schale erfordert dabei eine ständige Anpassung, die das Bewusstsein allein nicht leisten kann und die zu einem Nachlassen des Bedürfnisses nach Freiräumen führt. Um die Beziehungen zwischen den Menschen, zwischen den Dingen sowie zwischen Menschen und Dingen aufrecht zu erhalten, wird so immer mehr Technik und Organisation erforderlich. Die damit verbundene zunehmende Komplexität führt, wie Günther Anders schreibt (Nordmann 2015), zu einem wachsenden »Nichtwissen« über Technikfolgen.⁵⁸ In seiner technikkritischen Darstellung stellt Günther Anders heraus, »dass wir der Perfektion unserer Produkte nicht gewachsen sind; dass wir mehr herstellen als vorstellen und verantworten können; und dass wir glauben, das, was wir können, auch zu dürfen [...] zu müssen«. Günther Anders schreibt, dass Menschen sich mit technischen Standards sowie mit den technischen Anforderungen, die durch Maschinen an sie gestellt werden, vergleichen. Hierbei stellen sie fest, dass sie den Anforderungen nicht gerecht werden und sie beginnen damit, sich selber zu bearbeiten und zu optimieren. Hinzu kommt, dass Wirklichkeit zunehmend durch Medien erfahren wird, also einem technisch hergestellten Bild der Wirklichkeit. Im Szenario von Günther Anders machen sich Menschen selbst zum Rohstoff einer Technik und im Rahmen einer vierten industriellen Revolution schließlich selbst überflüssig⁵⁹ (Hubig 2013b; Kornwachs 2013a).

Zitat 12 – Arnold Gehlen (1904 – 1976)



»So gesehen ist es nicht übertrieben, mit Hannah Arendt (*Vita activa*) zu sagen, dass die Apparate, die wir einst frei handhabten, nunmehr anfangen, so zu unserem biologischen Leben zu gehören, dass es ist, als gehöre die menschliche Spezies nicht mehr zur Gattung der Säugetiere, sondern beginne sich in eine Art Schalentier zu verwandeln«.

(Nordmann 2015)

Die Wahrnehmung von Technik als nicht beeinflussbare Macht wird in der Literatur sehr unterschiedlich ausgedrückt. So äußert sich der Ökonom Joseph Alois Schumpeter (Poser 2013) relativ moderat, indem er schreibt, dass »jede technologische Verbesserung, die objektiv möglich wird, die Tendenz (habe) [...], in die Wirklichkeit umgesetzt zu werden.« Drastischer drückt sich hier Paul Tillich aus (Zitat 13), der schreibt, dass Technik sowohl eine Befreiung als auch eine Versklavung von Menschen sein kann. Befreiend an Technik ist, dass sie Menschen von entwürdigender Arbeit entlasten, vor der Natur schützen und menschliche Grenzen erweitern kann (Moos 2014b). Versklavend wirkt sie dann,

zum heute gebräuchlichen Begriff »Internet der Dinge«, der eine globale Infrastruktur bezeichnet, durch die physische und virtuelle Gegenstände vernetzt mithilfe von Informations- und Kommunikationstechniken interagieren.

⁵⁷ Z. B. Muscheln, Krebse und wasserlebende Schnecken

⁵⁸ Anders bezieht sich hier u. a. auf die Entwicklung der Atombombe (Nordmann 2015; Kornwachs 2013a).

⁵⁹ Zu beachten ist, dass der zweite Band von Günther Anders (»Die Antiquiertheit des Menschen«), in dem er von einer vierten industriellen Revolution spricht, im Jahr 1980 erschienen ist, also lange vor der aktuellen Diskussion um eine Digitalisierung und einer damit verbundenen Industrie 4.0.

wenn Menschen sich den Produktionsbedingungen des Technischen »*unterwerfen*« müssen und maschinellen Produktionsabläufen ausgeliefert sind. Technik wird dabei zum Instrument (ökonomischer) Machtinteressen (Moos 2014b). Gilbert Simondon ((Simondon 2012), S. 30) sieht die Ursache für dieses Phänomen eher darin, dass sich psychische und soziale Strukturen nicht zusammen mit technischen Objekten entwickeln, sondern dass technische Objekte in ein bereits geprägtes Arbeitsumfeld eintreten, in dem sie ggf. unpassend gebraucht werden.

Auch Günter Ropohl ((Ropohl 2009), S. 17) nimmt einen anderen Standpunkt als Tillich ein. Er betont, dass Technik keine »*innere Eigengesetzlichkeit*« hat, die Möglichkeiten zu einer bewussten Gestaltung durch Menschen ausschließt und Menschen zu »*willenlosen Spielbällen*« ihrer eigenen Konstrukte macht. Er betont, dass Technik »*Menschenwerk*« ist, die dem einzelnen Menschen nur als »*fremde soziotechnische Macht*« erscheint ((Ropohl 2009), S. 181). Christoph Hubig (Hubig 2013a) hält dem entgegen, dass die Sichtweise von Ropohl einen rein rationalen Umgang mit Technik voraussetzt, der die »*reale Irrationalität*« im Umgang mit Technik vernachlässigt. Die Rede von einer »*Dämonie der Technik*« hat, wie Hubig schreibt, auch einen realen Bezug. Sie besteht objektiv, wenn sie subjektiv so erlebt wird.

Zitat 13 – Paul Tillich (1886 – 1965)



»Die Technik dient dem Menschen, sie ist ihm unterworfen. Seine Zwecksetzung wird allen Dingen auferlegt. Um dieses Zweckes willen werden die übrigen Wesen ihrem Eigenzweck entfremdet, sie werden entmächtigt, um eine neue Macht im Dienst des Menschen zu erhalten: der Baum wird zum Holz, das Tier zur Arbeitskraft, [...] das Eisen zur Maschine. Und, was die eigentliche Paradoxie ist, der Mensch selbst kann zu dem werden, wozu er Dinge zwingt: zum Werkzeug, zur Maschine, zur Arbeitskraft. Er kann wie die Dinge entmächtigt werden, um in die neue Macht des technischen Gebildes als Glied eingefügt zu werden [...] Aber freilich: es ist eine fremde Macht über die Technik gekommen. Die Technik mit ihren unbegrenzten Möglichkeiten war die Versuchung. Die Entscheidung aber gab die Wirtschaft und ihre Zwecksetzung. Aus der Herrschaft des Geistes wurde die Herrschaft der Willkür, des zufälligen, oft sinnlosen Bedürfnisses. Aus der Herrschaft des Menschen wurde die Herrschaft über Menschen, wurde Klassenherrschaft und der Versuch, zu Gunsten weniger alle Übrigen im Dienst des Zweckes zu entmächtigen [...] Immer neue Bedürfnisse erzwingt die Wirtschaft, selbst gezwungen durch die Gesetze ihrer frei gewordenen Natur [...]« (Tillich 1961)



Abbildung 13: Detail der Lehtafel von Fritz Kahn⁶⁰ »Der Mensch als Industriepalast«

(Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Q Kreativgesellschaft mbH, Sonnenberger Str. 16, 65193 Wiesbaden, info@fritz-kahn.com)

»Das großformatige Motiv stammt von 1926 und lag seiner [Fritz Kahns] fünfbandigen Serie »Das Leben des Menschen« bei. Das Format ist so gewählt, dass der menschliche Körper lebensgroß wiedergegeben wird. Die organischen Funktionen verglich Kahn – vom großen technischen Fortschritt seiner Zeit inspiriert – mit industriellen Vorgängen oder alltäglichen Bürosituationen, um komplizierte Abläufe einfach darzustellen« (Werkstoff Verlag 2018).

⁶⁰ Fritz Kahn (1888 – 1968) war ein Berliner Arzt. Er war als populärwissenschaftlicher Autor tätig, der Bau und Funktionsweise des menschlichen Körpers durch seine visuellen Analogien zu Maschinen darstellte (Debschitz 2017).

Im vorliegenden Kapitel erfolgt eine Einzelbetrachtung für verschiedene Formen biologischer Transformationen. Da eine Bewertung von Material- und Formadaptionen bereits in Kapitel 1.5 erfolgte, werden hier Systemadaptionen und biologisch-technische Konvergenzen (Kapitel 1.4) betrachtet. Zu den diskutierten Systemadaptionen gehören sogenannte evolutionäre Entwicklungsansätze (Kapitel 5.1) und wirtschaftsbionische Anwendungen (Kapitel 5.2). Die besprochenen biologisch-technischen Konvergenzen betrachten den Aspekt »künstlichen Lebens« (Kapitel 5.3) sowie verschiedene systemische Kombinationen, die sich aus Lebewesen im Allgemeinen und Menschen im Besonderen mit Maschinen konstituieren (Kapitel 5.4 – 5.8). Zum Abschluss erfolgt eine Betrachtung über die vorhandenen Beziehungen zwischen Technik und Biologie bzw. über das, was sie trennt.

5.1 Evolutionäre technische Entwicklungen?

Die in Kapitel 4.2 beschriebenen technikphilosophischen Ansätze enthalten auch Arbeiten, die die Genese technischer Systeme mit der biologischen Evolution vergleichen. Zu nennen sind beispielsweise die Arbeiten von W. B. Arthur (Arthur 2009), Gilbert Simondon (Simondon 2012) und Stanislav Lem (Kornwachs 2013b), die in der technischen Entwicklung Mechanismen erkennen, die der biologischen Evolution ähnlich sind. Ein wesentlicher Unterschied zwischen der biologischen Evolution und der Genese von Technik besteht allerdings darin, dass in der biologischen Evolution Veränderungen durch zufällig entstehende Mutationen erfolgen, während bei technischen Entwicklungen an verschiedenen Stellen des Entwicklungsprozesses eine Zwecksetzung oder Absicht durch Menschen die Entwicklungsrichtung bestimmt. Vor allem die technische Erfindung selbst ist dabei als kognitiver, kreativer Prozess zu begreifen, der mit einer Zwecksetzung verbunden ist.

Lassen sich aber vielleicht doch evolutionäre Mechanismen auf technische Entwicklungen übertragen? Lässt sich der kognitive Vorgang in der Entwicklung ausschalten, indem die Entwicklung eines technischen Elements zufälligen Veränderungen unterworfen wird, die, wenn sie sich bewähren, für weitere Veränderungen ausgewählt werden? »*Entwicklungsbionische Strategien*«, wie sie beispielsweise von Werner Nachtigall (Nachtigall 2008) in seinem Überblickswerk zur Bionik beschrieben werden, versuchen solche Konzepte bei der Entwicklung technischer Elemente einzusetzen.⁶¹

In Abbildung 14 sind die relevanten Schritte der biologischen Evolution nach der Beschreibung von Werner Nachtigall ((Nachtigall 2008), S. 42 ff.) dargestellt: Die Gene eines Lebewesen L_1 werden auf zufällige Weise verändert und die veränderten Gene an Nachkommen weitergegeben. Ob diese Nachkommen L_1' ihre Gene an weitere Nachkommen weitergeben können, hängt von der Auseinandersetzung der Lebewesen mit der Umwelt ab. Dabei werden sich die Lebewesen häufiger vermehren, die für ein Leben in der jeweiligen Umwelt besser geeignet sind. Das Prinzip lässt sich grundsätzlich auf technische Vorgänge übertragen, indem Mutation, Rekombination und Selektion als Ent-

⁶¹ Zu nennen ist in diesem Zusammenhang auch die sogenannte »Evolutionary Operation« (EVOP). Dabei handelt es sich um eine Methode zur Prozessoptimierung. Hierbei werden nur kleine Änderungen in den Prozessvariablen vorgenommen, die nicht groß genug sind, um unbrauchbare Produkte zu erzeugen, aber signifikant genug, um Prozessbedingungen zu optimieren (Box 1957).

wicklungsfaktoren verwendet werden. Wenn das durch einen zufälligen Prozess veränderte technische Element Vorteile bietet, wird es weiterverwendet und kann so weiteren Veränderungen unterworfen werden. Sind die Veränderungen nachteilig, wird das neue Element für die weitere Entwicklung nicht mehr verwendet.

In dem von Nachtigall verwendeten Beispiel, das auf Arbeiten von Hans-Paul Schwefel in den 1960er Jahren zurückgeht, ist es das Ziel, den Wirkungsgrad einer Düse zu optimieren. Eine Düse wurde hierzu in Scheiben geschnitten und die Scheiben zufällig neu angeordnet. Diese neue Anordnung wurde auf ihren Wirkungsgrad untersucht. Wenn ein besserer Wirkungsgrad erzielt werden konnte, wurde die Düsenform, die den verbesserten Wirkungsgrad aufwies, durch zufällige Variationen erneut verändert. Wenn kein besserer Wirkungsgrad erzielt werden konnte, wurde auf die vorherige Düsengeneration zurückgegriffen. Nach 45 aufeinander aufbauenden Schritten konnte der Wirkungsgrad der Düse so um etwa 40 % verbessert werden. Warum die resultierende Form einen höheren Wirkungsgrad hatte als die ursprüngliche Form, konnte erst später theoretisch nachvollzogen werden.

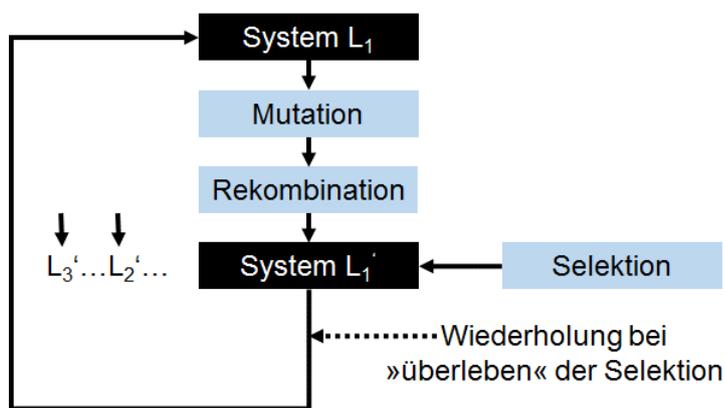


Abbildung 14: Abstrahiertes Schema der biologischen Evolution ((Nachtigall 2008), S. 43).

Zu nennen sind in diesem Zusammenhang auch sogenannte stochastische Strahlsuchen oder genetische Algorithmen ((Norvig und Russell 2012), S. 166 ff.). Ein Algorithmus ist eine Handlungsvorschrift, die aus definierten Einzelschritten besteht. Die lokale Strahlsuche beginnt ebenso wie das oben beschriebene Entwicklungskonzept, durch das eine Düse optimiert werden sollte, mit zufällig hergestellten Zuständen, für die anschließend Nachfolger erzeugt werden. Hieraus werden die »Besten« ausgewählt und der Ablauf wird wiederholt. Dabei wird jeder Zustand durch eine sogenannte Fitness-Funktion, die das Entwicklungsziel beschreibt, bewertet. Die Vorgehensweise unterscheidet sich dabei deutlich von einer Methode, die auf reinen Zufällen beruht, da die Nachfolger aus den bestehenden Elementen hergestellt werden und Information so vom Vorgänger an den Nachfolger übergeben wird. Während die stochastische Strahlsuche das Prinzip einer eingeschlechtlichen Vermehrung in der Natur kopiert, orientieren sich genetische Algorithmen am Prinzip der zweigeschlechtlichen Vermehrung, in dem zufällig ausgewählte Zustände in geeigneter Weise kombiniert werden, um einen Nachfolger zu erzeugen.

Wie ähnlich sind die hier beschriebenen Strategien den Prozessen, die in der biologischen Evolution ablaufen? Hier ist festzuhalten, dass mit stochastischen Variationen sowie einem Vererbungs- und Selektionsmodus wesentliche Aspekte der biologischen Evolution kopiert werden, dass sich der technische Entwicklungsprozess aber auch in diesem Fall durch eine menschliche Zwecksetzung von der biologischen Evolution unterscheidet.

In der biologischen Evolution entscheidet sich erst in der Auseinandersetzung mit einer komplexen Umwelt, zu der chemisch-physikalische Umgebungsbedingungen sowie Begegnungen mit Lebewesen der eigenen Art oder anderen Arten gehören, ob ein Lebewesen sich fortpflanzen kann oder nicht. In diesem Prozess verändern sich nicht nur die Lebewesen, auch die Umwelt verändert sich durch die Vielzahl der Veränderungen, die Lebewesen erfahren. Beispielsweise ist die heutige Zusammensetzung der Atmosphäre mit einem Sauerstoffgehalt von 21 Vol.-% eine Folge des Auftretens Photosynthese betreibender Lebewesen vor etwa 2 Milliarden Jahren. Die physikalisch-chemischen Umweltbedingungen, unter denen sich Lebewesen zu bewähren haben, sind zum Teil also selbst Resultat evolutionärer Veränderungen von Lebewesen.

Bei dem oben genannten Beispiel der Düse liegt im Gegensatz zur biologischen Evolution eine eindeutige Zwecksetzung vor. Diese konstituiert sich hier zwar nicht in den einzelnen Veränderungsschritten wie bei technischen Entwicklungen sonst, sondern im Selektionskriterium. Dieses bestand bei der Düse im Wirkungsgrad. Auch bei genetischen Algorithmen liegt eine menschliche Zwecksetzung vor, die durch die »Fitnessfunktion« vorgegeben wird. So erhält der Prozess durch die Wahl der Fitnessparameter eine Zielrichtung. Letzteres ist in der biologischen Evolution nicht der Fall, da hier unbestimmt ist, welche Eigenschaften zukünftig die Chancen der Vermehrung verbessern. Ob ein Lebewesen sich fortpflanzen kann oder nicht, hängt von vielen Einflüssen ab.⁶²

Auch wenn evolutionsbionische Strategien, wie gerade beschrieben, die biologische Evolution nur in Teilen nachahmen können, bringen sie doch neue Aspekte in die Technikentwicklung ein. Sie sind vor allem dann von Vorteil, wenn Systeme optimiert oder beschrieben werden müssen, die sich aufgrund ihrer Komplexität nicht simulieren oder planen lassen. So ist der Aktienmarkt mit seinen unvorhersehbaren Entwicklungen ein Anwendungsfall für evolutionäre Algorithmen. Auch können in manchen Fällen entwicklungs-bionische Ansätze, wie am Beispiel der Düsenentwicklung gezeigt wurde, zu überraschenden Ergebnissen führen, die die Tür zu neuen Entwicklungsrichtungen aufstoßen.

⁶² (Vgl. hierzu auch Vollmer 2017.

5.2 Evolutionäre Ökonomik und Evolutionsmanagement

Evolutionäre Ökonomik

Die Forschungsdisziplin »*Evolutionäre Ökonomik*«⁶³ versucht, evolutionäre Aspekte auf Wirtschaftsprozesse zu übertragen. Durch diese Vorgehensweise erhoffen sich die Ökonominen und Ökonomen, die Begrenzungen der klassischen und neoklassischen Ökonomie aufzuheben, deren Annahmen u. a. von stabilen Gleichgewichtszuständen ausgehen. In der Evolutionären Ökonomik wird im Gegensatz zur klassischen und neoklassischen Ökonomie von Nichtgleichgewichtszuständen ausgegangen, die zu gravierenden, nicht vorhersehbaren Veränderungen in der Wirtschaft führen können (Vollmer 2017). Dabei stehen selbstorganisierte Veränderungen im Zentrum der Forschungen, die sich mehr an internen Systemveränderungen als an Einflüssen durch externe Faktoren orientieren. Erste Ideen in diese Richtung lassen sich, wie Gerhard Vollmer schreibt, auf die Ökonomen Thorstein Veblen und Joseph Schumpeter zurückführen, deren Wirken dem späten 19. und frühen 20. Jahrhundert zuzuordnen ist. Der Forschungsansatz der Evolutionären Ökonomik hat in den letzten Jahren zunehmende Aufmerksamkeit erfahren.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Evolutionären Ökonomik ist dabei in der Regel bewusst, dass sie zwar Mechanismen, die auch in der biologischen Evolution relevant sind, auf ökonomische Fragestellungen anwenden, dass aber biologische Evolution und evolutionäre Ökonomik nicht identisch sind (Schütte 2016). Der Zusammenhang zum Evolutionsgedanken ist hier eher im Sinne eines allgemeineren Evolutionsbegriffs (vgl. Kapitel 3.3) zu verstehen, der wichtige Erkenntnisse über den Umgang mit Nichtgleichgewichtsprozessen liefern kann. Wie Gerhard Vollmer (Vollmer 2017) schreibt, handelt es sich bei den in Organisationstheorien verwendeten »*evolutionären Gesichtspunkten*« nicht um die »*biologische Evolutionstheorie*«, sondern um »*allgemeine Evolutionsideen*«, die sich beispielsweise auf den Umgang mit einer nicht vorhersehbaren Entwicklung beziehen. Er schreibt, dass die Anwendung evolutionärer Begriffe ein »*abstraktes Vokabular*« umfasst, das auf viele Bereiche angewandt werden kann und dass »*es sich [...] in der Regel wieder nur um Analogien handelt. [...] Weder sind die Objekte der Ökonomik die gleichen wie die der Evolutionsbiologie, noch sind es die Mechanismen der Variation oder der Auslese. In der Biologie erfolgen die Variationen durch Mutationen und Gen-Rekombination, in der Wirtschaft durch Innovationen. [...] Hinzu kommt, dass die Akteure in der Wirtschaft durchaus Vorstellungen über die Zukunft haben und diese in ihre Planungen einbeziehen können, was die Akteure der biologischen Evolution, also Pflanzen und Tiere, gerade nicht können. [...] Es empfiehlt sich nicht, die Ideenfindung [in der Wirtschaft] dem bloßen Zufall zu überlassen, auf den die Mutationen der biologischen Evolution angewiesen sind*« ((Vollmer 2017), S. 225 f.).

⁶³ Auch die Bezeichnung »evolutionäre oder Evolutionsökonomik« ist gebräuchlich ((Vollmer 2017), S. 220).

Evolutionsmanagement

Wie in Kapitel 1.2 bereits beschrieben wurde, finden sich zunehmend auch Angebote von Beratungsunternehmen, die die biologische Evolution auf die Entwicklung von Unternehmen übertragen wollen. Sie betrachten Unternehmen dabei wie Lebewesen, die Teil eines Ökosystems sind. Eines dieser Beratungsangebote ist das als »Evolutionsmanagement« bezeichnete, von Klaus Stephan Otto⁶⁴ entwickelte Konzept, mit dem »Prozesse der Natur und der Evolution auf das Handeln in der Wirtschaft übertragen und in konkreten Entwicklungsprozessen in Unternehmen angewandt« werden sollen ((Otto und Speck 2011), S. 285). Otto stellte sein Konzept u. a. 2009 auf der Konferenz »Darwin meets business« vor (Otto 2011) und schreibt im zugehörigen Konferenzband: »Unter Evolutionsmanagement verstehen wir eine Herangehensweise an das Management von Organisationen, bei der die Vorgänge in und zwischen Organisationen als Lebensprozesse betrachtet werden, die nach den gleichen oder ähnlichen Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten wie andere Prozesse in der Natur und im Evolutionsgeschehen ablaufen. Aus diesen vergleichbaren Naturprozessen kann man für die individuelle Handlungsebene des Managers und die Ebene der Organisationsprozesse und Unternehmensentwicklung lernen«. In seinem Beitrag bezeichnet er Unternehmen als »lebende Organismen«, die sich in einem ständigen Veränderungsprozess befindet, sodass die Entwicklung von biologischen Arten Aufschlüsse über die Entwicklung von »Branchen, neuen Technologien oder Produkten in der Wirtschaft« liefern kann. Er vergleicht dabei das Aussterben der Saurier vor 65 Millionen Jahren mit den Folgen der Wirtschaftskrise von 2009 und leitet daraus die Anpassungsfähigkeit an »veränderte Umfeldbedingungen« als entscheidendes Kriterium für den Erfolg eines Unternehmens ab.

Ob dem Ansatz des Evolutionsmanagements zuzustimmen ist, hängt davon ab, ob Wirtschaftsunternehmen als »Lebewesen« betrachtet werden können, die entstehen, wachsen, Entscheidungen treffen, Nachkommen haben und sterben. Die Autorinnen und Autoren teilen diese Annahme nicht und im Gegensatz zu seinem o. g. Tagungsbeitrag, in dem er Unternehmen als »lebende Organismen« bezeichnet, stellt auch Otto selbst in seinem Buch zum Thema »Evolutionsmanagement« (Otto et al. 2007) an verschiedenen Stellen heraus, dass es sich bei dem Vergleich lediglich um eine Metapher handelt. Allerdings wirft auch die metaphorische Gleichsetzung von Lebewesen und Unternehmen argumentative Probleme auf, die bei einer Übertragung biologischer Prinzipien auf das Management von Unternehmen zu berücksichtigen sind. Unklar bleibt beispielsweise, mit was ein Unternehmen verglichen werden soll, mit einem Ökosystem oder einem Lebewesen (vgl. hierzu Kapitel 3.4). So werden im o. g. Buch Unternehmen mit Lebewesen gleichgesetzt, während in einem Vortrag von Klaus Stephan Otto und Stefan Rösler (Otto und Rösler 2017) Unternehmen sowohl als Ökosysteme als auch als Akteure in einem Ökosystem aufgefasst werden.⁶⁵

⁶⁴ Klaus Stephan Otto ist promovierter Psychologe, Universitätsdozent und Geschäftsführer von Dr. Otto Training & Consulting in Schöneiche bei Berlin. Er gilt als Entwickler des Beratungsansatzes »Evolutionsmanagement« ((Otto und Speck 2011), S. 285).

⁶⁵ Im Vortrag wird auch ein Vergleich von Industrie 4.0-Konzepten mit Ökosystemen hergestellt. Begründet wird dieser Vergleich damit, dass mit Menschen und Maschinen biotische und abiotische Faktoren bei Industrie 4.0-Konzepten zusammenwirken. Diese Argumentation verkennt, dass das Zusammenwirken biotischer und abiotischer Faktoren in Ökosystemen etwas völlig anderes ist und sich auf den Austausch von Stoffen bezieht (vgl. Kapitel 3.4).

Vergleicht man Unternehmen mit Lebewesen, bleibt auch unklar, wie im Evolutionsmanagement Fortpflanzung vonstattengehen soll und was an wen vererbt wird (Vollmer 2017), S. 225). Wie Otto (Otto 2011) schreibt, sterben Unternehmen, indem sie insolvent oder illiquid werden. Die Fähigkeiten des Unternehmens gehen aber, wie Otto ausführt, dadurch nicht unbedingt verloren, sondern leben über die am Unternehmen beteiligten Menschen »in anderer Form bzw. an anderer Stelle« weiter. Die Fähigkeiten des ursprünglichen Unternehmens werden sozusagen »vererbt«. Otto vergleicht die Mitarbeiter eines Unternehmens mit Körperzellen ((Otto et al. 2007), S. 111); die Zellen eines mehrzelligen Lebewesens dienen jedoch nach dessen Tod allenfalls anderen als Nahrung, sie werden nicht als »Know-how-Träger« in andere Lebewesen integriert. Da Unternehmen eine Geschichte haben und sich entwickeln, lässt sich der Begriff Evolution in einer allgemeinen Form sicherlich auch auf Unternehmen anwenden; da Unternehmen jedoch keine Lebewesen sind, sondern sich aus Lebewesen (Menschen) konstituieren, ist die Evolution von Unternehmen von der biologischen Evolution zu unterscheiden.

Zu diskutieren ist auch die soziale Komponente des Evolutionsmanagements. Zwar versuchen sich Otto et. al. in einem eigenen Kapitel mit dem möglichen Vorwurf des Sozialdarwinismus auseinanderzusetzen ((Otto et al. 2007), S. 6 ff.) und distanzieren sich von sozialdarwinistischen Tendenzen, jedoch enthält ihr Managementansatz wichtige Aspekte, deren soziale Auswirkungen kritisch bewertet werden müssen. So werden Mitarbeiter sowohl mit Körperzellen⁶⁶ ((Otto et al. 2007), S. 11) verglichen als auch als Bestandteil des Stoffwechsels ((Otto et al. 2007), S. 80) betrachtet. Während der Vergleich mit einem Stoffwechselprodukt, das aufgenommen, verdaut und ausgeschieden wird, für sich spricht und nicht weiter diskutiert werden muss, sind die kritischen Aspekte beim Vergleich von Mitarbeitern mit Körperzellen nicht sofort ersichtlich. Körperzellen sind jedoch keine eigenständigen Lebewesen (wie Einzeller), sie sind Teil eines Lebewesens und ihr Leben ist ganz auf das Wohlergehen dieses Lebewesens ausgerichtet. Dass Menschen als Körperzellen betrachtet werden, kann deshalb nicht Ziel eines werteorientierten Managementansatzes sein. Kritisch zu bewerten ist auch das formulierte Verständnis von Führungsaufgaben. So schreiben Otto et. al., dass »eine der wichtigsten Aufgaben von Führungskräften [...] die Mitgestaltung der evolutionären Entwicklung des Unternehmens« ist ((Otto et al. 2007), S. 225). Dieses Verständnis sieht den Manager außerhalb des Evolutionsgeschehens und erinnert an die in Abbildung 4 zum Ausdruck kommende teleologische Sichtweise von Entwicklung (Kapitel 2). Otto spricht sich ebenfalls dafür aus, die in Kapitel 1.2 bereits kritisierte Orientierung am Verhalten von Tieren als Vorbild für Managementprozesse heranzuziehen ((Otto et al. 2007), S. 232 ff.).

5.3 »Künstliche Lebewesen«

Die in Hongkong ansässige Firma Hanson Robotics (Hanson Robotics 2018) stellt beeindruckende Roboter her, die auf der Homepage der Firma in verschiedenen Videos betrachtet werden können.

⁶⁶ »...wie die Zellen die kleinsten Lebenseinheiten des Organismus sind, erweisen sich schließlich die Mitarbeiter einer Organisation als basale und multifunktionelle Produktionseinheiten« ((Otto et al. 2007), S. 86).

Neben einem Roboter, der wie Albert Einstein aussieht, ist u. a. der Roboter »Sophia«⁶⁷ zu sehen, der über eine relativ ausgefeilte Mimik verfügt und mit Menschen sprechen kann. Oberflächlich betrachtet könnte man den Eindruck haben, dass Sophia eine Frau ist.

Die Idee, ein Lebewesen oder vielleicht sogar einen Menschen künstlich zu erzeugen, ist nicht neu. So führt Christoph Meinel (Meinel 2017) in einem Übersichtsartikel zur »Künstlichen Intelligenz« mehrere historische Literaturbeispiele an, die die Idee eines künstlichen Menschen aufgreifen, u. a. die Anleitung zur Herstellung eines Homunkulus⁶⁸, die Paracelsus zugeschrieben wird, Mary Shelleys Frankensteinmonster und E. T.A. Hoffmanns mechanischen Automat »Olimpia«⁶⁹. Den philosophischen Hintergrund für die genannten literarischen Werke sieht Meinel in einer auf die Naturwissenschaften zurückgehende Veränderung des Weltbildes, die dazu führte, Lebewesen mit Hilfe technischer Bilder zu beschreiben. Meinel zitiert hier René Descartes, der sich den Menschen als »eine Art Maschine [vorstellt], die aus Knochen, Nerven, Muskeln, Adern, Blut und Haut ... zusammengesetzt ist«,⁷⁰ eine Vorstellung, die auch den Gedanken nahelegt, tote Materie beleben zu können (Freyermuth 2015). Heute wird die Frage nach künstlich herstellbarem Leben oder der Imitationen von Eigenschaften, die Lebewesen zukommen, vor allem im Rahmen der Synthetischen Biologie und den Forschungen zur Künstlichen Intelligenz verfolgt.

Synthetische Biologie

In der Synthetischen Biologie werden sogenannte »Top-down«- und »Bottom-up«-Konzepte unterschieden. Während Top-down-Konzepte von einer lebenden Zelle ausgehen und versuchen, diese modular zu standardisieren (»BioBricks«) oder ihren Aufbau soweit wie möglich zu reduzieren (Minimalzelle), verfolgen Bottom-up-Konzepte das Ziel, Leben aus Unbelebtem »herzustellen«. Wie eine Protozelle, die aus chemischen Molekülen nachgebaut werden soll, aussehen kann, wird in einer Stellungnahme der deutschen Forschungsgemeinschaften acatech, Leopoldina und DFG zur Synthetischen Biologie definiert: »Sie sind im Labor konstruierte, selbst replizierende Nanosysteme, die viele Eigenschaften von lebenden Zellen aufweisen wie zum Beispiel das Vorhandensein eines mutierbaren Informationsspeichers, eines Stoffwechselsystems und einer umhüllenden Membran, die das System abgrenzt, [und] dennoch für den Austausch von Energie und Materie mit der Umgebung selektiv offen ist« ((Deutsche Akademie der Technikwissenschaften et al. 2009), S. 20).

Bei Anwendung dieser Definition auf die Arbeiten von Craig Venter (Weitze 2011), die in der Presse (Spiegel online 2010) z. T. als Schöpfung künstlichen Lebens beschrieben wurden, wird klar, dass es sich dabei keineswegs um künstliches Leben handelt, sondern nur um künstlich verändertes Leben. So wurde bei den Arbeiten von Venter ein synthetisches Chromosom in eine Zelle eingepflanzt und aktiviert. Künstlich erzeugt wurde nur die Sequenz des Genoms, das dann in eine von der Natur geschaffene entkernte Zelle integriert wurde (Rehmann-Sutter 2013). Künstliches Leben läge nur vor

⁶⁷ Ob hier der Begriff »Roboterin« oder »Roboter« angemessen ist, überlassen die Autorinnen und Autoren den zukünftigen Forschungen von Genderwissenschaftlerinnen und Genderwissenschaftlern. ☺

⁶⁸ Homunculus (lat. Menschlein).

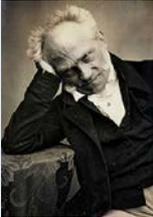
⁶⁹ Aus der Erzählung »Der Sandmann«; bekannt auch durch Jacques Offenbachs Oper »Hoffmanns Erzählungen«.

⁷⁰ Vgl. hierzu in Abbildung 13 die Darstellung des Menschen durch Fritz Kahn.

(Boldt 2013), wenn die Zelle vollständig aus unbelebtem Material hergestellt worden wäre und nicht, wenn schon vorher etwas Lebendiges vorliegt.

Zu der Frage, was künstliche Zellen sind, wenn es gelänge sie herzustellen, lassen sich unterschiedliche Aspekte anführen. Wie der o. g. Definition zu Prototozellen entnommen werden kann, handelt es sich, genau wie bei den Top-down-Konzepten, um einen technischen Prozess oder, wie Joachim Boldt mit Bezug auf Hannah Arendt schreibt, um den »*Handlungstypus des technischen Herstellens*«, der »*wesentlich von der Zweck-Mittel-Kategorie bestimmt*« wird (Boldt 2013). Die Zelle ist in diesem Fall ein Endprodukt, zu dem »*der Herstellungsprozess selbst nur ein Mittel war*« (Boldt 2013). Allerdings handelt es sich bei den Produkten auch um Lebewesen, denen man, wie anderen Lebewesen auch, einen »Selbstzweck« zuschreiben könnte. Thorsten Moos stellt in diesem Zusammenhang heraus, dass, sollte es gelingen, im Labor »*selbstreplizierende, stoffwechselnde, irritable Systeme*« herzustellen, die wir »*als Leben erkennen, dann werden diese Systeme im selben Moment aufhören, bloß Produkte, also im genannten Sinne ›künstlich‹ zu sein: eben da sie uns, die wir Leben sind, als Leben gegenüberreten*« (Moos 2014a).

Zitat 14 – Arthur Schopenhauer (1788 – 1860)



»*Jeder dumme Junge kann einen Käfer zertreten. Aber alle Professoren der Welt können keinen herstellen*«.

(Stark 2013)

Wie wahrscheinlich ist es jedoch, dass es gelingt, lebende Zellen aus toten chemischen Molekülen herzustellen? Während die Top-down-Ansätze, die von lebenden Zellen ausgehen und deshalb keine künstlichen Lebewesen im o. g. Sinne herstellen, bereits erfolgreich eingesetzt werden, ist es völlig ungewiss, ob es je gelingen kann, lebende Zellen

aus chemischen Molekülen herzustellen (Boldt 2013). Zweifel sind in diesem Fall berechtigt. Selbst wenn die Ansätze erfolgreich sind, ist es zumindest diskussionswürdig, ob wirklich davon gesprochen werden kann, dass es gelungen ist, künstliches Leben zu erschaffen. Joachim Boldt (Boldt 2013) zitiert in diesem Zusammenhang Andreas Brenner und schreibt, dass nicht von der »*Erschaffung von Leben, sondern nur von der Erschaffung von Bedingungen, unter denen Leben sich bildet, zu reden sei*« (Boldt 2013).

Künstliche Intelligenz

Während in der Synthetischen Biologie versucht wird, Lebewesen mit Hilfe der Stoffe zu generieren, die auch für existierende Lebewesen die materielle Grundlage bilden, wird bei Forschungsarbeiten zur Künstlichen Intelligenz (KI) der Versuch unternommen, menschliche Kognitionsleistungen mit Hilfe elektronischer Systeme zu imitieren oder zu ergänzen. Dabei ist zwischen zwei Ansätzen zu unterscheiden, die als starke und schwache KI bezeichnet werden. Ist von einer starken KI die Rede, ist davon auszugehen, dass Maschinen so etwas wie Verstand haben können, während bei einer schwachen KI die Ansicht vertreten wird, dass Maschinen echte Intelligenz nur simulieren und nicht wirklich darüber verfügen (Kaplan 2017). Ob so etwas wie starke KI möglich ist, ist ebenso wie die grundsätzliche Unterscheidung zwischen starker und schwacher künstlicher Intelligenz eine offene, umstrittene Frage.

So kommen auf der einen Seite die Autoren (Mannino et al. 2015) eines Konzeptpapiers, das die Chancen und Risiken zukünftiger KI-Systeme kommentiert, zu dem Schluss, dass »unter Expertenlinien ein relativ solider Konsens darüber [besteht], dass Maschinen prinzipiell über Bewusstsein verfügen können« und nennen hierzu eine Reihe von Literaturstellen. Als Begründung geben sie an, dass die Hardware von Computern zukünftig dem menschlichen Gehirn gleichen wird, ein Schluss, zu dem auch Karlheinz Meier (Meier 2007) kommt.

Auf der anderen Seite stoßen Computer bis heute sehr schnell an Grenzen, wenn sie nicht auf eine künstliche Welt, sondern auf die reale Welt mit ihren vielen alltäglichen Unwägbarkeiten treffen (Lenzen 2002). Ein wichtiger Aspekt ist dabei an die Symbole geknüpft, mit denen Computer zwar umgehen können, die aber für sie keine Bedeutung haben. Bei Menschen erhalten Symbole dagegen ihre Bedeutung »durch die Art, wie [sie] sie mit anderen Konzepten oder Objekten in der realen Welt verknüpfen« (Kaplan 2017). Jerry Kaplan (Kaplan 2017) schreibt in diesem Zusammenhang mit Bezug auf John Searle, dass in Computern »niemand zu Hause« sei (Kaplan 2017).

Die bekannteste Kritik aus dem Bereich der Philosophie kommt von dem 2017 verstorbenen Hubert Dreyfus, der in der Tradition phänomenologischer Philosophen wie Edmund Husserl, Martin Heidegger und Maurice Merleau-Ponty steht. Bei der Phänomenologie (Zahavi 2010) handelt es sich um eine philosophische Richtung, in der Phänomene, also unmittelbar gegebene Erscheinungen im Mittelpunkt stehen. Phänomenologie lässt sich auch als eine Art Gegenentwurf zur Naturwissenschaft auffassen, da in der Naturwissenschaft die Welt als Objekt betrachtet und, im Gegensatz zur Phänomenologie, nicht so verstanden wird, wie sie erscheint. In den Naturwissenschaften wird die Welt segmentiert, analysiert und auf hinter den Phänomenen liegende naturgesetzliche Zusammenhänge zurückgeführt.⁷¹ Unter anderem in seinem Buch »Was Computer nicht können« (Dreyfus 1989) setzt sich Dreyfus kritisch mit Forschungsansätzen der Künstlichen Intelligenz auseinander. Einen wesentlichen Punkt seiner Einwände macht er daran fest, wie ein Computer auf Veränderungen in seiner Umwelt reagieren kann, und wie Relevantes von Irrelevantem unterschieden wird. Für Dreyfus ist eine grundlegende Eigenschaft von Menschen, dass sie genau dies können, nämlich die Welt als Bedeutungszusammenhang auffassen und diesen Bedeutungszusammenhang als Hintergrundwissen, das ständig weiterentwickelt wird, zur Verfügung zu haben. Ein weiterer entscheidender Punkt ist für Dreyfus der menschliche Körper, so dass ein geeignetes Computermodell ebenfalls über so etwas wie Körperwahrnehmung verfügen müsste. Neuere Ansätze setzen deshalb im Gegensatz zu früheren KI-Konzepten auf lernfähige Systeme mit körperähnlichen Funktionen.

Ob Maschinen Bewusstsein oder sogar Gefühle entwickeln können, soll als Frage hier ausgeklammert werden, da es sich nicht zuletzt auch um eine weltanschauliche Frage handelt, deren Beantwortung davon abhängt, ob eine reduktionistische Vorstellung zur Welterklärung bevorzugt wird oder nicht. Die eingangs des Kapitels beschriebenen Roboter von Hanson Robotics zeigen jedoch, dass es unabhängig von der Antwort auf diese Frage aber Maschinen geben wird, die so wirken wie Lebewesen

⁷¹ Als sich gegenüberstehende Aspekte können beispielsweise auf der Seite der Phänomenologie das Erleben der Farbwahrnehmung »Grün« und auf der Seite der Naturwissenschaft den Ausdruck »elektromagnetische Welle der Wellenlänge 497–530 nm« genannt werden.

oder sogar wie Menschen. Diese Maschinen können den Eindruck vermitteln, als hätten sie Bewusstsein oder Gefühle. Die heute schon intensive Interaktion von Menschen und Maschinen, die in Kapitel 5.4 thematisiert wird, kann so eine neue Intensität erreichen.

Zitat 15 – Hubert L. Dreyfus (1929 – 2017)



»Ein System von Beziehungen ermöglicht es uns, die Gegenstände zu entdecken, wenn sie gebraucht werden. Darin sind wir zu Hause, es ist unsere Welt.«
(Dreyfus 1989), S. 210)

»Wenn man lernen will, wie sich Seide anfühlt, muss man lernen oder bereit sein, seine Hand auf eine bestimmte Weise zu bewegen und gewisse Erwartungen zu haben. [...] Dank der gefühlten Übereinstimmungen zwischen den einzelnen Wahrnehmungsfertigkeiten können wir denselben Gegenstand sowohl sehen als auch berühren. Damit ein Computer dasselbe fertigbringen könnte, müsste er darauf programmiert sein, eine besondere Liste der optischen Merkmale eines analysierten Gegenstandes aufzustellen und sie mit jener Liste zu vergleichen, die er erhält, wenn er den Gegenstand mit Rezeptoren abtastet. [...] Mein Körper ermöglicht mir, diese Analyse zu umgehen.«
(Dreyfus 1989), S. 198)

5.4 Menschen und Maschinen im »Parlament der Dinge«

»Beziehungen« zwischen Menschen und technischen Geräten

Technische Geräte sind aus dem alltäglichen Leben nicht wegzudenken. Am Morgen werden wir durch einen elektrischen Wecker geweckt, bereiten Kaffee mit einer Kaffeemaschine zu, lesen beim Frühstück auf einem Tabletcomputer die Tageszeitung, fahren anschließend mit dem Auto oder öffentlichen Verkehrsmitteln zur Arbeit und verwenden dort je nach Beruf unterschiedliche technische Geräte. Abends treiben wir Sport und benutzen vielleicht auch hierzu ein technisches Mittel wie ein Fahrrad oder ein Übungsgerät in einem Sportstudio. Vor dem Schlafengehen schauen wir uns eventuell noch die Spätnachrichten im Fernsehen an, und auch während des Schlafes wacht ein Rauchmelder über unsere Sicherheit.

Dass Technik aus dem Leben von Menschen nicht mehr wegzudenken ist, kann mit Blick auf die gerade beschriebene technische Omnipräsenz sogar noch als Untertreibung aufgefasst werden – vielmehr scheint sie, wie Arnold Gehlen und Langdon Winner bemerken, Menschen geradezu zu »umhüllen« (Nordmann 2015). So vergleicht Gehlen Menschen mit Schalentieren, bei denen die Schale aus den verwendeten technischen Geräten besteht und bemerkt dabei, dass technische Elemente inzwischen zu unserem biologischen Leben dazugehören (siehe hierzu Zitat 12 in Kapitel 4.3). Winner (Winner 2001; Nordmann 2015) schreibt, dass Technik bei regelmäßigen Gebrauch ihren Werkzeugcharakter verliert und ein Teil des »Menschseins« wird (Zitat 16). Technik entwickelt sich also zu einer Lebensart, die menschliche Verrichtungen und materielle Konstrukte miteinander koppelt.

Zitat 16 – Langdon Winner (*1944)



»As they become woven into the texture of everyday existence, the devices, techniques and systems we adopt shed their tool like qualities to become part of our very humanity. In an important sense, we become the beings who work on assembly lines, who talk on telephones, who do our figuring on pocket calculators, who eat processed foods, who clean our homes with powerful chemicals. Of course, working, talking, figuring, eating, cleaning and such things have been parts of a human activity for a long time. But technological innovations can radically alter these common patterns and on occasion generate entirely new ones, often with surprising results«.

((Winner 2001), S. 12)

Die Kopplung menschlichen Lebens mit technischen Geräten kann bildlich auch mit dem in Kapitel 4 bereits eingeführten Begriff eines »Parlaments der Dinge« beschrieben werden, den Alfred Nordmann auf Bruno Latour und Alexander Kluge zurückführt. Kluge verwendete den Begriff in Zusammenhang mit der ersten Weltausstellung von 1851 und die dort präsentierten technischen Geräte, während Bruno Latour ihn einsetzt, um einen neuen Aspekt in die politische Ökologie⁷² einzubringen. Latour verwendet den Begriff »Parlament« als Metapher zur Repräsentation eines Interessensausgleichs ((Latour 2001), S. 103 ff., S. 303 f.). Innerhalb dieser Metapher schlägt er vor, ein Parlament, das sich bei konventioneller Betrachtung aus den Parlamentskammern »Natur« und »Gesellschaft« zusammensetzt, durch eine Parlamentskammer zu ersetzen, der sowohl belebte als auch unbelebte Dinge wie technische Geräte angehören. Er wendet sich dabei gegen eine Sichtweise, die Menschen als reine Subjekte und unbelebte Dinge als reine Objekte auffasst. Soziales Handeln führt er auf »Assoziationen von menschlichen und nicht-menschlichen Wesen zurück« ((Latour 2001), S. 304), die er, da sie agieren und interagieren, mit dem wohl von ihm selbst erdachten Begriff »Aktanten« bezeichnet. Latour will zum Ausdruck bringen, dass die Welt nicht verstanden werden kann, wenn sie gedanklich in handelnde menschliche Subjekte und unbelebte Geräte als Objekte unterteilt wird und geht deshalb von einem Kollektiv aus Beiden aus. Ein solches Verständnis, das auch unbelebten Dingen »Handlungen« zuschreibt, erscheint zunächst befremdlich. Wichtig ist hier, dass das, was Latour unter Handeln oder Agieren versteht, sich von dem unterscheidet, was normalerweise mit diesen Begriffen gemeint ist. Wenn Dinge »handeln«, bedeutet das für ihn nicht, dass sie so etwas wie einen freien Willen haben, sondern dass sie wie Kräfte auf andere Dinge oder Menschen einwirken ((Greif 2005), S. 52 ff.). Der Zusammenhang wird deutlicher, wenn berücksichtigt wird, dass der Ausdruck »Parlament der Dinge« eine große Ähnlichkeit mit dem heute gebräuchlichen Ausdruck »Internet der Dinge« oder »Internet of Things« aufweist, worunter die »Kommunikation« von Geräten über ein digitales Netz zu verstehen ist (Neumann 2016). Auch dieser Begriff soll zum Ausdruck bringen, dass die beteiligten Geräte eine aktive Rolle einnehmen.

⁷² Bruno Latour ((Latour 2001), S. 296) bezeichnet als »politische Ökologie« ein »Verständnis der ökologischen Krisen, das zur Berücksichtigung der anstehenden Aufgaben die Natur [...] nicht mehr verwendet«.

Bei den Geräten, denen Latour mehr oder weniger Akteurscharakter zuschreibt, handelt es sich noch um konventionelle Geräte, bei denen es schwerfällt, sie als wirkliche Akteure zu begreifen. Zukünftig wird es jedoch immer mehr technische Geräte geben, die zumindest so wirken, als ob Handlungen von ihnen ausgehen, die auf den ersten Blick den Handlungen von Lebewesen ähneln. Bei diesen Geräten handelt es sich um sogenannte »lernende Maschinen« oder »lernende Agenten«, die im Folgenden beschrieben werden.

Maschinen als Akteure

Im Gegensatz zu den in Kapitel 5.3 beschriebenen Bemühungen, Computersysteme mit Bewusstsein zu erzeugen, versuchen sogenannte »Agenten« oder »agents« weniger komplexe, aber effektive kognitive Leistungen zu simulieren. Dabei handelt es sich um Programme, die in gewissem Umfang zu eigenständigem Verhalten fähig sind. Agenten sollen ihre Umwelt »erkennen« und sich im Raum orientieren können (Lenzen 2002). Um in der realen Welt agieren zu können, werden sie ggf. auch mit einem Körper ausgestattet. Mit Hilfe von Sensoren nehmen sie ihre Umwelt wahr und ihr Verhalten orientiert sich an Messwerten (Lenzen 2002). Ein sogenannter »rationaler Agent« ist dabei ein System, das sich so verhält, dass das beste erwartete Ergebnis erzielt wird ((Norvig und Russell 2012), S. 25). Es verfügt über Sensoren zur Wahrnehmung der Umgebung und Aktuatoren, um handeln zu können. Sein Verhalten wird durch die sogenannte Agentenfunktion⁷³ beschrieben, die eine Wahrnehmungsfolge auf eine Aktion abbildet ((Norvig und Russell 2012), S. 60). In einem Lehrbuch zur Künstlichen Intelligenz von Peter Norvig und Stuart Russel (Norvig und Russell 2012) werden einfache Reflexagenten, modellbasierte Reflexagenten, zielbasierte Agenten, nutzenbasierte Agenten und lernende Agenten unterschieden. Dabei gelten die folgenden Unterscheidungsmerkmale: Einfache Reflexagenten ((Norvig und Russell 2012), S. 76 ff.) agieren auf Grundlage einer aktuellen Wahrnehmung und ignorieren den zeitlichen Verlauf ihrer Wahrnehmungen, während modellbasierte Reflexagenten über so etwas wie einen »internen Zustand« verfügen, in dem sich auch die Abfolge der Wahrnehmungen widerspiegelt. Hierdurch können auch Dinge berücksichtigt werden, die die Sensoren gerade nicht erfassen. Im Falle eines selbstfahrenden Autos reagiert der einfache Reflexagent nur auf die unmittelbaren Signale der Sensoren, beispielsweise darauf, dass ein anderes Fahrzeug unmittelbar vorausfährt. Auf ein Fahrzeug, das gerade noch vorausgefahren ist, aktuell aber nicht von den Sensoren erfasst wird, da es sich in einem toten Winkel befindet, kann der Reflexagent nicht reagieren, der modellbasierte Agent jedoch schon. Er verfügt durch den Rückgriff auf die vorangegangenen Sensorsignale über die Information, dass das andere Fahrzeug sich noch in der Nähe befinden muss und kann dies bei seinen Aktionen berücksichtigen. Zielbasierte Agenten ((Norvig und Russell 2012), S. 81 ff.) verfügen neben einer aktuellen Zustandsbeschreibung auch über Informationen zum Ziel, das angestrebt werden soll, und gleichen den Status der Zielerreichung mit ihren Handlungen ab, beispielsweise mit der Adresse, zu der das Fahrzeug fahren soll. Nutzenbasierte Agenten ((Norvig und Russell 2012), S. 82) differenzieren zwischen verschiedenen Zielen und führen

⁷³ »Die Agentenfunktion ist eine abstrakte mathematische Beschreibung; das Agentenprogramm ist eine konkrete Implementierung, die innerhalb eines physischen Systems ausgeführt wird« ((Norvig und Russell 2012), S. 61).

eine Leistungsbewertung mit Hilfe eines »Leistungselementes« durch. Sie optimieren damit den Nutzen. Dabei wägen sie ggf. unterschiedliche Ziele für das Fahrzeug wie Schnelligkeit und Wohlbefinden des Fahrgastes gegeneinander ab.

Lernende Agenten ((Norvig und Russell 2012), S. 83 ff.) haben den Vorteil, dass sie nicht fertig und perfekt programmiert werden müssen, damit sie sich in einer komplexen, sich ständig verändernden Umgebung zurechtfinden. Der schematische Aufbau eines solchen lernenden Agenten ist in Abbildung 15 dargestellt.

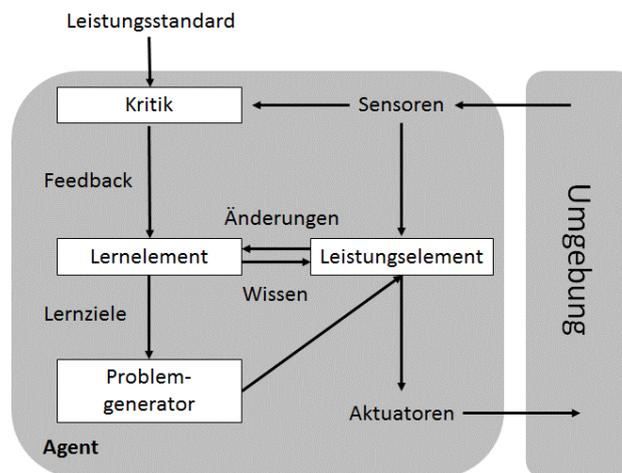


Abbildung 15: Schema eines »Lernenden Agenten« ((Norvig und Russell 2012), S. 83).

Lernende Agenten verfügen über ein sogenanntes »Lernelement«, das mit einem Leistungselement interagiert, welches auch in nutzenbasierten Agenten schon enthalten ist. Das Leistungselement bewertet den Nutzen und gibt diesen als Feedback an das Lernelement weiter. Das Lernelement kann Änderungen an der Programmierung der anderen Agentenkomponenten vornehmen. Ein lernender Agent in einem selbstfahrenden Auto könnte auf diesem Wege lernen, wie sich die Bremswirkung in Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen verändert. Ein solches kognitives System bildet seine Umwelt nicht ab, sondern konstruiert seine eigene Umwelt. Entscheidend ist nicht, dass das System wahre Zusammenhänge erkennt, sondern welchen Erfolg es in seiner Umwelt hat (Lenzen 2002). Beispiele für lernende Agenten gibt es viele. So beschreibt Ines Bruckschen (Bruckschen 2017) in ihrem Artikel »*Denkende Maschinen*«, wie Maschinen sich auf ihre Umgebung einstellen, Handlungen »planen«, auf Hindernisse reagieren und mit Menschen kommunizieren können. Sie führt aus, wie Maschinen auf Basis von Beispieldaten Aufgaben lösen und dabei für zukünftige Aufgaben lernen. Als Beispiel nennt sie den Serviceroboter Paul, der im Einzelhandel Kunden begrüßen, sie nach ihren Produktwünschen fragen und zum richtigen Regal begleiten kann. Der Roboter erkennt auch Puls, Stimme, Gestik oder Bewegung von Menschen und kann so auf unterschiedliche Stimmungen eingehen. In eine vergleichbare Richtung, in der Roboter auf Emotionen von Menschen eingehen, geht die Geschäftsidee, sogenannte Sexroboter anzubieten (Richardson 2017). Ein weiteres Beispiel, das noch Gegenstand der Forschung ist, sind künstliche Bienen (Wood et al. 2015), die zum Bestäuben von Blütenpflanzen eingesetzt werden sollen. Die Herausforderungen an eine solche Entwicklung sind enorm, da sowohl das Flugverhalten der Bienen als auch ihre Kommunikations- und

Anpassungsfähigkeit nachgestellt werden müssen. Letzteres ist von entscheidender Bedeutung, da neben dem Verhalten der einzelnen künstlichen Biene auch das Verhalten des Schwarms eine wichtige Rolle spielt. Ob die Entwicklung gelingen kann, ist unklar, auch weil eine Energieversorgung der künstlichen Bienen über einen ausreichend langen Zeitraum ein ungelöstes Problem darstellt.

Bei der Entwicklung selbstlernender Systeme ist ein Vergleich mit dem Verhalten von Lebewesen in komplexen Umwelten und eine Betrachtung der biologischen Prozesse, die dieses Verhalten unterstützen, hilfreich. Hier finden sich bereits bei den einfachsten bekannten Lebewesen, den Einzellern, komplexe Mechanismen, die Kooperations- und Konkurrenzverhalten zulassen (Lengeler et al. 1999). Wie Einzeller in ihrer Umgebung agieren, wird in Exkurs 3 beschrieben.

Zukünftig werden Menschen sowohl im Privatleben als auch in der Produktion mit lernfähigen Maschinen verschiedenster Art zusammenarbeiten. Da sich die Fähigkeit der Maschinen dabei auf eine neue, lernende Art und Weise entwickelt, werden sich auch die Beziehungen zwischen Menschen und Maschinen erheblich verändern. Sie werden vor allem dann intensiver, wenn die Geräte Menschen oder Tieren ähneln. In solchen Fällen bauen Menschen, wenn auch einseitig, persönliche Beziehungen zu technischen Geräten auf. *»Sie reagieren so, als ob das System, mit dem sie konfrontiert sind, Bewusstsein hätte, als ob es Wünsche und Überzeugungen, Interessen und Emotionen hätte. [...] Mit etwas, das aussieht wie ein Mensch, geht man um wie mit einem Menschen«* (Lenzen 2002). Letzteres kann man sich selbst leicht mit Hilfe eines Videos⁷⁴ anschaulich machen, in dem gezeigt wird, wie ein Roboter des Unternehmens Boston Dynamics von seinen Entwicklern »gemobbt« wird (Delius 2016). Trotz des Wissens, dass es sich bei dem Roboter nicht um ein fühlendes Wesen handelt, stellt sich bei der Betrachtung der Bilder entweder ein mitleidiges oder schadenfrohes Gefühl ein. In diesem Zusammenhang ist es wichtig herauszustellen, dass es sich bei lernenden Maschinen nicht um Lebewesen handelt und dass auch die Systeme, die aus Geräten und Maschinen oder aus Menschen und Maschinen aufgebaut werden, nicht »lebendig« sind. Lernende Maschinen oder Maschinenverbände sollten deshalb auch nicht als »lebende Maschinen« oder »lebende Systeme« bezeichnet werden.

Besser ist es, einen soziotechnisch geprägten Systemansatz zu verwenden, wie ihn beispielsweise Günter Ropohl ((Ropohl 2009), S. 305 ff.) zur Beschreibung der Interaktionen von Menschen mit technischen Systemen vorgeschlagen hat. Ropohl untersucht in seinem systemtheoretischen Ansatz auch Beziehungen zwischen technischen Sach- und menschlichen Handlungssystemen. Unter einem Sachsystem versteht Ropohl *»nutzenorientierte, künstliche Gebilde«* ((Ropohl 2009), S. 117), während ein Handlungssystem alles Erforderliche umfasst, damit Handlungen zustande kommen ((Ropohl 2009), S. 94). Durch Wechselwirkung von Handlungssystemen mit technischen Sachsystemen bilden sich soziotechnische Systeme aus, die aus Kombinationen von Apparaten, Menschen und anderen Dingen bestehen (Nordmann 2015). Handlungen, die sonst von Menschen durchgeführt werden, werden von Sachsystemen übernommen (Substitution) oder es erfolgen neue Handlungen, die von Menschen bisher nicht ausgeführt werden konnten (Komplementation) (Ropohl 2009) (vgl. Kapitel 4).

⁷⁴ <https://www.zeit.de/video/2016-02/4773798140001/innovation-auch-ein-roboter-muss-sich-mobbing-nicht-gefallen-lassen> Abgerufen am 26.04.2018.

5.5 Exkurs 3: Einzeller als Vorbild für »lernende« Agenten



Abbildung 16: Pantoffeltier
(Quelle: shutterstock)

Einzellige Lebewesen wie Amöben, Pantoffeltierchen oder Bakterien verfügen über Fähigkeiten, die zum Teil an kognitive Fähigkeiten bei höheren Lebewesen erinnern. Sie unterscheiden sich dabei in ihrer Reizverarbeitung deutlich von einfachen »Reflexagenten« (Roth 2010). Einzeller vollbringen diese Leistungen, ohne über ein Nervensystem zu verfügen, mithilfe von Reizen physikalischer oder chemischer Art (Ebbecke 1952). Dabei reagieren sie mit ihren Bewegungen (Taxien) auf bestimmte Einflüsse der Umgebung und bewegen sich entweder in Richtung des Reizzentrums

(positive Taxis) oder entfernen sich von diesem (negative Taxis) (Pringsheim 1910).

Pantoffeltierchen orientieren sich mit Hilfe eines lichtempfindlichen Rezeptors, dem sogenannten Stigma, am Licht (Phototaxis) und suchen aktiv günstige Lichtverhältnisse auf (Häder 1987). Weitere Orientierungshilfen sind die Schwerkraft, so dass die Zelle sich im Dunkeln entgegen der Schwerkraft zur Wasseroberfläche bewegen kann (Häder 1987) oder chemische Gradienten von Nahrungsbestandteilen (Chemotaxis). Stößt ein Pantoffeltierchen auf ein Hindernis, kehrt es sofort um und schwimmt in die entgegengesetzte Richtung weiter. Hierzu sind in der Membran des Pantoffeltierchens sogenannte »mechanosensitive« Calcium-Kanäle vorhanden. Diese öffnen sich bei einem Stoß und verursachen die Depolarisation der Membran. Die außen sitzenden und für die Bewegung verantwortlichen »Cilien« ändern hierdurch die Schlagrichtung und das Pantoffeltierchen seine Schwimmrichtung (Roth 2010; Kühn 1919).

Formveränderliche Amöben bewegen sich ohne das Vorhandensein von Reizen gleichmäßig und ungerichtet in alle Richtungen (Mast 1926; Schäfer 2012). Finden Amöben keine ausreichende Nahrung, sind sie darauf angewiesen, andere Zellen aufzusuchen und mit ihnen zu aggregieren. Hierzu orientieren sie sich an chemischen Lockstoffen (Levchenko und Iglesias 2002), die zu Beginn einer Hungerphase periodisch von einigen Zellen abgegeben werden. Durch Wechselwirkung mit umgebenden Zellen kommt es dabei zu einem chemischen Gradienten, der es den Zellen ermöglicht, sich in Richtung steigender Konzentration zu orientieren (Siegert und Steinbock 2008; Schaap et al. 1984). Es bildet sich ein vielzelliger Verband, der sich in Richtung Licht orientiert (Bonner 1995).

Amöbenartige Einzeller, wie der Schleimpilzvertreter *Physarum polycephalum*, können sich in einem Labyrinth orientieren (Nakagaki 2001). Im Experiment wurde der Verbund aus Einzellern hierzu in mehrere Stücke zerteilt und an verschiedenen Stellen im Labyrinth ausgesetzt. Nach kurzer Zeit füllte er das Labyrinth gleichmäßig aus und wuchs wieder zusammen. Werden im Anschluss zwei Futterquellen an den Ausgängen des Labyrinths deponiert, ist der Einzeller in der Lage, sich für den kürzesten Weg zu entscheiden und Sackgassen zu meiden (Weiden 2004; Langenbach 2012). Sein »räumliches Gedächtnis« basiert auf der Ausscheidung von Glykoproteinen bei der Fortbewegung. Stößt er auf seinen eigenen Schleim, meidet er den Ort, den er schon erkundet hat. Auf diese Weise ist der Schleimpilz in der Lage, ein »Problem zu lösen«, an dem manche Roboter scheitern: Er kann Hindernisse umgehen. Das räumliche Gedächtnis von mobilen Robotern wird auf ähnliche Weise getestet (Langenbach 2012; Reid et al. 2012).

5.6 Technik im Menschen

Im vorangegangenen Kapitel wurden Interaktionen zwischen Menschen und technischen Geräten beschrieben, bei der sich die technischen Geräte außerhalb des menschlichen Körpers befinden. Im vorliegenden Kapitel soll die Frage diskutiert werden, welche Aspekte zu beachten sind, wenn technische Geräte in den menschlichen Körper implantiert werden. Lässt man direkte Eingriffe in das Gehirn, auf die später noch eingegangen wird, zunächst außen vor, reichen die Möglichkeiten hier von Herzschrittmachern über Ersatzteile für Gelenke, künstliche Arme oder Beine bis hin zu Implantaten aus Silikon. Der menschliche Körper wird in diesen Fällen wie eine Maschine betrachtet, da funktionale Körperteile durch künstlich hergestellte Komponenten ersetzt werden. Wie die im sechzehnten Jahrhundert konzipierte eiserne Hand des Ritters Götz von Berlichingen belegt, ist ein solcher Ersatz von Körperteilen durch technische Geräte nicht neu; im Laufe der Zeit erfolgte jedoch eine immer besser werdende Anpassung der Prothesen an den Körper. So verfügte die Prothese von von Berlichingen im Vergleich zu früheren Prothesen bereits über komplexe mechanische Funktionen (Freyermuth 2015). Inzwischen können moderne Hightech-Prothesen sogar mit dem Muskel- oder Nervensystem gekoppelt werden (Meyer 2015; Graitman 2015). Forscher arbeiten auch an Prothesen, die dem Träger eine sensorische Rückmeldung geben und so haptische Empfindungen über die Prothese ermöglichen sollen (Kwok 2015).

Mit der grundsätzlich vorhandenen Möglichkeit, Teile des menschlichen Körpers durch technische Produkte zu ersetzen, rückt Technik immer mehr an den Menschen heran und verändert möglicherweise sogar den Menschen selbst. Eine bisher vor allem in der Science-Fiction-Literatur diskutierte Variante technisch veränderter Menschen sind sogenannte »Cyborgs«. ^{75,76} Dabei handelt es sich um fiktive kybernetische Wesen, die eine Zwischenstellung zwischen Mensch und Technik innehaben (Clausen 2015). Das Cyborg-Konzept spielt auch in transhumanistischen Visionen eine Rolle, in denen die Entwicklungsstufe des Homo sapiens von einer neuen Spezies abgelöst wird, die aus einer Verschmelzung von Mensch und Technik hervorgeht (Coenen 2015; Freyermuth 2015)⁷⁷. Wie Alfred Nordmann (Nordmann 2015) schreibt, ist jedoch auch ein weitgehend aus mechanischen Ersatzteilen, Schrittmachern, Implantaten und Prothesen zusammengesetzter Mensch immer noch ein Mensch und keine Maschine, weil sein Antrieb in ihm selbst steckt. Michael Cuntz (Cuntz 2014) vergleicht implantierte Elemente eher mit der Rolle von Parasiten, die als Störung aber nicht schwer genug wiegen, um die Funktionsweise des Organismus aufzuheben.

Wie zum Schluss des vorangegangenen Kapitels 5.4 beschrieben wurde, liegt bereits bei gewöhnlichen technischen Geräten eine enge »Beziehung« zwischen Mensch und Technik vor. Ein besonders eingängiges Beispiel für eine Beziehung, bei der das technische Element in körperliche Prozesse zur Fortbewegung einbezogen wird, ist das Fahrradfahren (Clausen 2015). Hat ein Mensch das Fahrradfahren einmal erlernt, wirken Fahrrad und Mensch nahezu wie eine Einheit, in der der menschliche

⁷⁵ Im Wort Cyborg werden die englischsprachigen Begriffe »cybernetic« und »organic« verbunden (Freyermuth 2015).

⁷⁶ Vgl. hierzu die Homepage der »Gesellschaft zur Förderung und kritischen Begleitung der Verschmelzung von Mensch und Technik cyborg e.V.« <https://cyborgs.cc> (Cyborgs e.V. 2018).

⁷⁷ vgl. hierzu auch Exkurs 1 zur NBIC-Debatte.

Fahrer nicht einfach nur der Lenker eines Fahrzeugs ist. Während beispielsweise bei einem Auto die wesentlichen Komponenten nach der Fertigung vollständig vorliegen, fehlt beim konventionellen Fahrrad die Systemkomponente des Motors – Motorleistung wird durch den Fahrer übernommen (Kuß 2014). Weiterhin geht der Entschluss des Fahrers, in eine bestimmte Richtung zu fahren, automatisch mit einer entsprechenden Gewichtsverlagerung und Lenkbewegungen einher, sodass Körperbewegung und technisches Gerät aufeinander abgestimmt sind. Jens Clausen (Clausen 2015) nennt diese Mensch-Fahrrad-Beziehung »eine Integration des Artefakts in das Selbstkonzept des Nutzers, zu dem nun die Vorstellung von sich selbst als jemandem gehört, der in der Lage ist, Fahrrad zu fahren«. Solche Selbstkonzepte sind von besonderer Wichtigkeit, wenn technische Geräte in den menschlichen Körper integriert werden.

Ein Entwurf für ein »phänomenales Selbstmodell« stammt von dem Philosophen Thomas Metzinger (Lenzen 2002; Metzinger 2015). Metzinger beschreibt in seiner Theorie das Selbstmodell als repräsentationale Struktur, die kontinuierlich Informationen aus dem Körper erhält und bei bewusstem Erleben aktiv ist (Lenzen 2002). Was er darunter versteht, macht er mit Hilfe des sogenannten »Gummihand-Experiments« deutlich, das eindrucksvoll zeigt, dass Menschen fremde Gegenstände als Bestandteil ihres Körpers wahrnehmen können. Im Gummihand-Experiment sieht die Versuchsperson das Imitat einer menschlichen Hand vor sich liegen, während ihre eigene Hand verdeckt ist. Sowohl die sichtbare, künstliche als auch die unsichtbare, echte Hand werden wiederholt gleichzeitig berührt. Schon nach kurzer Zeit glaubt die Versuchsperson auch eine Berührung zu spüren, wenn nur die künstliche Hand berührt wird, sie nimmt die künstliche Hand als Teil ihres körperlichen Selbst wahr. »Was sich [in der Theorie von Metzinger] während dieses Versuchs ändert, ist der Inhalt des phänomenalen Selbstmodells« im Gehirn des Teilnehmers« (Metzinger 2015). Metzinger vermutet, dass es prinzipiell möglich sein muss, das menschliche Selbstmodell auch an künstliche Sinnesorgane zu koppeln, was neue Verbindungsmöglichkeiten zwischen Menschen und technischen Geräten wie Robotern eröffnet. Als Beispiel führt er Experimente von Ori Cohen und Doron Friedman an, die gezeigt haben, dass es mit Hilfe der Magnetresonanztomografie möglich ist, Bewegungsvorstellungen einer Versuchsperson auszulesen. Wenn die Wahrnehmung der Versuchsperson mit den Sensoren eines Roboters gekoppelt ist, können die ausgelesenen Gedanken in digitale Informationen übersetzt und an den Roboter übertragen werden, der die vorgestellte Bewegung durchführt. Sollte es möglich sein, dieses Prinzip über eine direkte Gehirn-Computer-Schnittstelle zu nutzen, wäre dies vermutlich auch mit einer grundlegenden Veränderung im menschlichen Selbstmodell verbunden, die auch weitreichende kulturelle Konsequenzen haben würde. Beispielsweise führt die Identifikation eines Menschen mit einem Roboter oder Avatar, der größer ist als der Mensch selbst, zu aggressiverem Verhalten (Metzinger 2015).

Eine direkte Wechselwirkung elektronischer Bauteile mit dem Gehirn ist bereits möglich. Als Beispiele können sogenannte »Cochlea-Implantate« und die tiefe Hirnstimulation (THS) genannt werden (Clausen 2015). Cochlea-Implantate werden bei Gehörlosen verwendet und in das Innenohr eingepflanzt, um den Hörnerv zu stimulieren. Dabei werden die von einem Mikrofon aufgenommenen Töne in elektrische Signale übertragen, die über den Hörnerv an das Gehirn weitergegeben werden. Bei der tiefen Hirnstimulation werden dagegen chirurgisch Elektroden in bestimmte Bereiche des Gehirns eingebracht, um beispielsweise Symptome der Parkinsonkrankheit durch elektrische Impulse

zu mildern. Erforscht werden auch Anwendungen im psychiatrischen Bereich wie bei schweren Depressionen oder zur Steuerung von Prothesen durch geeignete Gehirn-Computer-Schnittstellen (Clausen 2015).

Separat zu bewerten und von der Behandlung von Erkrankungen zu unterscheiden ist das sogenannte »Neuroenhancement«. Dabei handelt es sich um neurotechnische Eingriffe im Gehirn, die das Ziel haben, mentale Fähigkeiten zu verbessern (Merkel 2015). Neuroenhancement lässt sich als erweiterte Form eines heute bereits oft angewendeten pharmakologischen Enhancements auffassen, für das Substanzen wie Ritalin, Modafinil und Amphetamine verwendet werden, um auf die mentalen Eigenschaften von Menschen einzuwirken (Merkel 2015). Methoden des Neuroenhancements werden deshalb analog zu Pharmazeutika auch als Elektrozeptika bezeichnet (Clausen 2015). Eine Möglichkeit, mit der bereits bei gentechnisch veränderten Mäusen bestimmte Verhaltensweisen ausgelöst werden konnten, ist die Stimulation einzelner Hirnzellen mit Licht. Grundsätzlich lassen sich so irgendwann auch einmal Konzentration, Gedächtnis und Entscheidungsfähigkeit bei Menschen beeinflussen (Merkel 2015).

Grundsätzlich kann zwischen externen und internen Enhancements unterschieden werden. So haben Menschen, wie in Kapitel 5.4 gezeigt wurde, schon immer ihre Fähigkeiten durch externe Maßnahmen mit technischen Mitteln verbessert; interne Enhancements als Eingriffe an einer Person selbst sind dagegen relativ neu (Merkel 2015). Ein Beispiel für externes Enhancement stellt das Smartphone dar, das durch seinen ständigen Gebrauch, wie andere Werkzeuge auch, längst in das Selbstkonzept von Menschen integriert wurde. Eine Gehirn-Computer-Schnittstelle, die dazu verwendet werden würde, eine Armprothese zu steuern, wäre hiervon nicht grundsätzlich verschieden und hätte ebenfalls Werkzeugcharakter. Neurostimulierende Elektrozeptika sind jedoch anders zu bewerten, da der Mensch als Akteur und der Werkzeugcharakter des technischen Elements nicht mehr eindeutig voneinander zu trennen sind. So verbleiben bei der tiefen Hirnstimulation die Elektroden im Gehirn eines Patienten und sind kontinuierlich aktiv. Der Patient hat, sofern die Elektroden nicht wieder entfernt werden, keinen Einfluss auf die Aktivität des technischen Elements (Clausen 2015). Jens Clausen (Clausen 2015) schreibt hierzu: *»Denn die Elektroden sind in die elektrophysiologischen Prozesse des Gehirns und die damit verbundenen neuronalen Funktionen integriert. Die Technik als das ursprünglich Andere wird damit Teil des Menschen selbst. Das in immaterieller Hinsicht klar vom Menschen abgrenzbare Artefakt wird zu einem Bestandteil seines Selbstverständnisses«.*

5.7 Muskelbetriebene Roboter

Im Jahr 2005 erschien im Magazin *Nature Materials* ein Artikel, der von Carlo Montemagno⁷⁸ und seinem Team veröffentlicht wurde und in dem ein mikromechanisches Robotersystem beschrieben wird, das aus mechanischen Bauteilen und lebenden Muskelzellen besteht (Xi et al. 2005).⁷⁹ Zur Fertigung des Roboters ging die Gruppe folgendermaßen vor: Um das Skelett des Roboters aufzubauen,

⁷⁸ Carlo Montemagno ist ein aus der NBIC-Debatte (Exkurs 1) bekannter US-amerikanischer Forscher.

⁷⁹ Es gibt noch weitere Entwicklungen in diese Richtung, wie das in Kapitel 1.1 genannte muskelbetriebene Robotersystem der Universität Illinois zeigt.

wurde zunächst durch ein Ätzverfahren eine Struktur auf einem mit einer Siliziumdioxidoberfläche versehenen Siliziumwafer erzeugt. Anschließend erfolgte eine Beschichtung mit Acrylamidgel, auf das dann an ausgewählten Stellen eine Chrom-Gold-Beschichtung aufgebracht wurde, sodass eine dünne metallische Verbindung zwischen den Positionen der Struktur gebildet wurde, die später die Gelenke des Roboters darstellen sollten. Als Muskelzellen dienten Herzzellen von Ratten, die bevorzugt auf dem Chrom-Gold-Film und nicht auf der Acrylamidbeschichtung aufwachsen. Nach dem Aufwachsen der Muskelzellen wurde das Acrylamid durch Herauslösen aus der Struktur entfernt. Die bewegliche und durch die Muskelbündel verbundene Skelettstruktur war 138 μm lang, 40 μm breit und hatte zwei »Extremitäten« aus Muskelzellen, die sich an einem Chrom-Gold-Stäbchen befanden. Durch Kontraktion des einen und Entspannung des anderen Muskels kam eine Vorwärtsbewegung mit einer maximalen Geschwindigkeit von 38 $\mu\text{m}/\text{s}$ und einer mittleren Schrittgröße von 25 μm zustande. Die Muskeln wurden durch eine Zuckerlösung mit Energie versorgt und die Muskelkontraktionen wurden durch elektrische Impulse ausgelöst. Als mögliche Anwendung nennen die Autoren piezoelektronische Schaltkreise, die durch die Muskelbewegung mit Energie versorgt werden.⁸⁰

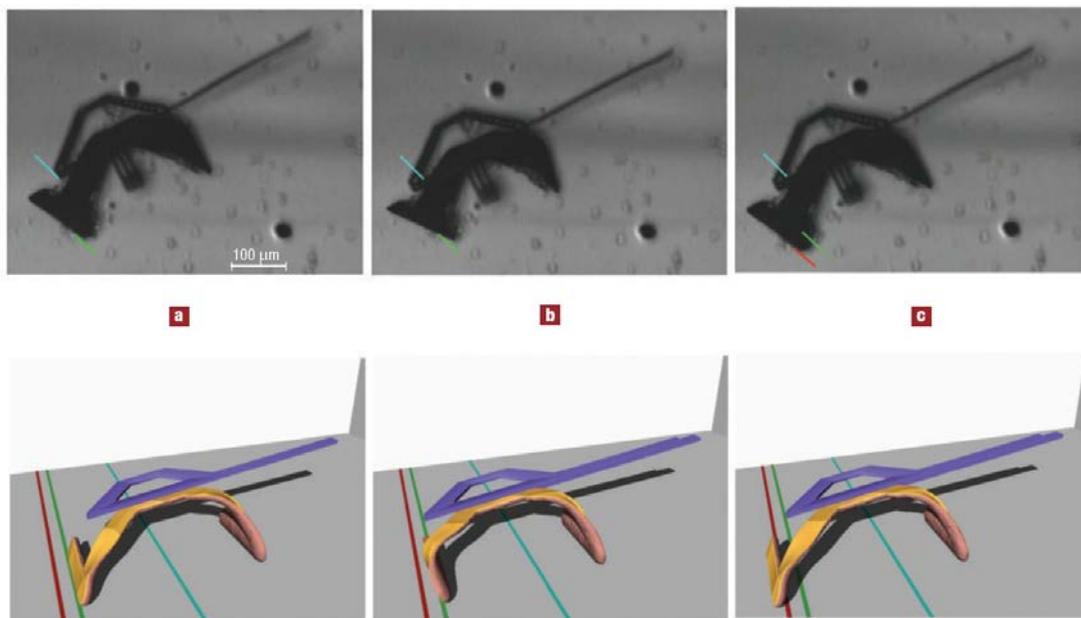


Abbildung 17: Prinzip eines muskelbewegten Mikroroboters
a vor, b während und c nach der Bewegung, Bilder aus (Xi et al. 2005)

Die Veröffentlichung von Montemagno hat in der Presse große Aufmerksamkeit erfahren. Beispielsweise vergleicht *Spiegel online* die Entwicklung mit dem Terminator, einer von Arnold Schwarzenegger dargestellten Kampfmaschine, die sich aus mechanischen und biologischen Teilen zusammensetzt (Spiegel online 2004); die BBC (Pease 2005) betitelt ihre Nachricht mit der Überschrift »'Living' robots powered by muscle«, diskutiert also die Lebendigkeit des Roboters. In einem Interview richtet der Autor des BBC-Artikels deshalb an Montemagno die Frage, ob die Zellen weiter lebendig sind,

⁸⁰ Bei piezoelektronischen Anwendungen führt eine mechanische (elastische) Verformung von Festkörpern zu einer Änderung in der elektrischen Polarisierung und damit zu einer elektrischen Spannung.

wenn sie mit der Siliziumstruktur verbunden sind. Montemagno antwortet hierauf: »*They're absolutely alive. [...] I mean the cells actually grow, multiply and assemble – they form the structure themselves. So the device is alive.*« Offensichtlich geht Montemagno also davon aus, dass nicht nur die Muskelzellen, sondern der ganze Verbund aus anorganischem Material und Zellen (also der Roboter), lebendig ist.

Die Ansicht, dass der Mikroroboter lebendig ist, ist natürlich nicht richtig. Richtig ist, dass die einzelnen Muskelzellen lebendig sind. Sie haben einen Stoffwechsel und setzen die Glukose, die sie der umgebenden Lösung entnehmen, dazu ein, um am Leben zu bleiben und sich zu vermehren. Der Verbund aus Muskelzellen wächst hierdurch. All diese Eigenschaften hat der Roboter als Ganzes nicht. Er kann sich nicht vermehren, sondern ist darauf angewiesen, dass ein menschlicher Konstrukteur neue Roboter baut. Er hat auch kein Wesen, aus dem der Antrieb kommt, sich in Bewegung zu setzen, sondern die Bewegung geht auf die Kontraktion des Muskelgewebes, also auf eine synchronisierte Kontraktion der Muskelzellen zurück. Auslöser der Bewegung ist ein von außen gesetzter Reiz, der die Muskelzellen dazu bringt, zu kontrahieren. Lebewesen dagegen interagieren mit ihrer Umgebung (Trogemann 2014). Wie Marianne Scharck (Scharck 2006b) schreibt, versuchen Lebewesen, sich mit der nötigen Energie für ihr »Weiterleben« selbst zu versorgen. Sie entwickeln und erhalten sich selbst und pflanzen sich fort. All das kann der Roboter nicht; er hat als Ganzes nicht die Fähigkeit, Nahrung aufzunehmen. Er hat nicht wie die Zellen, die seine mechanischen Teile verbinden, eine halbdurchlässige Grenze, die ihn von seiner Umgebung trennt und durch die er sich mit Nährstoffen versorgen kann. Er zeigt selbst keine Aktivität, sondern nur die einzelnen Muskelzellen tun dies (vgl. hierzu Kapitel 3.1). Der Unterschied zu Lebewesen wird auch durch die in Exkurs 3 beschriebenen Fähigkeiten von Einzellern deutlich. Der Roboter ist kein Lebewesen, sondern eine biotechnische, mit einem Motor vergleichbare Maschine, die aus lebenden Teilen besteht.

Mit dem muskelbetriebenen Roboter vergleichbare Anwendungen sind Versuche, Roboter mit Nervenzellen zur Signalübertragung oder mit den Antennen einer Motte auszustatten (Lenzen 2002). Im letzteren Fall sollen die Antennen der Motte es dem Roboter erlauben, einem Geruchsstoff zu folgen. Welche Bedeutung die Integration von lebenden Komponenten in eine maschinelle Struktur hat, wird in Kapitel 5.8 untersucht.

5.8 Lebewesen in maschinellen Strukturen?

In Kapitel 5.7 wurde auf ein Interview Bezug genommen, in dem ein BBC-Journalist den Entwickler des muskelbetriebenen Roboters fragte, ob die Muskelzellen, die den Roboter bewegen, noch lebendig sind, wenn sie mit der Siliziumstruktur verbunden werden. Auf den ersten Blick verwundert diese Frage, da der Roboter ja gar nicht funktionieren würde, wenn die Muskelzellen nicht lebendig wären. Nur lebende Zellen, die einen Stoffwechsel haben und durch Fortpflanzung zu Muskelbündeln heranwachsen, können den Roboter in Bewegung setzen, nicht etwa abgestorbene Zellen. Da den Autorinnen und Autoren keine Informationen darüber vorliegen, was dem Journalisten bei seiner Frage durch den Kopf ging, kann hier nur spekuliert werden, warum er die Lebendigkeit der Zellen in Frage stellte. Irgendetwas jedenfalls schien ihn daran zweifeln zu lassen, dass die Daseinsform der Zellen

am Skelett des Roboters mit dem »normalen« Leben der Zellen übereinstimmt. Mit diesem Zweifel hat der BBC-Journalist nicht unrecht. Was lebende Zellen oder Lebewesen, die in einem technischen System leben, von lebenden Zellen oder Lebewesen unterscheidet, die in der Natur leben, wird im Folgenden anhand eines Gedankenexperiments untersucht.

Das Gedankenexperiment erfolgt anhand einer fiktiven Technologie aus der Science-Fiction-Serie »Star Trek« (Lauer 2016; Giammarco 2016). Die Serie wurde in den 1960er Jahren konzipiert und ist bekannt dafür, dass die in ihr gezeigten technischen Geräte auch reale Entwickler zu ihren Erfindungen inspiriert hat.⁸¹ Sie vermittelt eine positive Technikvision,⁸² in der Technik die Grenzen von Menschen erweitert, ohne dass diese ihre Menschlichkeit verlieren. Auch in einer technisierten Welt steht menschliches Handeln bei Star Trek im Vordergrund. Bei einem der in der Serie vorkommenden technischen Geräte handelt es sich um den sogenannten »Replikator«, mit dem die Raumschiffbesatzung Nahrung aus Energie herstellen kann (Abbildung 18). Dabei spielt u. a. die Replikation, d. h. die wiederholte Herstellung von Proteinmolekülen, eine wichtige Rolle (Memory Alpha 2018).



Abbildung 18: Replikator aus der Fernsehserie »Star Trek«.

Eine Entwicklung, die grundsätzlich in Richtung einer künstlichen Nahrungsmittelherstellung geht, ist das sogenannte In-vitro-Fleisch. Für In-vitro-Fleisch werden Muskelstammzellen verwendet, die einem lebenden Tier entnommen und in einem Bioreaktor vermehrt werden (Böhm 2016; Biello 2013). Das in Abbildung 19 dargestellte fiktive Prinzip orientiert sich grundsätzlich an einem solchem Konzept, allerdings werden die Nahrungsmittel nicht unmittelbar durch Zellvermehrung hergestellt, sondern auf chemischem Wege. Rohstoffe sind CO₂, Wasser und Stickstoff, die der Umgebung entnommen, aufkonzentriert und in geeigneten chemisch arbeitenden Reaktoren zu Proteinen, Kohlehydraten und

⁸¹ Der *Spiegel* schreibt hierzu: »Technologisch schlug sich die Zukunftsorientierung von Star Trek ganz konkret nieder [...] Zehn Jahre, nachdem man Captain Kirk dabei zusehen konnte, wie er in ein kleines, aufklappbares Kommunikationsgerät sprach, wenn Scotty ihn hochbeamen sollte, erfand Martin Cooper das Mobiltelefon – und nannte »Star Trek« seine wichtigste Inspiration. Und als 1996 Motorola das erste Klapptelefon auf den Markt brachte, nannten sie es einfach »StarTAC« [...] Wer sich eine Folge aus dem Jahre 1987 anguckt, entdeckt das iPad, den Laptop, sieht Menschen Videokonferenzen abhalten und Touchscreens bedienen« (Giammarco 2016).

⁸² Technik ist bei Star Trek in eine moderne, offene Gesellschaft eingebettet, in der es kein Zahlungsmittel mehr gibt (Giammarco 2016, Lauer 2016).

Fetten umgesetzt werden. Die vorhandenen Moleküle werden repliziert, aufbereitet und durch Mischung und Formgebung zu Fleisch und Milch verarbeitet. Der Replikator ist dann ein aus technischen Subsystemen aufgebautes technisches Produkt, das wie jedes andere technische Produkt optimiert werden muss (Kapitel 4.2). Die Optimierung beinhaltet unter anderem eine Maximierung der Ausbeute an Fleisch und Milch, eine Minimierung des Energieaufwandes, die Sicherstellung einer immer gleichbleibenden Fleisch- und Milchqualität sowie eine optimale Verschaltung und Integration der einzelnen Komponenten zu einem Gesamtsystem »Replikator«. Die Optimierung der einzelnen Systemkomponenten orientiert sich dabei an der optimalen Funktion des Gesamtsystems, in die die Funktion der einzelnen Subsysteme eingebettet ist. Die Optimierung soll die verlässliche Benutzbarkeit, eine gleichbleibende Qualität und die ökonomische Vermarktbarkeit sicherstellen.

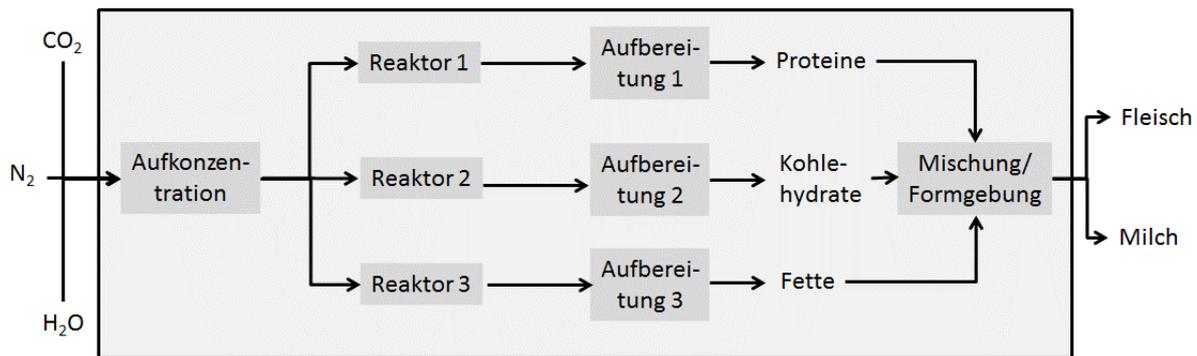


Abbildung 19: Theoretische maschinelle Konzeption eines Replikators.

Eine Weiterentwicklung des in Abbildung 19 dargestellten Schemas würde, nach Sichtweise von Gilbert Simondon (Simondon 2012), eine Individualisierung beinhalten, bei der die Komponenten eines Prototyps zu einem integrierten System entwickelt werden (siehe Kapitel 4.2). Eine solche Individualisierung ließe sich durch eine biologische Transformation der Replikatortechnik erreichen, in dem die technischen Aggregate, die sich in Abbildung 19 innerhalb der graugefärbten Fläche befinden, durch Kühe ersetzt werden. Als Resultat erhält man dann die heutige Landwirtschaft (Abbildung 20). Diese Sichtweise mag ungewöhnlich erscheinen, da ein heute verwendetes System wie die Weiterentwicklung einer Science-Fiction-Technologie dargestellt wird. Das Beispiel soll aber nicht einen realen Entwicklungsweg beschreiben, es verdeutlicht nur, um was es sich seinem Wesen nach handelt, wenn Lebewesen in technische Systeme eingebunden werden. So wie der oben beschriebene Replikator nämlich eine Maschine ist, kann das »System Landwirtschaft« auch als Maschinerie oder Fabrik betrachtet werden, in die die Lebewesen Kühe als Subsysteme maschinell eingebunden werden.

Bei einer Kuh handelt es sich eindeutig um ein Lebewesen. In der Landwirtschaft ist dieses Lebewesen aber, ebenso wie die Subsysteme des oben beschriebenen Replikators, wie eine Maschine in einen Produktionsverlauf integriert. Kühe werden ebenso optimiert wie Maschinen in industriellen Anwendungen. Beispiele für diese Optimierung sind die Verdopplung der Milchleistungen seit 1950 und die

sogenannte »Enthornung«, ⁸³ die zur Vermeidung des Verletzungsrisikos eingesetzt wird (Albert Schweitzer Stiftung 2018). Dass eine Kuh in der konventionellen Landwirtschaft wie eine Maschine oder Systemkomponente in das Produktionssystem eingepasst wird, wird durch die Beschreibung von M. Schwerin in seinem Fachartikel mehr als deutlich (Schwerin 2009). Schwerin schreibt: »Aus ökonomischer Sicht muss die Leistung einer Kuh mindestens 15 kg Milch je Lebenstag betragen, um ihre Kosten zu amortisieren und Gewinn zu erwirtschaften [...] Das entspricht z. B. einer Lebensleistung von ≥ 30.000 kg Milch bei einer Nutzungsdauer von 3,5 Laktationen«. Die technische Umgebung und der technische Zweck übernehmen in der Landwirtschaft die Rolle einer selektierenden Umwelt.

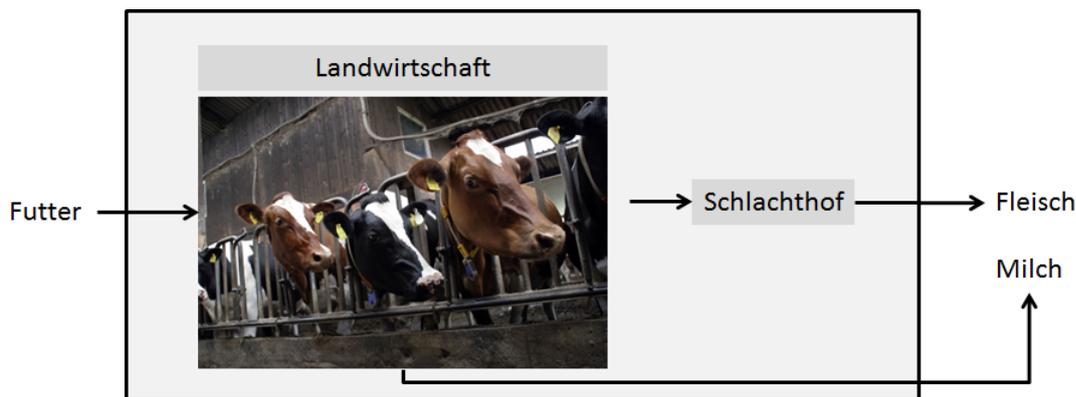


Abbildung 20: Biologisch transformierte Konzeption des Replikators

Die Optimierung von Kühen für das Produktionssystem Landwirtschaft macht deutlich, was mit den in Kapitel 4 beschriebenen Aspekten gemeint ist, wenn Martin Heidegger von einer herausfordernden Technik spricht und Paul Tillich eine »Entmächtigung« der Natur durch Technik beschreibt (Zitat 13). ⁸⁴ Für Kühe oder Rinder bedeutet diese Entmächtigung, dass ihre natürliche Lebensweise durch die Einbindung in das maschinelle Produktionssystem Landwirtschaft verhindert wird. So unterscheidet sich die Seinsweise von Kühen erheblich von der Seinsweise der Rinder, aus denen die heutigen Kühe gezüchtet wurden. Die ersten Rinder wurden vor etwa 10.000 Jahren der Natur entnommen und mit technischen Mitteln von der Natur abgegrenzt. Ihre Bewegungsfreiheit wurde eingeschränkt und ihre Vermehrung und Ernährung wurde kontrolliert. Sie fungieren als optimierte maschinelle Systemkomponenten in einem industriellen Umfeld. Obwohl Kühe Lebewesen sind, sind sie aufgrund ihrer technischen Optimierung, ohne technische Hilfsmittel nicht (über)lebensfähig, da sie u. a. regelmäßig gemolken werden müssen. Sie sind im Sinne Gilbert Simondons »künstlich« und haben einen Teil ihrer ursprünglichen Fähig- und Möglichkeiten verloren (vgl. Kapitel 4.2). So gehört es zur natürlichen Lebensweise von Rindern, dass sie in der Natur über zwölf Stunden mehrere Kilometer

⁸³ Bei der Enthornung werden bei fast allen zukünftigen Milchkühe im Kälberalter mit einem Brennstab oder Ätztift die Hornanlagen zerstört, seit einiger Zeit wächst in Deutschland auch der Anteil hornlos gezüchteter Rinder (Albert Schweitzer Stiftung 2018).

⁸⁴ Paul Tillich beschreibt Entmächtigung auch als »Entfremdung von ihrem Eigenzweck« (Zitat 13).

laufen und dabei auch traben und galoppieren. Die Tiere sind sozial und leben in Familienverbänden⁸⁵ mit engen Mutter-Kind-Bindungen. Die Hörner sind für soziale Auseinandersetzungen, Körperpflege und Wärmeregulierung von Bedeutung. Beim Ruhen halten Kühe normalerweise Distanzen von mehreren Metern zueinander ein.

Das Leben von Kühen in der konventionellen Landwirtschaft unterscheidet sich erheblich von der natürlichen Lebensweise von Rindern. So führt die hohe Milchleistung zu einer großen Belastung des Stoffwechsels, da in der Phase der höchsten Milchleistung die Nährstoffe des Futters für die Synthese der Milchinhaltsstoffe nicht mehr ausreichen, so dass die Kuh eigenes Körpergewebe angreifen muss (Schwerin 2009). Weiterhin führt der große gezüchtete Euter dazu, dass der normale Bewegungsablauf einer Kuh erheblich eingeschränkt ist (Albert Schweitzer Stiftung 2018). Der größte Teil der Milchkühe in Deutschland lebt aus Effizienzgründen nicht in einer Weidehaltung, die dem Wesen von Rindern noch am meisten entgegenkäme, sondern in der sogenannten »Laufstallhaltung«, die eine Einteilung des Stalls in Fress-, Liege- und Melkbereiche, Verkehrsflächen und/oder Laufgänge vorsieht. Um an Futter zu kommen, müssen die Kühe ihren Kopf durch sogenannte »Fressgitter« stecken und im Stehen fressen. Weiterhin laufen Kühe, um nicht auszurutschen, im Stall nur wenig umher und bewegen sich vorsichtig. Da ältere und kranke Kühe aussortiert werden und junge Kühe ihre Plätze einnehmen, wird auch die Sozialstruktur der Herde gestört. Mutter und Kalb werden kurz nach der Geburt getrennt und das Kalb erhält seine Nahrung aus Eimern oder Tränkeautomaten (Albert Schweitzer Stiftung 2018).

Werden anstelle von Kühen einzellige Lebewesen oder Bestandteile von Lebewesen in technische Strukturen eingebettet, wird die Entmächtigung im Sinne Tillichs längst nicht so deutlich wie bei Kühen. So besteht ein Unterschied zwischen Kühen und Herzmuskelzellen von Ratten darin, dass das Leben von Herzmuskelzellen bereits in Bezug auf einen übergeordneten Organismus, in diesem Fall auf eine Ratte, optimiert ist, während es sich bei einer Kuh um ein selbstständiges Lebewesen handelt. Aber auch die Muskelzellen leben in dem Roboter in einem technischen Milieu, das ihr Verhalten beeinflusst. So wachsen sie beispielsweise nur auf den mit Gold beschichteten Komponenten und interagieren in einem anderen Rhythmus als im Herz einer Ratte, dem sie ursprünglich entnommen wurden. Ihr Leben dient nicht mehr dazu, die Existenz eines Lebewesens zu sichern, sondern die Fortbewegung eines Roboters zu ermöglichen. Alfred Nordmann (Nordmann 2015) drückt das so aus: *»Einerseits haben wir es mit etwas durch und durch Technischem zu tun, andererseits sehen wir überall nur kreatürliche Natur und nirgendwo etwas Technisches«.*

Wie Paul Tillich schreibt (Zitat 13), kann eine Entmächtigung oder Entfremdung nicht nur Tiere und andere Lebewesen betreffen. Auch Menschen können ihr ausgeliefert sein. Hierzu muss nicht unbedingt eine körperliche Verbindung vorliegen, wie sie in Kapitel 5.6 diskutiert wurde. Eine Entmächtigung liegt auch dann vor, wenn Menschen technischen Vorgängen ausgeliefert sind, wenn sie in die Logik von Produktionsabläufen eingegliedert sind, wie eine Maschine agieren und entweder durch sich selbst oder durch andere optimiert werden. Torsten Moos (Moos 2014b) schreibt in diesem Zusammenhang mit Bezug auf Tillich, dass Menschen zum Mittel externer Zwecke werden können, und

⁸⁵ Sowohl Muttertiere und ihr Nachwuchs auf der einen und erwachsene männliche Tiere auf der anderen Seite bilden Herden (Albert Schweitzer Stiftung 2018).

Günther Anders stellt heraus, dass Menschen in einem solchen Fall damit beginnen, sich selbst zu bearbeiten und zu optimieren (vgl. Kapitel 4.3 und 5.6) (Hubig 2013b).

5.9 Die »biologische Dimension« von Technik

In den vorangehenden Kapiteln wurden im Wesentlichen zwei unterschiedliche Kombinationen aus technischen Systemen und Lebewesen beschrieben. Bei der ersten Kombination liegt eine Interaktion zwischen Menschen und technischen Elementen vor (Kapitel 5.4), bei der technische Elemente in das menschliche Handlungssystem integriert werden, während bei der zweiten Kombination Lebewesen, zu denen auch Menschen gehören können, in ein technisches Sachsystem eingebunden werden (Kapitel 5.7 und 5.8). Im ersten Fall dominiert das Lebewesen, im zweiten Fall der technische bzw. maschinelle Aspekt des technischen Übersystems.

Trotz der genannten Möglichkeit, Lebewesen und Technik auf unterschiedliche Art und Weise miteinander zu verbinden, scheint es jedoch so, dass es sich bei Natur und Technik um völlig unterschiedliche Bereiche handelt, die sich in ihrem Gegensatz diametral gegenüberstehen – ein Gegensatz, den der Wissenschaftsjournalist Berthold Lammert bereits 1953 in der Wochenzeitung »Die Zeit« folgendermaßen zum Ausdruck brachte: »Damit, dass der Techniker in jedem einzelnen Fall eine Regel der Natur übernimmt, die er aber nun einem von ihm, dem Menschen, gesetzten Zweck unterstellt, entsteht ein Konflikt zwischen dem Willen der Natur und dem des Menschen« (Lammert 1953).

Wie die Zusammenstellung technikphilosophischer Positionen in Kapitel 4 gezeigt hat, verändert Technik die Natur. Technik wird deshalb, je nach Sichtweise, auch als Möglichkeit gesehen, »Fehler« in der Natur zu korrigieren, die in extremer Auslegung auch als Versuch gewertet werden kann, eine Alternative zur Natur zu schaffen. Dieser Versuch lässt sich auch als technische Bedrohung von Natur und von Menschen auffassen. Die Vision einer biologisch transformierten Technik, die sich an Materialien, Eigenschaften und Prinzipien der Natur orientiert, scheint deshalb auf den ersten Blick eine Möglichkeit zu sein, den Gegensatz zwischen Natur und Technik und die damit verbundenen negativen Auswirkungen aufzuheben.

Zitat 17 – Gilbert Simondon (1924 – 1989)
»[...] die technische Operation ist eine reine Operation, die die wirklichen Gesetze der natürlichen Realität ins Spiel bringt; das Artifizielle ist hervorgerufenes Natürliches und nicht Falsches oder Menschliches, das für Natürliches gehalten wird.« ((Simondon 2012), S. 236)

Eine wichtige Frage besteht deshalb darin, wieviel Natur bereits in Technik enthalten ist – eine Frage, auf die beispielsweise der Philosoph Gilbert Simondon in seinen Schriften intensiv eingeht (Simondon 2012). Simondon betrachtet Technik keineswegs als etwas Unnatürliches, sondern interpretiert sie als Arbeiten mit der Natur. Er stellt heraus, dass ein Erfinder oder Konstrukteur technischer Elemente natürliche Phänomene nutzt und sie in einem von ihm konstituierten technischem Objekt »zur Mitarbeit« bewegt (Cuntz 2014).

Der Gedanke, Technik als etwas Unnatürliches aufzufassen, ist vielleicht darauf zurückzuführen, dass wir die Welt gedanklich in getrennte Bereiche einteilen und dabei meistens einen schichtartigen Aufbau annehmen. Ein Beispiel hierfür ist die Unterscheidung zwischen unbelebter Materie, einfachen Lebewesen und Bewusstsein und die gedankliche Anordnung dieser Phänomene in hierarchisch angeordneten Schichten. Bei dieser Sichtweise bilden unbelebte Stoffe die Grundlage für den Bereich des Lebendigen und aus dem Lebendigen heraus entstand die psychische Sphäre. Auf die Problematik dieser Sichtweise hat Paul Tillich (Tillich 1962) hingewiesen. Als Begründung gibt er an, dass durch die Verwendung der Metapher »Schicht« die Beziehungen zwischen einzelnen Bereichen nicht erfasst werden.⁸⁶ Dass diese Beziehungen jedoch existieren, macht das Beispiel von Michael Cuntz (Cuntz 2014) deutlich, der beschreibt, wie ein Molekül (beispielsweise ein Enzym) sowohl in Prozesse der unbelebten Sphäre als auch in die Prozesse in einem Lebewesen eingebunden sein kann. Wie das Molekül fungiert, hängt unter Umständen nur davon ab, ob es in einem lebendigen oder unbelebten Milieu existiert. Ein Molekül kann sogar zwischen belebten und unbelebten Bereichen hin- und herwechseln.

Um die Verbindung zwischen unterschiedlichen Bereichen besser zu erfassen, schlägt Paul Tillich vor, die Metapher »Schicht« durch die Metapher »Dimension« zu ersetzen. Schichten sind bei ihm in Gegensatz zu Dimensionen in *»sich selbst fertige, sich gegenseitig ausschließende Sektoren der Wirklichkeit«* (Tillich 1962), die übereinander liegen und keine notwendige Beziehung zueinander haben. Der als Metapher der Geometrie entnommene Begriff »Dimension« ermöglicht es dagegen, die Beziehungen zwischen unterschiedlichen Bereichen auszudrücken. Dimensionen *»haben die Eigenschaft, dass sie sich in einem Punkt treffen, aber nicht ineinander eingreifen. Sie liegen nicht nebeneinander oder übereinander. Sie liegen ineinander und sind in dem Punkt geeint, in dem sie sich treffen«* (Tillich 1962). Tillich stellt heraus, dass Dimensionen in unterschiedlichen Anteilen vorhanden sein können, so dass bestimmte Dimensionen dominieren, die den spezifischen Charakter eines Bereiches bestimmen. Überträgt man die Betrachtungsweise von Tillich auf die Frage, wie natürlich Technik ist, so kann man sowohl eine technische als auch eine biologische Dimension annehmen. Bezogen auf die ontologischen Begriffe »Akt« und »Potenz« (vgl. hierzu Kapitel 3.2) lässt sich das Technische dann auch als potenzielles Sein der Natur begreifen, das durch Menschen aktuell wird. Menschen bringen also durch Technik etwas in der Natur schon potenziell Vorhandenes hervor. Um mit Martin Heidegger zu sprechen, »entbirgt« Technik das in der Natur bereits Angelegte (siehe Kapitel 4). Da die Existenz von Menschen eine vorhergehende biologische Entwicklung voraussetzt, ist in Technik immer auch eine biologische Dimension enthalten. Eine vergleichbare Sichtweise findet sich auch bei Gilbert Simondon ((Simondon 2012), S. 22 ff.). So schreibt Michael Cuntz mit Bezug auf Simondon: *»Im Akt des Erfindens ist der Erfinder [...] das Biomedium, in dem sich die Genese des technischen Objekts und seines Milieus vollzieht«* (Cuntz 2014). Auch Günter Ropohl ((Ropohl 2009), S. 305) benutzt in seiner Technikphilosophie den Dimensionsbegriff und weist auf die »naturale, humane und soziale Dimension« von Technik hin. Technik lässt sich deshalb auch als emergentes, aus der Biologie hervorgegangenes Phänomen betrachten.

⁸⁶ Siehe hierzu auch den Fachartikel von H. Dänzer, in dem der religiöse Symbolbegriff von Paul Tillich mit physikalischen Modellbildungen verglichen wird (Dänzer 1963).

Rückblickend auf Kapitel 5.7 hat somit der dort beschriebene muskelbetriebene Roboter sowohl eine biologische als auch eine technische Dimension. Letzteres gilt auch für eine Kuh in der Landwirtschaft, die als Lebewesen eine technische Funktion übernimmt. Klaus Kornwachs bezeichnet Kühe deshalb auch als (frühe) Biomachines (Kornwachs 2018). Dabei hat das technische System Landwirtschaft auch eine biologische Dimension, genauso wie dem Lebewesen Kuh auch eine technische Dimension innewohnt. Der eingangs dieses Kapitels beschriebene Gegensatz zwischen Technik und Natur ist jedoch trotzdem gültig, da Technik ihren Ausgangspunkt immer in einer Zwecksetzung der technischen Erfindung hat und sich somit von biologischen Prozessen unterscheidet, auch wenn Berthold Lammert im o. g. Zitat den Begriff »Willen« ebenfalls auf die Natur anwendet und damit der Natur einen teleologischen Charakter zuspricht. Als charakteristische Merkmale sind Zweckfreiheit für die Metapher einer biologischen Dimension und Zwecksetzung für die Metapher einer technischen Dimension prägend. Bei Kombinationen aus lebenden Komponenten und technischen Strukturen sind beide Dimensionen wirksam und in der Technik, die ja, wie oben beschrieben, bereits eine biologische Dimension enthält, ist somit immer auch ein nicht vorhersehbares Moment enthalten. Durch biologische Transformationen nimmt der Anteil der biologischen Dimension in der Technik zu.



Abbildung 21: Turmbau zu Babel (Wiener Version) (Pieter Bruegel der Ältere, 1563).

Der Turmbau zu Babel soll hier symbolhaft für ein technisches Großvorhaben stehen, dessen Folgen nicht beachtet wurden. In der Genesis steht dazu: *»Und das ist erst der Anfang ihres Tuns. Jetzt wird ihnen nichts mehr unerreichbar sein, was sie sich auch vornehmen«* (1. Mose 11,6, Einheitsübersetzung 2016).

Ethische Fragestellungen und Konflikte werden oft erst dann wahrgenommen, wenn es zur praktischen Anwendung kommt. Streng genommen hat fast jedes Werkzeug, jede Technik eine Dual-Use-Ausprägung: Ein Messer kann zum Kartoffelschälen und als Mordinstrument benutzt werden, Forschungsergebnisse aus der Epidemiologie können zur Entwicklung von Impfstoffen, aber auch von Krankheitserregern genutzt werden. Der US-amerikanische Technikhistoriker Melvin Kranzberg schreibt dazu: »*Technology is neither good nor bad; nor is it neutral*« (Kranzberg 1986). Er argumentiert, dass technologische Entwicklungen nicht ohne ihre Verbindungen und Auswirkungen auf die Gesellschaft verstanden werden können.

Die positiven Potenziale von Technik und neuen Technologien sind zahlreich. Viele der neuen Technologien versprechen Gleichheit und Teilhabe: Das Internet verhilft bisher ausgeschlossenen Menschen zur Kommunikation, Cochlea-Implantate lassen Ertaubte wieder hören, die Lebensqualität alter und kranker Menschen kann durch technische Innovationen verbessert werden. Technikverzicht ist keine Option, jedoch ist jeder Technik Ambivalenz zu eigen. Technik im Menschen (vgl. Kapitel 5.5) oder Kombinationen aus lebenden und technischen Systemen (vgl. Kapitel 5.7) werfen Fragen auf. Wie auch im Bereich der autonomen Systeme führt hier Technik »*schleichend zu tiefgreifenden Veränderungen in der Wahrnehmung des Menschen selbst. Sie dringt in das Innere des Menschen ein, indem sie sein Selbstverständnis, namentlich seine Selbstbestimmung und Freiheit berührt*«, wie es die Technikethikerin Elisabeth Gräß-Schmitt ausdrückt (Gräß-Schmitt 2017). Werte – verstanden nicht als zeitlose Ideen, sondern als das, was eine Zeit, eine Kultur jeweils für wertvoll und wichtig hält – verändern sich und damit auch die Referenz- und Orientierungsrahmen. Das Phänomen sich verschiebender Referenz- und Orientierungsrahmen bei der Bewertung der eigenen Umwelt wird in der Soziologie als »Shifting Baselines« bezeichnet (Welzer 2008; Schneidewind 2009). In früheren Zeiten wäre es undenkbar gewesen, dass eine Maschine einen Menschen im Schach besiegen kann oder dass Kinder im Reagenzglas gezeugt werden – nicht nur wegen der fehlenden technischen Voraussetzungen, sondern auch aufgrund des zur jeweiligen Zeit vorherrschenden Weltbilds. Viele heute übliche Methoden und Produkte sind mittlerweile kein Thema der Ethik mehr (so wie es »Retortenbabys« in den 1980er Jahren waren), obwohl der vorangegangene ethische Diskurs unabdingbar gewesen ist. Carl Friedrich von Weizsäcker spricht in diesem Zusammenhang von einem »*erwachsenem Gebrauch der Technik*«, aber auch von der »*Fähigkeit zur technischen Askese*«, d. h. der Verzicht »*auf technisch Mögliches [...], wenn es dem Zweck nicht dient*« (Weizsäcker 1978). Mit den Entwicklungen in Bereichen wie Künstlicher Intelligenz oder Mensch-Maschine-Interaktion wird es zusehends schwieriger, zu erkennen, wo Entwicklungen beginnen, deren Auswirkungen nicht vorhergesehen werden.

Wird im Zusammenhang mit der Biologischen Transformation von Ethik bzw. von angewandter Ethik gesprochen, fällt auf, dass die Einteilung in die bisherigen Bereichsethiken⁸⁷ nicht mehr stimmig erscheint, sondern dass es Überschneidungen, Querverweise und keine klaren Abgrenzungen gibt. So hat der Philosoph und Ethiker Julian Nida-Rümelin sein Standardwerk »*Angewandte Ethik*« zwar

⁸⁷ Die angewandte (oder auch praktische) Ethik formuliert ethische Richtlinien für die verschiedenen Bereiche, demzufolge gibt es Medizinethik, Technikethik, journalistische Ethik usw.

nach den konventionellen Bereichsethiken (Medizinethik, Wirtschaftsethik, politische Ethik usw.) gliedert, fügt aber weitere Kapitel zu »*Ethik des Risikos*« und »*Ethik des Lebens*« an. In diesen werden übergreifende Fragen behandelt, die in mehreren Bereichsethiken eine Rolle spielen (Nida-Rümelin 1996) .

Die Sozialethik als Teilbereich der angewandten Ethik beschäftigt sich in erster Linie mit den gesellschaftlichen Bedingungen eines guten, eines erfüllten Lebens. Hierzu gehören auch Werte und Normen sowie die Umsetzung wichtiger Themen in der Politik. Viele der im vorliegenden Papier angesprochenen Aspekte einer biologischen Technik scheinen zuerst in den Bereich der Bioethik zu gehören, die sich mit dem Umgang mit der belebten Umwelt beschäftigt (also auch mit Umweltschutz und Tierethik), zunehmend aber auch mit Auswirkungen von biotechnischen und –medizinischen Entwicklungen auf Individuum und Gesellschaft. Wie gezeigt wurde, können aber im Bereich der biologischen Technik ethische Fragen aus diesem Komplex nicht nur aus der Technikethik, der Roboterethik, der Informationsethik oder aus der Bioethik gestellt und beantwortet werden.

Viele Entwicklungen, die auf einer Übertragung von biologischen Prinzipien, Methoden oder Komponenten beruhen, können einen Beitrag dazu leisten, das Leben im 21. Jahrhundert positiv zu gestalten (Ernährungssicherheit, Wasserqualität, nachhaltige Energieerzeugung und Rohstoffwirtschaft). An der Schnittstelle von Biologie, Biologisierung und Technik entstehen aber auch neue ethische Fragen, die in der traditionellen Bio- und Technikethik (noch) nicht behandelt werden; vielmehr müssen technische und biologische Aspekte zusammen bearbeitet werden.

Forschung hat auch die Aufgabe, die Auswirkungen der entwickelten und zu entwickelnden Technologien für die Gesellschaft zu antizipieren und sicherzustellen, dass Techniken und Technologien in Übereinstimmung mit akzeptierten ethischen Prinzipien entwickelt und unterstützt werden. Dass entsprechende ethische Prinzipien teilweise erst noch im Konsens verankert werden müssen, verkompliziert den Sachverhalt – umso drängender ist eine Zusammenarbeit von Forschung, Politik, Gesellschaft und Ethik. Die Einbindung von Bürgerinnen und Bürgern in Forschungsprojekte ist ein wichtiges Werkzeug für kritische Technikreflexion und ein prägendes Element für verantwortungsbewusste Forschung. Es bedarf einer breiten normativen Diskussion über ethische Aspekte der Werte und Ziele von biologischer Technik und biologischen Transformationen, über Methoden und Praktiken, über deren Anwendung und Nutzung sowie ihren Auswirkungen auf das Individuum, auf Interessengruppen und die Gesellschaft.

Nötig sind dafür umfassende verständliche Darstellungen der technischen Grundlagen, wissenschaftstheoretische und gesellschaftsanalytische Kontextualisierungen und Deutungen der Problemfelder und Thematiken mit Rückbezug auf verschiedene Anwendungsfelder. Unabdingbar ist Wissen und Verständnis davon, worum es sich seinem Wesen nach handelt, wenn man Biologie und Technik verbindet und welche Prinzipien der Biologie auf andere Bereiche übertragen werden sollen.

Im wissenschaftlichen Diskurs, insbesondere in Philosophie, Theologie und in den Sozialwissenschaften gibt es zahlreiche Beiträge und Forschungen zu einzelnen Thematiken. Es scheint sich aktuell eine Aufspaltung zwischen Bioethik und Maschinenethik zu manifestieren, was im Hinblick auf die Über-

tragung von biologischen Prinzipien, Methoden oder Komponenten nicht zielführend ist. Die Präimplantationsdiagnostik wird eins der Hauptthemen der Bioethik bleiben; Drohnen, Roboter und andere (teil-)autonome Systeme werden in erster Linie in der Maschinenethik behandelt. Wie sind aber Themen einzuordnen, die sich mit künstlichen Lebewesen, mit Cyborg-Konzepten oder den in Kapitel 5.6 angesprochenen muskelbetriebenen Robotern befassen? Da all diese Konzepte sowohl eine biologische als auch eine technische Dimension beinhalten, lassen sich zukünftig Bioethik und Maschinenethik nicht mehr voneinander abgrenzen. Auch müssen Impulse aus anderen Bereichen der Ethik in die Diskussionen einfließen.

Zitat 18 – Martin Honecker (*1934)

»Man muss daher, will man nicht der Gefahr einer „Verspätung“ der Ethik verfallen, die Technik selbst und ihre theoretischen, der Anwendung noch vorausliegenden Grundlagen sowie ihre kulturellen Voraussetzungen und Rahmenbedingungen zum Thema ethischer Reflexion machen. Ethik darf sich also nicht nur mit den Auswirkungen der Technik auf den Menschen und mit dem Umgang des Menschen mit der Technik befassen, sondern sie hat auch die geistigen und gesellschaftlichen Bedingungen von Technik, die technische Kultur zu analysieren«. ((Honecker 1995) S. 548)

Wenn sowohl biologische als auch technische Dimensionen vorliegen sind, sind noch weitere Aspekte zu berücksichtigen. Der Philosoph und Soziologe Jürgen Habermas forderte bereits 2001, man müsse *»genau in den Dimensionen, wo die Grenzen fließend sind, besonders präzise Grenzen ziehen und durchsetzen«* (Habermas 2013). Dies bezog Habermas auf die Präimplantationsdiagnostik, aber wie der Titel seiner Schrift dazu bereits sagt, geht es um nichts weniger als *»die Zukunft der menschlichen Natur«* (Habermas 2013). Hier schließt sich der Kreis zu den erwähnten *»Shifting Baselines«*, die erkannt und wenn nötig, voneinander abgegrenzt werden müssen. Dies meint auch der Sozialethiker Martin Honecker, der schon

1995 vor einer *»Verspätung«* der Ethik sprach (vgl. Zitat 18): *»Die ethische Diskussion hat sich weithin auf die Anwendungen von Technik beschränkt. Ethische Probleme wurden oft erst bei der praktischen Anwendung von Techniken wahrgenommen. Dabei wurde die Technik an sich als ethisch neutral bewertet. Aber es entwickelt sich damit nur zu leicht eine Eigengesetzlichkeit der Technik, eine Theorie der Unaufhaltsamkeit des Sachzwangs«* (Honecker 1995).

Die Forschung – und auch die geisteswissenschaftliche, philosophische und ethische Forschung – steht in der Verantwortung, den Diskurs als kontinuierlichen Prozess voranzutreiben und gemeinsam mit Gesellschaft und Politik Handlungsoptionen zu erarbeiten.



Abbildung 22: Gemälde »The Philosopher« von Marlina Vera
<http://www.marlinavera.com/>, mit freundlicher Genehmigung der Künstlerin.
Das Bild zeigt einen Menschen, der durch sein Fragen versucht, Welt und Mensch zu verstehen.

Ohne dass Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sowie die Öffentlichkeit sich dessen immer bewusst sind, orientiert sich wissenschaftliches Arbeiten häufig an sogenannten Paradigmen,⁸⁸ die sich aus einer grundsätzlichen Denkweise oder einer übergeordneten Idee konstituieren. So erfolgte beispielsweise die Untersuchung der Planetenbewegungen lange unter der Annahme, dass die Sonne und die Planeten sich um die Erde bewegen, obwohl dies zu Widersprüchen bei der Erklärung der Planetenbahnen führte. Die Widersprüche konnten erst aufgeklärt werden, als, ausgelöst durch die Arbeiten von Kopernikus, Bruno, Galilei und Kepler, das geozentrische Paradigma durch ein neues heliozentrisches Paradigma ersetzt wurde. Wissenschaftliche Revolutionen gehen also in der Regel mit einem Paradigmenwechsel einher, der nicht nur die jeweilige Wissenschaft, sondern auch das vorherrschende Weltbild verändern kann. So findet der durch den Evolutionsgedanken hervorgerufene Paradigmenwechsel in der Biologie auch seinen Ausdruck in einer Zunahme biologisch geprägter Betrachtungsweisen in Bereichen, die nicht biologisch sind.⁸⁹

Dass die Anwendung des biologischen Paradigmas zunimmt, zeigen auch die US-amerikanische NBIC-Debatte (Exkurs 1) um konvergierende Technologien und die aktuell in Deutschland stattfindende Diskussion zu den Begriffen »Biologische Transformation« und »Biologisierung«. Grundgedanke einer Biologischen Transformation ist die Übertragung des biologischen Paradigmas in Technik, Industrie, Wirtschaft und Gesellschaft. Kritisch zu bewerten sind dabei vor allem die gesellschaftlichen Aspekte. Zwar sind Menschen biologische Wesen, in denen biologische Prozesse wirksam sind, ein Heranziehen biologischer Erklärungsmodelle zur Gestaltung gesellschaftlicher Prozesse ist jedoch gefährlich, da die menschliche Existenz mit ihren sozialen Beziehungen und kulturellen Gegebenheiten nicht auf die Biologie reduziert werden kann. Welche Gefahren die Anwendung eines biologistischen Welterklärungsmodells mit sich bringen kann, wurde nicht zuletzt durch die Rassenlehre der Nationalsozialisten deutlich.

Einer biologischen Transformation lassen sich unterschiedliche Themengebiete zuordnen. Zu nennen sind hier: Nutzung von Biomassen, Biotechnologie, Gentechnik, Entwicklung bionischer Formen und Materialien, evolutionäre Entwicklungsansätze in der Technik, Übertragungen biologischer Erkenntnisse in die Ökonomie, Human Enhancement, Organisationsformen für Produktionsabläufe, Robotik sowie die Konstruktion von Maschinen, die Lebewesen oder Teile von Lebewesen als Funktionselemente enthalten. Aufgrund der Unterschiedlichkeit der genannten Themen wurde in Kapitel 1.4 der Versuch unternommen, Aspekte, die das Wesen verschiedener Transformationen ausmachen, zu identifizieren. Hierzu wurden vier Kategorien definiert, die im Folgenden aufgeführt werden:

⁸⁸ Paradigma: »Begriff für die eine Wissenschaft in einem bestimmten Zeitraum prägenden allg. akzeptierten Auffassungen. [...] Ein Paradigma regelt, was als untersuchenswerter Gegenstand wissenschaftlicher Betrachtung zu gelten hat, die Art und Weise, wie dieser Gegenstand zu beobachten ist und was als befriedigende Lösung eines wissenschaftlichen Problems anzusehen ist. [...] Die Wirtschaftswissenschaft wurde (beispielsweise) bislang wesentlich durch das mechanistisch geprägte naturwissenschaftliche Paradigma des 19. Jh. beeinflusst« (Springer Gabler 2018).

⁸⁹ Biologen scheinen von diesem Trend bisher nur wenig zu profitieren. So gab es im ersten Halbjahr 2017 für Chemiker und Physiker mehr als dreimal so viele Stellen wie für Biologen. Bei der Arbeitslosigkeit liegt die Quote bei Biologen und Biotechnologen mit rund fünf Prozent deutlich höher als bei Chemikern, Physikern und Mathematikern mit unter drei Prozent. Allerdings ist Biologie auch das beliebteste Studienfach mit der höchsten Absolventenzahl (Burgard et al. 2018).

1. *Materialadaptionen* umfassen den Ersatz von anorganischen Materialien durch biologisch entstandene Materialien, beispielsweise Biomasse.
2. *Formadaptionen* beinhalten eine Übertragung von in lebenden Strukturen vorkommenden Konstruktionsprinzipien auf technische Anwendungen. Hierzu gehört die klassische Bionik.
3. *Systemadaptionen* beinhalten Adaptionen von Eigenschaften, die Lebewesen zukommen oder in Systemen zu finden sind, die sich aus Lebewesen konstituieren. Hierzu gehört beispielsweise die Anwendung evolutionärer Prinzipien auf technische Entwicklungen oder wirtschaftliche Strukturen.
4. *Biologisch-Technische-Konvergenzen* umfassen die Imitation oder Umgestaltung von Lebewesen, wie sie beispielsweise in den Forschungen zur Künstlichen Intelligenz (KI) oder in Teilgebieten der Synthetischen Biologie vorgenommen werden. Auch Kombinationen aus technischen Elementen und Lebewesen, lebenden Systemen bzw. funktionellen Einheiten aus Lebewesen (z. B. DNA-Segmente und Enzyme) gehören in diesen Bereich.

Bei der Betrachtung biologischer Transformationen, ist auch nach »wesentlichen« Unterschieden zwischen biologischen Vorgängen und technischen Prozessen zu fragen. Dabei ist festzustellen, dass es sich bei Technik, ebenso wie bei Wirtschaft und Gesellschaft um etwas handelt, das von Menschen konstituiert wird. Mit Technik verfolgen Menschen zweckgerichtete Ziele. Im Gegensatz dazu gibt es, wenn man teleologische Erklärungen außen vorlässt, in der Natur keine Zwecksetzung. Die Zwecksetzung gibt der technischen Entwicklung eine Richtung, während die biologische Evolution ungerichtet verläuft.⁹⁰ Auch wenn technische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen nicht oder zumindest nur sehr schwer steuerbare Aspekte enthalten, die in Teilen an die biologische Evolution erinnern, handelt es sich im Kern um von Menschen gesetzte Systeme, in denen an vielen Stellen Zwecksetzungen vorgenommen werden. Hierzu gehören beispielsweise die Absichten und Ideen von Erfindern, Entscheidungen von Kapitalgebern oder forschungspolitische Richtungsvorgaben. Die Zwecksetzung bleibt auch erhalten, wenn konventionelle Vorgehensweisen in der Technikentwicklung durch Strategien ersetzt werden, die sich an Mechanismen der biologischen Evolution orientieren, da die Auslese Kriterien durch die von Menschen gesetzten Entwicklungsrichtungen vorgegeben werden (Kapitel 5.1). Dasselbe gilt auch, wenn der Begriff »Evolution« auf Organisationen wie Unternehmen angewandt wird, da auch hier, wie zumindest zu hoffen ist, Entscheidungen mit einer zwecksetzenden Absicht versehen sind. Bei Organisationen wie Wirtschaftsunternehmen ist weiterhin zu beachten, dass sie selbst keine Lebewesen und handelnden Akteure sind. Handelnde Akteure sind nicht Unternehmen, sondern Menschen, die im Unternehmen arbeiten. Der Begriff »Lebewesen« oder »lebendes System« kann deshalb bei Unternehmen (Kapitel 5.2) oder Maschinen maximal eine metaphorische Bedeutung haben. Der Begriff »lebend« kann in Zusammenhang mit Maschinen oder Maschinenverbänden nur in dem Sinne gebraucht werden, wie man beispielsweise das Wort »lebendig« anwendet, wenn man von einer lebendig wirkenden Farbkombination spricht. Es sollte deshalb, um Missverständnissen vorzubeugen, als Metapher kenntlich gemacht werden.

⁹⁰ Die Autorinnen und Autoren möchten sich an dieser Stelle kein Urteil über die seit Jahrhunderten geführte Diskussion erlauben, ob eine Zweckhaftigkeit oder Zielgerichtetheit in der Natur vorliegt. Sollen aber biologische Erkenntnisse in andere Bereiche übertragen werden, muss bei der Evolution von einem ungerichteten Prozess ausgegangen werden. Ansonsten läge keine Biologische Transformation vor, sondern etwas Anderes.

Menschliche Zwecksetzung und die Existenzweise von Lebewesen treffen an verschiedenen Stellen der o. g. Felder aufeinander. Sie spielen beispielsweise eine Rolle, wenn Menschen und Maschinen ein neues Handlungssystem bilden, technische Elemente in den Körper von Lebewesen eingebracht werden oder technische Systeme konstituiert werden, die Lebewesen als technische Elemente enthalten. All diesen Kombinationen ist wesentlich, dass sie biologische und technische Aspekte miteinander kombinieren und sowohl eine biologische als auch eine technische Dimension enthalten (Kapitel 5.9), unabhängig davon, ob »Biologisierung von Technik« oder »Technisierung von Biologie« der jeweils bessere Begriff ist. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass biologische Technik zu neuen Anwendungen führen wird, die das menschliche Handlungsvermögen erweitern können. Was aber liegt bei verschiedenen Kombinationsformen aus Biologie und Technik seinem Wesen nach vor und was ist die Grundlage für ethische Überlegungen, wie mit dieser neuen Biologie oder Technik umgegangen werden soll? Diese Aspekte wurden im vorliegenden Text für unterschiedliche Biologie-Technik-Kombinationen teilweise diskutiert.

Werden Lebewesen und technische Komponenten zu einem System zusammengefügt, dominiert für das Gesamtsystem der technische Aspekt. Lebendige Teile von Lebewesen, wie die Muskelzellen des Mikroroboters in Kapitel 5.7 oder Lebewesen wie Kühe werden wie Maschinen optimiert und betrieben. Sie selbst sind aber Lebewesen, die auch als solche zu behandeln sind, obwohl ihre Seinsweise technisch verändert wurde. Wenn Menschen und technische Elemente zusammenwirken und die menschliche Komponente dominiert, wird Technik in das Leben von Menschen integriert; es bildet sich ein integriertes Handlungssystem aus.

Wenn technische Elemente als Implantate in Lebewesen eingefügt werden, wirkt das technische Element zwar auf die Funktionen des Lebewesens ein, in der Regel bleibt das Lebewesen dabei aber erhalten. Bei der Bewertung dieser Anwendungen, kommt es sehr darauf an, welchen Zweck die eingesetzten technischen Elemente haben. So gleicht ein Herzschrittmacher eine Funktionsart des Herzens aus, die das Leben des betroffenen Menschen gefährdet. Ähnlich ist zunächst auch die Implantation von Elektroden zur tiefen Hirnstimulation zu bewerten, wenn das Ziel die Behandlung einer Krankheit wie Parkinson oder Depression ist. Technik schützt Menschen hier vor den Auswirkungen der Natur. Eine vergleichbare Bewertung ist bei Prothesen vorzunehmen, die ganz in der Tradition der Technikinterpretation von Ernst Kapp (Kapp und Maye 2015) stehen, der Technik als Organersatz betrachtet. Möglicherweise wird jedoch bei den o. g. Implantaten im Gehirn eine Grenze überschritten, da eine Wesensveränderung von Menschen in diesem Fall nicht auszuschließen ist.

Grundsätzlich gilt, dass die Anwendung technischer Implantate helfen kann, Menschen vor Krankheiten zu schützen und menschliches Leben lebenswert zu gestalten. Dient die Integration jedoch nicht diesem Zweck, sondern einer Optimierung von Menschen, wie es zum Beispiel bereits bei der Einnahme leistungssteigernder Substanzen der Fall ist, treten Menschen in einen Wettbewerb mit technisch organisierten Systemen ein. Die negativen Aspekte der Technik, die Günther Anders (Anders 2017a, 2017b; Hubig 2013b) in seinem Werk »Die Antiquiertheit des Menschen« beschreibt, würden hierdurch verstärkt.

Bei biologischen Transformationen ist insgesamt auch immer zu fragen, welches Naturverständnis hinter den jeweiligen Prinzipien steht, die übertragen werden sollen, welche Prinzipien in welche

Bereiche übertragen werden sollten und welche besser nicht. Dabei gilt für eine biologisch transformierte Technik dasselbe, wie für andere Technik auch: Sie muss nachhaltig sein, d. h. ihr Einsatz darf die Chancen nachfolgender Generationen nicht mindern und hat ökologische, ökonomische und soziale Gegebenheiten zu berücksichtigen. Ob eine Technologie biologisch transformiert ist oder nicht, sagt für sich genommen noch nichts darüber aus, welche ökologischen Auswirkungen sie hat und ob sie wirtschaftlich und sozial angemessen eingesetzt werden kann. Für die Welt, in der wir leben, ist nicht entscheidend, ob eine Technik biologische Prinzipien berücksichtigt, sondern, dass eine technische Anwendung verträglich für Menschen und Umwelt gestaltet wird. Es ist also wichtig, Technik *für* Menschen zu entwickeln.

Die Ausführungen in Kapitel 4, 5.4, 5.6 und 5.8 haben gezeigt, dass Technik Menschen sowohl »befreien« als auch »entfremden« kann. Technik muss also so entwickelt und eingesetzt werden, dass sie gestaltbar ist, und dass das Leben von Menschen durch sie sicherer und besser wird. Hierfür bedarf es natürlich, wie Rafaela Hillerbrand (Hillerbrand 2017) schreibt, eines Konsenses darüber, was unter einem »*guten Leben*« zu verstehen ist. Nach Auffassung der Autorinnen und Autoren gehören hierzu auch die Befriedigung von natürlichen und kulturellen menschlichen Bedürfnissen sowie der Schutz der Natur, da Menschen der Natur angehören. Der Rahmen, der menschlichem Leben gesetzt ist, sollte durch Technik erweitert, nicht aber bestimmt werden. Dies gilt sowohl für Technik im Allgemeinen als auch für eine biologisch transformierte Technik. Es kommt deshalb darauf an, die Möglichkeiten menschlicher Einflussnahme zu nutzen und dafür zu sorgen, dass Technik »menschlich« ist. Auch wenn dabei eine komplexe, nicht vollständig kontrollierbare Handlungskette zu berücksichtigen ist, der Grundstein zu einer »menschlichen Technik« wird da gelegt, wo Erfindungen erfolgen, Forschungsthemen gefördert, Unternehmensentscheidungen getroffen und Technologien akzeptiert werden. Das Bewusstsein für diese Verantwortung gilt es zu verstetigen und in einem disziplinübergreifenden Diskurs zu überführen, der sich auf Initiative der gemeinnützigen öffentlichen Forschung aufbauen ließe. Hier gilt es, bei der von der Politik angekündigten Ausgestaltung der Agenda »*Von der Biologie zur Innovation*« (CDU, CSU, SPD 2018) unterschiedliche Akteure zusammenzubringen und einen Diskurs zwischen unterschiedlichen Wissenschaften, Wirtschaftsunternehmen, NGOs, Öffentlichkeit und der Politik anzustoßen.

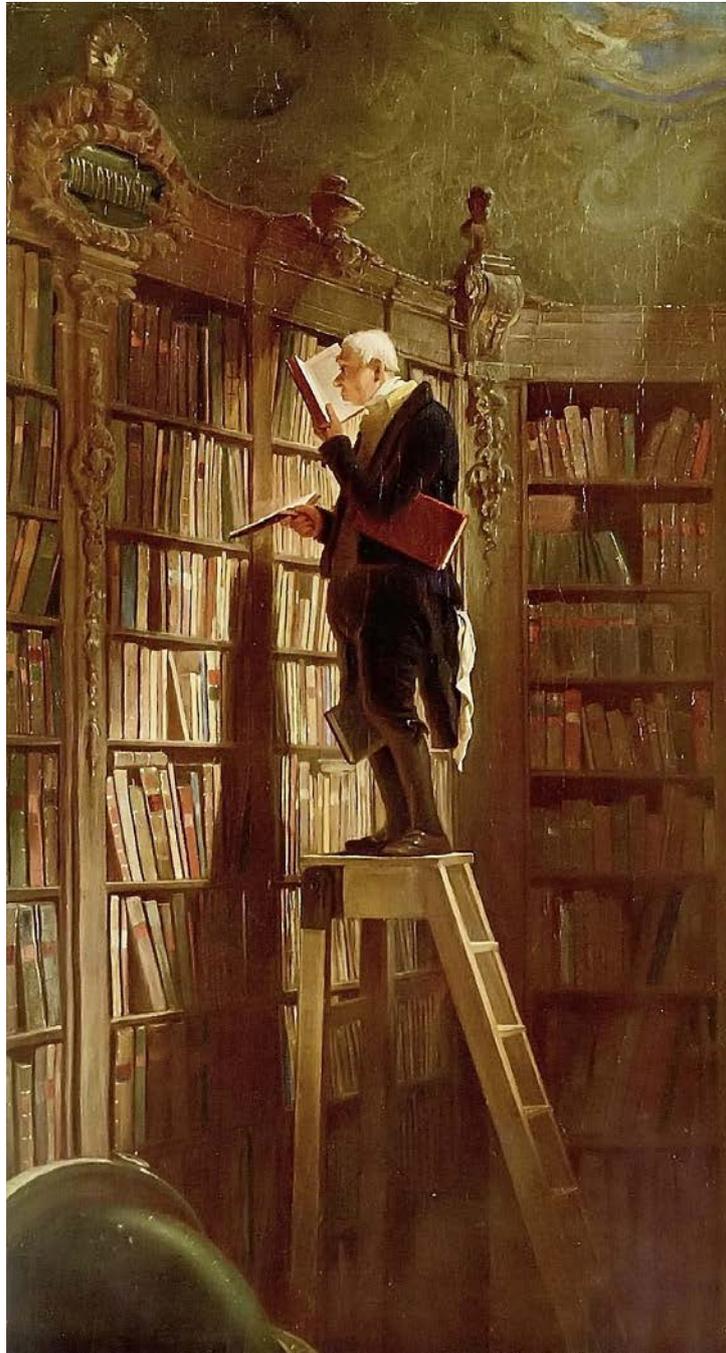


Abbildung 23: »Der Bücherwurm« (Carl Spitzweg, um 1850), Reproduktion, Museum Georg Schäfer.

8.1 Autorinnen und Autoren



Dr. Thomas Marzi, geb. 31.03.1961, studierte Chemie an der Universität-GH-Duisburg und promovierte dort im Fachbereich Physikalische Chemie. Er ist seit 1992 bei Fraunhofer UMSICHT tätig und leitet dort die Abteilung »Chemische Energiespeicher«. Im Interdisziplinären Fernstudium Umweltwissenschaften ist er als Privatdozent an der FernUniversität in Hagen tätig.



Volker Knappertsbusch, geb. 21.04.1963, studierte Biologie an der Ruhr-Universität Bochum und am Institut für Biotechnologie des Forschungszentrum Jülich. Im Bereich Energie ist er für die internationale Vernetzung zuständig und koordiniert die UMSICHT Research School, in der Promovierende betreut werden.



Anne Marzi, geb. 7.03.1995, studierte Biowissenschaften (B.Sc.) an der Westfälischen Wilhelms-Universität in Münster. Zur Zeit studiert sie in Münster Biotechnologie.



Sandra Naumann, geb. 13.06.1969, studierte Literaturwissenschaft, Sprachwissenschaft, Geschichte und Niederlandistik an der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Seit 2000 bei Fraunhofer UMSICHT, arbeitet sie im Lektorats- und Redaktionsbereich und leitet zudem die Geschäftsstelle des Wissenschaftsforums Ruhr e. V..



Prof. Dr.-Ing. Gorge Deerberg, geb. 23.06.1963, ist stellvertretender Institutsleiter bei Fraunhofer UMSICHT. Weiterhin ist er Leiter des Bereichs Prozesse bei Fraunhofer UMSICHT, Vorstandsvorsitzender des Wissenschaftsforums Ruhr e. V. und apl. Professor für Umwelt- und Prozesstechnik an der Ruhr-Universität Bochum.



Prof. Dr.-Ing. Eckhard Weidner, geb. 6.09.1956, ist Institutsleiter bei Fraunhofer UMSICHT und leitet den Lehrstuhl für Verfahrenstechnische Transportprozesse an der Fakultät für Maschinenbau der Ruhr-Universität Bochum.

8.2 Danksagung

Wir bedanken uns bei Prof. Werner Ingensiep von der Universität Duisburg-Essen und unserem Kollegen Dr. Heiko Lohmann für ihre Unterstützung und ihre wertvollen Anmerkungen. Den Kolleginnen aus dem Fraunhofer-Think Tank Dr. Sophie Hippmann, Dr. Isabella Wedl und Kerstin Funck sowie dem Leiter unseres Hauptstadtbüros, Dr. Patrick Dieckhoff, danken wir für die interessanten Gespräche und Diskussionen zum Thema Biologische Transformation.

Unseren Kolleginnen Anja Drnovsek, Anja Gerstenmeier und Kerstin Hölscher danken wir für die redaktionelle Unterstützung, ohne die die Erstellung dieses Textes nicht möglich gewesen wäre.

8.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterschiedliche teleologische Konzepte.....	27
Tabelle 2: Welche Merkmale sind für evolutive Prozesse wesentlich?	40

8.4 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: »Vitruvianischer Mensch« von Leonardo da Vinci	5
Abbildung 2: Darstellung der NBIC-Konvergenz.....	14
Abbildung 3: »Holistische« Darstellung sozialen Verhaltens.....	15
Abbildung 4: Bible moralisée, Buchmalerei, unbekannter Künstler.....	23
Abbildung 5: Der Zweck eines Hausbaus ist das fertige Haus.	24
Abbildung 6: Hat das Heranwachsen eines Pferdes einen Zweck?.....	25
Abbildung 7: Vertumnus – Porträt von Kaiser Rudolf II., Giuseppe Arcimboldo.....	28
Abbildung 8: Akt/ Potenz-Dialektik für die chemische Umsetzung von Wasserstoff	35
Abbildung 9: Produzenten, Konsumenten, Reduzenten und tote Materie in Ökosystemen...	43
Abbildung 10: Postkartenmotive für die Glasherstellung (unbekannte Künstler, ca. 1913). ..	46
Abbildung 11: Entstehen und Entwicklung neuer Technologien.	49
Abbildung 12: Entstehen und Entwicklung neuer Technologien.	52
Abbildung 13: Detail der Lehrtafel von Fritz Kahn »Der Mensch als Industriepalast«	60
Abbildung 14: Abstrahiertes Schema der biologischen Evolution	62
Abbildung 15: Schema eines »Lernenden Agenten«.	73
Abbildung 16: Pantoffeltier	75
Abbildung 17: Prinzip eines muskelbewegten Mikroroboters.....	79
Abbildung 18: Replikator aus der Fernsehserie »Star Trek«.	81
Abbildung 19: Theoretische maschinelle Konzeption eines Replikators.	82
Abbildung 20: Biologisch transformierte Konzeption des Replikators.....	83
Abbildung 21: Turmbau zu Babel (Wiener Version) (Pieter Bruegel der Ältere, 1563).....	88
Abbildung 22: Gemälde »The Philosopher« von Marlina Vera	92
Abbildung 23: »Der Bücherwurm« (Carl Spitzweg, um 1850), Reproduktion.	97

8.5 Abbildungsnachweise

Zitat 1: Bild von Carl Friedrich v. Weizsäcker: Bundesarchiv, B 422 Bild-0174/CC-BY-SA 3.0 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bundesarchiv_B_422_Bild-0174,_Carl_Friedrich_v._Weizs%C3%A4cker.jpg

Zitat 2: Bild von Erwin Schrödinger: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erwin_Schr%C3%B6dinger_\(1933\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erwin_Schr%C3%B6dinger_(1933).jpg)

Zitat 3: Bild von W. B. Arthur: By World Economic Forum [CC BY-SA 2.0] via Wikimedia Commons, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Brian_Arthur_-_World_Economic_Forum_Annual_Meeting_2011.jpg

Zitat 4: Bild von Aristoteles: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aristotle_Altemps_Inv8575.jpg

Zitat 5: Bild von Thomas von Aquin: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:St-thomas-aquinas.jpg>

Zitat 6: Bild von Manfred Eigen: Manfred Eigen Biography. TheFamousPeople.com (Ed.) 2017, online auch unter: <https://www.thefamouspeople.com/profiles/manfred-eigen-7613.php>

Zitat 7: Bild von Adolf Portmann: Nachlassverwalter hat Freigabe erteilt, http://www.rogeralfredstamm.ch/www.rogeralfredstamm.ch/Nachlass_Portmann.html

Zitat 8: Bild von Konrad Lorenz: Konrad Lorenz, Own work 2009, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Konrad_Lorenz.JPG

Zitat 9: Bild von Arthur George Tansley <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Arthur-Tansley-1893.jpg>

Zitat 10: Bild von Martin Heidegger: hier: Pragher: Willy: Photograph of Martin Heidegger. Detail of a photograph entitled: "W 134 Nr. 060678d - Hausen: Festakt, in der Reihe, Kultusminister Storz, Prof. Heidegger, Dichtel". Additional reference: Teilbestand W 134 (Neg. BaWü), Teil 1 - Fotosammlung Willy Pragher: Filmnegative Baden-Württemberg, Teil 1, online auch unter [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heidegger_4_\(1960\)_cropped.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heidegger_4_(1960)_cropped.jpg)

Zitat 11: Bild von Karl Marx: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_Marx_001.jpg

Zitat 12: Bild von Arnold Gehlen: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gehlenfoto3.png>

Zitat 13: Bild von Paul Tillich: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Paul_Tillich.jpg

Zitat 14: Bild von Arthur Schopenhauer: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Schopenhauer_1852.jpg

Zitat 15: Bild von Hubert L. Dreyfus: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hubert_Dreyfus.jpg

Zitat 16: Bild von Langdon Winner: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LangdonWinner.jpg>

Zitat 17: Bild von Gilbert Simondon: <http://journals.openedition.org/appareil/2205>

Abbildung 1: Zeichnung »Vitruvanischer Mensch« von Leonardo da Vinci, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Da_Vinci_Vitruve_Luc_Viatour.jpg, abgerufen am 20.07.2018)

Abbildung 2: Darstellung der NBIC-Konvergenz

Abbildung 3: »Holistische« Darstellung sozialen Verhaltens.

Abbildung 4: Bible moralisée, Buchmalerei, unbekannter Künstler (ca. 1250), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:13th-century_painters_-_Bible_moralis%C3%A9e_-_WGA15847.jpg, zuletzt geprüft, 11.05.2018

Abbildung 5: Abbildung selbst erstellt, Einzelbilder aus gemeinfreiem Archiv <https://pixabay.com/de/>

Abbildung 6: Abbildung selbst erstellt, Einzelbilder aus gemeinfreiem Archiv <https://pixabay.com/de/>

Abbildung 7: Vertumnus - Porträt von Kaiser Rudolf II, Giuseppe Arcimboldo (1526 - 1593), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Vertumnus_%C3%A5rstidernas_gud_m%C3%A5lad_av_Giuseppe_Arcimboldo_1591_-_Skoklosters_slott_-_91503.tiff, zuletzt geprüft, 11.05.2018

Abbildung 8: Akt/ Potenz-Dialektik für die chemische Umsetzung von Wasserstoff zu Wasser, Abbildung selbst erstellt, inhaltliche Anlehnung an Mahner und Bunge 2000a

Abbildung 9: Produzenten, Konsumenten, Reduzenten und toten Materie in Ökosystemen, Abbildung selbst erstellt in Anlehnung an Toepfer 2011b, S.737

Abbildung 10: Postkartenmotive für die Glasherstellung (unbekannte Künstler ca. 1913), die Bilder wurden von Dieter Neumann zur Verfügung gestellt

Abbildung 11: Entstehen und Entwicklung neuer Technologien, eigene grafische Darstellung des bei W. B. Arthur (Arthur 2009) beschriebenen Konzepts

Abbildung 12: Entstehen und Entwicklung neuer Technologien, eigene grafische Darstellung des bei Gilbert Simondon (Simondon 2012 S. 62 ff.) beschriebenen Konzepts

Abbildung 13: Detail der Lehtafel von Fritz Kahn »Der Mensch als Industriepalast, Abdruck mit freundlicher Genehmigung von Q Kreativgesellschaft mbH, Sonnenberger Str. 16, 65193 Wiesbaden, info@fritz-kahn.com

Abbildung 14: Abstrahiertes Schema der biologischen Evolution, Bilddarstellung nach (Nachtigall 2008 S. 43)

Abbildung 15: Schema eines »Lernenden Agenten« Bilddarstellung nach (Norvig und Russell 2012 S. 83)

Abbildung 16: Pantoffeltier, Quelle shutterstock

Abbildung 17: Prinzip eines muskelbewegten Mikroroboters, Bilder entnommen aus (Xi et al. 2005)

Abbildung 18: Replikator aus der Fernsehserie Star Trek, Abbildung selbst erstellt, Einzelbilder aus gemeinfreiem Archiv <https://pixabay.com/de/>

Abbildung 19: Theoretische maschinelle Konzeption eines Replikators, Abbildung selbst erstellt,

Abbildung 20: Biologisch transformierte Konzeption des Replikators, Abbildung selbst erstellt, Einzelbilder aus gemeinfreiem Archiv <https://pixabay.com/de/>

Abbildung 21: Turmbau zu Babel (Wiener Version) (Pieter Bruegel der Ältere, 1563), [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pieter_Bruegel_the_Elder_-_The_Tower_of_Babel_\(Vienna\)_-_Google_Art_Project_-_edited.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pieter_Bruegel_the_Elder_-_The_Tower_of_Babel_(Vienna)_-_Google_Art_Project_-_edited.jpg)

Abbildung 22: Gemälde »The Philosopher« von Marlina Vera, <http://www.marlinavera.com/>, Abdruck mit freundlicher Genehmigung der Künstlerin

Abbildung 23: Gemälde »Der Bücherwurm« (Carl Spitzweg, um 1850), reproduction is part of a collection of reproductions compiled by The Yorck Project. The compilation copyright is held by Zenodot Verlagsgesellschaft mbH and licensed under the GNU Free Documentation License. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Carl_Spitzweg_021.jpg, zuletzt geprüft am 21.08.2018

8.6 Literaturverzeichnis

Albert Schweitzer Stiftung (Hg.) (2018): Milchkühe. Albert Schweitzer Stiftung für unsere Mitwelt. Online verfügbar unter <https://albert-schweitzer-stiftung.de/massentierhaltung/milchkuehe>, zuletzt geprüft am 26.02.2018.

Anders, Günther (2017a): Die Antiquiertheit des Menschen Bd. I. München: C.H. Beck (Beck'sche Reihe, v.319).

Anders, Günther (2017b): Die Antiquiertheit des Menschen Bd. II. 4th ed. München: C.H. Beck (Beck'sche Reihe, v.320).

Anzenbacher, Arno (2010): Einführung in die Philosophie. Neuausgabe, 7. Auflage. Freiburg im Breisgau, Basel, Wien: Herder.

Arthur, W. Brian (2009): The nature of technology. What it is and how it evolves. London: Free Press.

Begon, Michael; Howarth, Robert W.; Townsend, Colin R. (2017): Ökologie. 3. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.

Beinhocker, Eric D.; Bertheau, Nikolas (2007): Die Entstehung des Wohlstands. Wie Evolution die Wirtschaft antreibt. Landsberg am Lech: mi-Fachverlag.

Biello, David (2010): Die Erzeugung künstlichen Lebens. Schon heute kann die synthetische Biologie Organismen fundamental verändern. Wird sie auch unbelebte Materie zu Leben erwecken. Spektrum der Wissenschaft, zuletzt geprüft am 01.12.2017.

Biello, David (2013): Der 300 000-Euro-Klops. Unter großem Presserummel wurde nun ein Hamburger aus Kunstfleisch gebraten und verzehrt. Was uns das Laborfleisch bringt. Spektrum.de. Online verfügbar unter <http://www.spektrum.de/news/der-300-000-euro-klops/1203443>, zuletzt geprüft am 26.02.2018.

bioökonomie.de (Hg.) (2017): Biologisierung auf Politikagenda. Online verfügbar unter <https://biooekonomie.de/nachrichten/biologisierung-auf-politikagenda>, zuletzt geprüft am 28.11.2017.

Bioökonomierat (Hg.) (2014): Bioökonomie geht über Biomasse hinaus. Online verfügbar unter <http://biooekonomierat.de/aktuelles/biooekonomie-geht-ueber-biomasse-hinaus/>, zuletzt geprüft am 06.12.2017.

Bioökonomierat (Hg.) (2016): Weiterentwicklung der „Nationalen Forschungsstrategie Bioökonomie 2030“. Empfehlungen des Bioökonomierates. Geschäftsstelle des Bioökonomierates. Online verfügbar unter http://biooekonomierat.de/fileadmin/Publikationen/empfehlungen/181116_Ratsempfehlungen_fu_r_die_Weiterentwicklung_der_Forschungsstrategie_final.pdf, zuletzt geprüft am 05.12.2017.

Blume, Thomas (2003): Entität, Online-Wörterbuch Philosophie: Das Philosophielexikon im Internet. Online verfügbar unter <http://www.philosophie-woerterbuch.de>, zuletzt geprüft am 30.11.2017.

BMBF (Hg.) (2017): Energiewende und nachhaltiges Wirtschaften. Bioökonomie - neue Konzepte zur Nutzung natürlicher Ressourcen. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/de/biooekonomie-neue-konzepte-zur-nutzung-natuerlicher-ressourcen-726.html>, zuletzt geprüft am 06.12.2017.

BMBF, BMEL (Hg.) (2014): Bioökonomie in Deutschland. Chancen für eine biobasierte und nachhaltige Zukunft. Bundesministerium für Bildung und Forschung, Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter https://www.bmbf.de/pub/Biooekonomie_in_Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2017.

BMEL (Hg.) (2014): Nationale Politikstrategie Bioökonomie. Wachsende Ressourcen und biotechnologische Verfahren als Basis für Ernährung, Industrie und Energie. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Online verfügbar unter <https://www.bmbf.de/files/BioOekonomiestrategie.pdf>, zuletzt geprüft am 06.12.2017.

Boersma, Arnold J.; Megens, Rik P.; Feringa, Ben L.; Roelfes, Gerard (2010): DNA-based asymmetric catalysis. In: *Chemical Society reviews* 39 (6), S. 2083–2092. DOI: 10.1039/B811349C.

- Böhm, Inge (2016): Visionen von In-vitro-Fleisch. In-vitro-Fleisch als nachhaltige Lösung für die Probleme des Fleischkonsums? In: *Technikfolgenabschätzung – Theorie und Praxis* 25 (1), S. 70–72.
- Boldt, Joachim (2013): Herstellen, verändern, erschaffen – die Synthetische Biologie als prometheische Biotechnologie. In: Deutscher Ethikrat (Hg.): *Werkstatt Leben. Bedeutung der Synthetischen Biologie für Wissenschaft und Gesellschaft*, Vorträge der Tagung des Deutschen Ethikrates 2011. Berlin, S. 89–99.
- Bonner, J. T. (1995): *Evolution und Entwicklung*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH. Online verfügbar unter https://page-one.live.cf.public.springer.com/pdf/preview/10.1007/978-3-663-01970-1_1, zuletzt geprüft am 08.02.2018.
- Box, George E. P. (1957): Evolutionary Operation: A Method for Increasing Industrial Productivity. In: *Applied Statistics* 6 (2), S. 81. DOI: 10.2307/2985505.
- Braun, Joachim von (2014): Bioökonomie – Alternative zur fossilen Wirtschaft? Bioökonomie - Nachhaltige Alternative zur fossilen Wirtschaft? Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Berlin, 04.11.2014. Online verfügbar unter http://biooekonomierat.de/fileadmin/Arbeitsdokumente_seit_2013/Vortrag_von_Braun_BMEL.pdf, zuletzt geprüft am 06.12.2017.
- Bruckschen, Ines (2017): Denkende Maschinen. In: *weiter.vorn Das Fraunhofer Magazin* (1).
- Burgard, Oliver; Gamillscheg; Marie (2018): Der Arbeitsmarkt für: Naturwissenschaftler. Unter Mitarbeit von Zeit campus. Hg. v. Zeit campus. Hamburg. Online verfügbar unter <http://www.zeit.de/campus/2018/s1/naturwissenschaften-bewerben-arbeitsmarkt-jobaussichten>, zuletzt geprüft am 26.03.2018.
- Byrne, Gerry (2017): Commentary 2017: Does Anyone really Understand "Industry 4.0"? Hg. v. Gerry Byrne. GB Innovation Ltd. Online verfügbar unter <http://www.gbinnovation.ie/blog/commentary-2017-does-anyone-really-understand-industry-40-by-gerry-byrne>, zuletzt geprüft am 09.03.2018.
- Byrne, Gerry (2018): Biological Transformation. Fraunhofer International Day 2018 »Opening New Perspectives«. Fraunhofer-Gesellschaft. München, 26.02.2018.
- CDU, CSU, SPD (Hg.) (2018): Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD. Online verfügbar unter https://www.cdu.de/system/tdf/media/dokumente/koalitionsvertrag_2018.pdf?file=1, zuletzt geprüft am 08.03.2018.
- Clausen, Jens (2015): Verschwimmende Grenzen zwischen Mensch und Technik. In: Frank Schubert (Hg.): *Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2), S. 74–79.
- Coenen, Christopher (2008): Konvergierende Technologien und Wissenschaften. Der Stand der Debatte und politischen Aktivitäten zu "Converging Technologies". Abschätzung beim Deutschen Bundestag. Hintergrundpapier. Büro für Technikfolgen. Online verfügbar unter <http://www.itas.kit.edu/pub/v/2008/coen08a.pdf>, zuletzt geprüft am 23.11.2017.
- Coenen, Christopher (2009): Zauberwort Konvergenz. In: *TATuP - Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 18, S. 44–50.
- Coenen, Christopher (2014): Converging Technologies. In: Gabriele Gramelsberger (Hg.): *Synthesis. Zur Konjunktur eines philosophischen Begriffs in Wissenschaft und Technik*. Bielefeld: Transcript-Verl. (Verkörperungen, 20), S. 209–230.
- Coenen, Christopher (2015): Der alte Traum vom mechanischen Menschen. In: Frank Schubert (Hg.): *Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2), S. 66–73.
- Cuntz, Michael (2014): Keine Synthese, kein Bauplan. Leben und (bio)technische Objekte in Simondons irreduktionistischer Philosophie der Individuation als Operation der Information. In: Gabriele Gramelsberger (Hg.): *Synthesis. Zur Konjunktur eines philosophischen Begriffs in Wissenschaft und Technik*. Bielefeld: Transcript-Verl. (Verkörperungen, 20), S. 147–169.
- Cyborgs e.V. (Hg.) (2018): Homepage. Gesellschaft zur Förderung und kritischen Begleitung der Verschmelzung von Mensch und Technik. Online verfügbar unter <https://cyborgs.cc/>, zuletzt geprüft am 23.03.2018.

- Dänzer, H. (1963): Der Begriff des Symbols in der Theologie Paul Tillichs und das physikalische Modell. In: *Physikalische Blätter* 19 (12), S. 540–546. DOI: 10.1002/phbl.19630191203.
- Dawkins, Richard (2005): *Das egoistische Gen*. Überarbeitete und erweiterte Neuauflage, 7. Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt (19609).
- Debschitz, Thilo von (2017): Fritz Kahn: verehrt, verjagt, vergessen – und wiederentdeckt. Hg. v. Q Kreativgesellschaft mbH. Online verfügbar unter <http://www.fritz-kahn.com/de/about/>, zuletzt geprüft am 09.01.2018.
- DECHEMA (Hg.) (2011): Thesenpapier zum Status der Synthetischen Biologie in Deutschland. Thesenpapier. DECHEMA Arbeitskreis Systembiologie und Synthetische Biologie. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://dechema.de/dechema_media/Synth_Bio_2011_NEU_3-p-4300-view_image-1-called_by-dechema-original_site-dechema_eV-original_page-124930.pdf, zuletzt geprüft am 01.12.2017.
- Delius, Mara (2016): Dieser Roboter lehrt uns menschliche Freiheit. Hg. v. welt-online. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/kultur/article152773261/Dieser-Roboter-lehrt-uns-menschliche-Freiheit.html>, zuletzt aktualisiert am 01.03.2016, zuletzt geprüft am 17.04.2018.
- Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina; Deutsche Forschungsgemeinschaft (2009): *Synthetische Biologie, Stellungnahme*. Weinheim: Wiley-VCH-Verl.
- Dönges, Jan (2015): 3-D-gedruckter Bio-Bot bewegt sich mit echten Muskelzellen. In: *Spektrum der Wissenschaft* (Hg.): *Roboter. Die Evolution der Maschinenwesen*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, S. 39–40.
- Dreyfus, Hubert L. (1989): *Was Computer nicht können. Die Grenzen künstlicher Intelligenz*. Frankfurt am Main: Athenäum (123).
- Ebbecke, U. (1952): Reflex und Verhaltensweise, Reflexempfindung und Gefühl. In: *Die Naturwissenschaften* 39 (10), S. 218–226. DOI: 10.1007/BF00589495.
- Eigen, Manfred (1987): *Stufen zum Leben. Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie*. München: Piper.
- EY Client Portal (2016): EY Studie: Deutscher Biotechnologie-Report 2015. Online verfügbar unter <http://www.ey.com/de/de/newsroom/news-releases/20150413-ey-news-deutsche-biotech-branche-mit-neuem-mutZukunft>, zuletzt geprüft am 05.12.2017.
- Ferdinand, Jan-Peter; Petschow, Ulrich; Gleich, Arnim von; Seipold, Peer (2012): *Literaturstudie Bionik. Analyse aktueller Entwicklungen und Tendenzen im Bereich der Wirtschaftsbionik*. Berlin: Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) (Schriftenreihe des IÖW, 201).
- Fischer, Lars (2016): Land oder Meer? Die Hydrothermalquelle in uns. In: *Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft* (Hg.): *Spektrum der Wissenschaft kompakt: Vom Molekül zur komplexen Zelle*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, S. 46–50.
- Fraunhofer-Gesellschaft (2018a): »Biointelligenz – eine neue Perspektive für nachhaltige Wertschöpfung?«. Voruntersuchung zur Biologischen Transformation industrieller Wertschöpfung. Hg. v. Fraunhofer-Gesellschaft und Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). 27.06.2018. Online verfügbar unter https://www.iml.fraunhofer.de/content/dam/iml/de/documents/101/Programm_Biointelligenz_WEB_offen.pdf, zuletzt geprüft am 03.07.2018.
- Fraunhofer-Gesellschaft (Hg.) (2018b): »FUTURAS IN RES«: Conference: Biological Transformation of Manufacturing. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.fraunhofer.de/en/events/biological-transformation-of-manufacturing.html>, zuletzt geprüft am 03.07.2018.
- Freyermuth, Gundolf S. (2015): Übermenschbilder. Visionen von Cyborgs künden von einer neuen Kultur menschlicher Selbstverbesserung. In: Frank Schubert (Hg.): *Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2), S. 57–65.
- Fritsche, Olaf (2015): *Biologie für Einsteiger. Prinzipien des Lebens verstehen*. 2., neu bearb. Aufl. Berlin: Springer Spektrum (Lehrbuch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-46278-2>.

- Giammarco, Francesco (2016): 50 Jahre "Star Trek". Früher war die Zukunft besser. Hg. v. Spiegel online. Online verfügbar unter <http://www.spiegel.de/kultur/tv/star-trek-wird-50-frueher-war-die-zukunft-besser-a-1111266.html>, zuletzt geprüft am 23.02.2018.
- Gräb-Schmidt, Elisabeth (2017): Autonome Systeme. Autonomie im Spiegel menschlicher Freiheit und ihrer technischen Errungenschaften. In: *Zeitschrift für Evangelische Ethik* 61 (3). DOI: 10.14315/zee-2017-0303.
- Graiman, Bernhard (2015): Auf dem Weg zur perfekten Prothese. In: Frank Schubert (Hg.): Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2), S. 20–27.
- Greif, Hajo (2005): Wer spricht im Parlament der Dinge? Über die Idee einer nicht-menschlichen Handlungsfähigkeit. Zugl.: Darmstadt, Techn. Univ., Diss., 2003. Paderborn: mentis. Online verfügbar unter http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?id=2665279&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm.
- Habermas, Jürgen (2013): Die Zukunft der menschlichen Natur. Auf dem Weg zu einer liberalen Eugenik? 4. Aufl., erw. Ausg. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp Taschenbuch, 1744).
- Häder, D.-P. (1987): Polarotaxis, gravitaxis and vertical phototaxis in the green flagellate, *Euglena gracilis*. In: *Archives of Microbiology* 147 (2), S. 179–183. DOI: 10.1007/BF00415281.
- Hannovermesse (Hg.) (2015): Biotechnica und Labvolution Trend zur Biologisierung und Digitalisierung. Messe in Hannover. Online verfügbar unter <https://www.messen.de/de/3736/news/Messe%20in%20Hannover%20-%20BIOTECHNICA%20und%20LABVOLUTION:%20Trend%20zu%20Biologisierung%20und%20Digitalisierung.html>, zuletzt geprüft am 05.12.2017.
- Hanson Robotics (Hg.) (2018): We bring robots to life. Hanson Robotics. Online verfügbar unter <http://www.hansonrobotics.com/>, zuletzt geprüft am 17.03.2018.
- Hebenstreit, Kai (2016): Das Plattformen & Ökosysteme-Geschäftsmodell. Hg. v. manyzimagazin. Online verfügbar unter <https://www.manyzimize.com/%C3%B6kosystem-gesch%C3%A4ftsmodell-case-study>, zuletzt geprüft am 09.01.2018.
- Hiekel, Susanne (2008): Renaissance der Essenzen? Vom Wesen der Lebewesen. Sektionsbeiträge Lebenswelt und Wissenschaft, XXI Deutscher Kongress für Philosophie, 2008. Online verfügbar unter http://www.dgphil2008.de/fileadmin/download/Sektionsbeitraege/22-1_Hiekel.pdf.
- Hillerbrand, Rafaela (2017): Mensch und Technik Wer beherrscht wen? In: *Die Politische Meinung* 62 (546), S. 25–30.
- Honecker, Martin (1995): Grundriss der Sozialethik. Berlin: de Gruyter (De Gruyter Lehrbuch).
- Hubig, Christoph (2013a): Günter Ropohl: Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der allgemeinen Technologie. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 329–334.
- Hubig, Christoph (2013b): Günther Anders: Die Antiquiertheit des Menschen. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 55–58.
- Hubig, Christoph (2013c): Hermann Ley: Dämon Technik. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 248–252.
- Hubig, Christoph; Huning, Alois; Ropohl, Günter (Hg.) (2013): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma.
- Huning, Alois (2013a): Friedrich Dessauer: Streit um die Technik. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 128–131.
- Huning, Alois (2013b): Friedrich von Gottl-Ottilienfeld. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 164–170.

- Ingensiep, Hans Werner (1997): Biologie als Lebenskunde: Eine Lehre fürs Leben? In: *Essener Unikate* (9), S. 99–107.
- Ingensiep, Hans Werner (2002): Was ist Leben? – Grundfragen der Biophilosophie. In: *Jahrbuch Ökologie. Orig.-Ausg.* München: Beck (Beck'sche Reihe, 01446), S. 92–103.
- Ingensiep, Hans Werner (2016): Leben mit System? Der Systembegriff in der Biologie. In: *agora* 42 (2), S. 15–18.
- Isaacson, Walter (2011): *Steve Jobs*. New York, NY: Simon & Schuster.
- Jax, Kurt (1996): Über die Leblosigkeit ökologischer Systeme. Zur Rolle des individuellen Organismus in der Ökologie. In: Hans Werner Ingensiep (Hg.): *NaturStücke. Zur Kulturgeschichte der Natur*. Ostfildern: Ed. Tertium, S. 209–230.
- Kaplan, Jerry (2017): *Künstliche Intelligenz. Eine Einführung*. 1st ed. Frechen: MITP (mitp Professional).
- Kapp, Ernst; Maye, Harun (Hg.) (2015): *Grundlinien einer Philosophie der Technik. Zur Entstehungsgeschichte der Kultur aus neuen Gesichtspunkten*. Hamburg: Meiner (Philosophische Bibliothek, 675).
- Kirchman (1871): *Aristoteles Metaphysik*. 2 Bände. Berlin: L. Heiman.
- Koenen, Klaus (2007): *Eschatologie (AT)* (Bibelwissenschaft.de). Online verfügbar unter <https://www.bibelwissenschaft.de/stichwort/20917/>, zuletzt geprüft am 13.02.2018.
- Kornwachs, Klaus (2013a): *Philosophie der Technik*. 1. Aufl. München: C.H.Beck (C.H.Beck Wissen). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.17104/9783406638343>.
- Kornwachs, Klaus (2013b): Stanislaw Lem: *Summa technologiae*. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): *Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen*. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 231–236.
- Kornwachs, Klaus (2015): *Philosophie für Ingenieure*. München: Hanser.
- Kornwachs, Klaus (2018): *Let it Grow – About the Biologisation of Technology and Work*. *Futuras in Res Conference: Biological Transformation of Manufacturing*. Fraunhofer-Gesellschaft, 28.06.2018.
- Kranzberg, Melvin (1986): *Technology and History: "Kranzberg's Laws"*. In: *Technology and Culture* 27 (3), S. 544–560. DOI: 10.2307/3105385.
- Kühn, A. (1919): *Die Orientierung der Tiere im Raum*. Jena: Fischer.
- Kümmel, Rolf (1985): *Wasser - Sphinx unter den Flüssigkeiten*. In: *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica* 13 (5), S. 541–548. DOI: 10.1002/aheh.19850130502.
- Kuß, Alexander (2014): *Einheit Fahrrad und Mensch*. Hg. v. Radfahrersicherheitsschule Kuß. Radfahrersicherheitsschule Kuß. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.radfahrersicherheitsschule-kuss.de/unsere-themen/einleitung-einheit-fahrrad-und-mensch/>, zuletzt geprüft am 21.03.2018.
- Kutschera, Ulrich (2015): *Evolutionsbiologie*. 4. vollst. überarb. Aufl. Stuttgart, Stuttgart: UTB GmbH; Ulmer. Online verfügbar unter <http://www.utb-studi-e-book.de/9783838586236>.
- Kwok, Roberta (2015): *Noch einmal mit Gefühl*. In: Frank Schubert (Hg.): *Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2), S. 34–38.
- Lambertz, Mark (2016): *Partizipation und die Evolution von Organisationen*. Hg. v. Unternehmensdemokratie. Online verfügbar unter <http://www.unternehmensdemokraten.de/partizipation-und-die-evolution-von-organisationen/>, zuletzt geprüft am 09.01.2018.
- Lammert, Berthold (1953): *Mensch und Technik*. In: *DIE ZEIT* 1953, 1953 (15). Online verfügbar unter <http://www.zeit.de/1953/15/mensch-und-technik>, zuletzt geprüft am 02.03.2018.
- Langenbach, J. (2012): *Amöbe: Kein Hirn, aber Intelligenz*. In: *Die presse*. Online verfügbar unter (https://diepresse.com/home/science/1304309/Amoebe_Kein-Hirn-aber-Intelligenz), zuletzt geprüft am 24.01.2018.
- Latour, Bruno (2001): *Das Parlament der Dinge. Für eine politische Ökologie*. 1. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Edition Zweite Moderne).

Lauer, Christopher (2016): Star Trek: Ihre Zukunft wurde Realität. In: *DIE ZEIT* 2016, 06.12.2016 (46). Online verfügbar unter <http://www.zeit.de/2016/46/star-trek-gene-roddenberry-christopher-lauer-liebesbrief>, zuletzt geprüft am 23.02.2018.

Lengeler, J. W.; Müller, B. S.; Di Primio, F. (1999): Neubewertung kognitiver Leistungen im Lichte der Fähigkeiten einzelliger Lebewesen. In: *Kognitionswissenschaft* 8 (4), S. 160–178. DOI: 10.1007/BF03354938.

Lenzen, Manuela (2002): Natürliche und künstliche Intelligenz. Einführung in die Kognitionswissenschaft. Frankfurt/Main: Campus-Verl. (Campus-Einführungen). Online verfügbar unter <http://www.sub.uni-hamburg.de/ebook/ebook.php?act=b&cid=955>.

Levchenko, A.; Iglesias, P. A. (2002): Models of Eukaryotic Gradient Sensing. Application to Chemotaxis of Amoebae and Neutrophils. In: *Biophysical Journal* (82), S. 50–63. Online verfügbar unter https://ac.els-cdn.com/S0006349502753733/1-s2.0-S0006349502753733-main.pdf?_tid=ec3e9efe-0101-11e8-90a5-00000aacb361&acdnat=1516797020_75dcd6108206a870f257996706469562, zuletzt geprüft am 24.01.2018.

Lipkowski, Sylvia; Gloger, Svenja (2007): Was lernen Manager von Hund, Vogel, Wolf? Tiere als Co-Trainer. Tiere als Co-Trainer. Hg. v. mangaerseminare.de. Online verfügbar unter https://www.managerseminare.de/ms_Artikel/Tiere-als-Co-Trainer-Was-lernen-Manager-von-Hund-Vogel-Wolf,156843, zuletzt geprüft am 06.12.2017.

Mahner, Martin; Bunge, Mario (2000): Philosophische Grundlagen der Biologie. Berlin: Springer.

Mannino, A.; Althaus, D.; Erhardt, J., Gloor, L., Hutter, A.; Metzinger, T. (2015): Künstliche Intelligenz: Chancen und Risiken. Diskussionspapiere der Stiftung für Effektiven Altruismus. Hg. v. Stiftung für Effektiven Altruismus. Online verfügbar unter <https://ea-stiftung.org/kuenstliche-intelligenz/>, zuletzt geprüft am 13.03.2018.

Marzi, Thomas; et.al. (2017): Kohlenstoff, Biomasse und Regenerativer Strom-Ressourcen einer neuen Kohlenstoffwirtschaft. 1. Auflage. Oberhausen, Rheinland: Laufen, K M.

Mast, S. O. (1926): Structure, movement, locomotion, and stimulation in amoeba. In: *Journal of Morphology* 41 (2), S. 347–425. DOI: 10.1002/jmor.1050410205.

Meier, Karlheinz (2007): Computer nach dem Vorbild des menschlichen Gehirns. Wie es gelingen kann, das menschliche Gehirn und seine Arbeitsweise nachzuahmen. Hg. v. Universität Heidelberg. Online verfügbar unter <http://www.uni-heidelberg.de/presse/ruca/ruca07-1/vorbild.html>, zuletzt geprüft am 01.12.2017.

Meinel, Christoph (2017): Zwischen Phantasie und Wirklichkeit - Mythos Künstliche Intelligenz. In: *Die Politische Meinung* 62 (546), S. 13–18.

Melcher, Helmut (2011): Die Organisation und ihr Ökosystem. Eine Herleitung des immer populärerem Begriffs "Business Ecosystem". Hg. v. [xrmblog](http://www.xrmblog.de). Online verfügbar unter <http://www.xrmblog.de/2011/09/die-organisation-und-ih-okosystem/>, zuletzt geprüft am 09.01.2018.

Memory Alpha (Hg.) (2018): Die Technik der USS Enterprise. Replikator. Online verfügbar unter <http://de.memory-alpha.wikia.com/wiki/Replikator>, zuletzt aktualisiert am 23.02.2018.

Merkel, Reinhard (2015): Neuroenhancement aus normativ-rechtlicher Sicht. In: Frank Schubert (Hg.): Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2), S. 80–87.

Metzinger, Thomas (2015): Verkörperung in Avataren und Robotern. In: Frank Schubert (Hg.): Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2), S. 48–55.

Meyer, Anneke (2015): Alles im Griff. In: Frank Schubert (Hg.): Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2), S. 28–32.

Miehe, Robert; Sauer, Alexander (2018): Biointelligente Wertschöpfung. Hg. v. Fraunhofer IPA. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA. Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.ipa.fraunhofer.de/de/ueber_uns/Leitthemen/biointelligente-Wertschoepfung.html, zuletzt geprüft am 20.07.2018.

Moos, Thorsten (2014a): künstliches leben gibt es nicht. Anmerkungen zur Ethik der synthetischen Biologie. In: *systembiologie.de Das magazin für systembiologische Forschung in Deutschland* (8), S. 16–18. Online verfügbar unter https://www.systembiologie.de/lw_resource/datapool/_items/item_82/systembiologie_magazin_ausgabe08.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2017.

Moos, Thorsten (2014b): Paul Tillichs Technikdeutung im Kontext seiner wissenschaftssystematischen religionsphilosophischen Schriften der 1920er Jahre. In: Anne-Maren Richter (Hg.): *Technik und Lebenswirklichkeit. Philosophische und theologische Deutungen der Technik im Zeitalter der Moderne*. 1. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer, S. 67–93.

MPG (Hg.) (2017): *Synthetische Biologie*. Max-Planck-Gesellschaft. Online verfügbar unter <https://www.synthetische-biologie.mpg.de/>, zuletzt geprüft am 01.12.2017.

Nachtigall, Werner (2008): *Bionik. Lernen von der Natur*. Originalausgabe. München: Verlag C.H. Beck (Beck'sche Reihe C.H. Beck Wissen, 2436).

Nakagaki, T. (2001): Smart behavior of true slime mold in a labyrinth. In: *Research in Microbiology* 152 (9), S. 767–770. DOI: 10.1016/S0923-2508(01)01259-1.

Neugebauer, Raimund (2017): Vorwort. In: *weiter.vorn Das Fraunhofer Magazin* (1).

Neumann, Detlev (2016): Internet der Dinge: Eine kurze Definition mit 4 Beispielen. Hg. v. Digitaler Mittelstand. Telekom Deutschland GmbH. Bonn. Online verfügbar unter <https://digitaler-mittelstand.de/trends/ratgeber/internet-der-dinge-eine-kurze-definition-mit-4-beispielen-20287>, zuletzt aktualisiert am 29.01.2016, zuletzt geprüft am 21.03.2018.

Nida-Rümelin, Julian (1996): *Angewandte Ethik. Die Bereichsethiken und ihre theoretische Fundierung ; ein Handbuch*. Stuttgart: Kröner.

Nölke, Mathias (2011): Bakterien, Buisiness und Pfeifhasen - Was Führungskräfte von der Natur lernen können. In: Klaus-Stephan Otto und Thomas Speck (Hg.): *Darwin meets Business. Evolutionäre und bionische Lösungen für die Wirtschaft*. Wiesbaden: Gabler, S. 63–69.

Nordmann, Alfred (2004): *Converging technologies. Shaping the future of European societies ; report 2004*. Luxembourg: Office for Official Publ. of the Europ. Communities (European Commission Community research Report, 21357). Online verfügbar unter <http://bookshop.europa.eu/en/converging-technologies-pbKINA21357/>.

Nordmann, Alfred (2015): *Technikphilosophie zur Einführung*. 2. Auflage. Hamburg: Junius.

Norvig, Peter; Russell, Stuart (2012): *Künstliche Intelligenz*. 3. Auflage. München: Pearson Deutschland.

Otto, Klaus Stephan (2011): Mit Evolutionsmanagement Krisen erfolgreich durchsteuern. In: Klaus-Stephan Otto und Thomas Speck (Hg.): *Darwin meets Business. Evolutionäre und bionische Lösungen für die Wirtschaft*. Wiesbaden: Gabler, S. 19–33.

Otto, Klaus-Stephan; Nolting, Uwe; Bässler, Christel (2007): *Evolutionsmanagement. Von der Natur lernen; Unternehmen entwickeln und langfristig steuern*. München: Hanser.

Otto, Klaus-Stephan; Rösler, Stefan (2017): *Vernetztes Denken - Denken und Handeln in Ökosystemen*. Deutsches CSR-Forum. Ludwigsburg, 05.04.2017. Online verfügbar unter http://www.csrpreis.eu/F7/presentationen/Plenum_R%C3%B6sler%2C%20Otto.pdf, zuletzt geprüft am 20.04.2018.

Otto, Klaus-Stephan; Speck, Thomas (Hg.) (2011): *Darwin meets Business. Evolutionäre und bionische Lösungen für die Wirtschaft*. Wiesbaden: Gabler.

Pease, Robert (2005): *Living! robots powered by muscle*. Hg. v. BBC News. London. Online verfügbar unter <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/4181197.stm>.

Poser, Hans (2013): Joseph Alois Schumpeter: *Business Cycles. A Theoretical, Historical and statical Analysis of the Capitalis Process*. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): *Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen*. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma.

Poser, Hans; Karafyllis, Nicole C. (2013): José Ortega y Gasset: *Meditación de la técnica*. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): *Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen*. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 295–300.

Preiner, Martina (2016): Schöne, alte RNA-Welt? In: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft (Hg.): Spektrum der Wissenschaft kompakt: Vom Molekül zur komplexen Zelle. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, S. 40–46.

Prigogine, Ilya; Stengers, Isabelle; Griese, Friedrich (1993): Dialog mit der Natur. Neue Wege naturwissenschaftlichen Denkens. 7. Aufl., Neuaufl. 1990, (2. Aufl. dieser Ausg.), 37. - 40. Tsd., (9. - 12. Tsd. dieser Ausg.). München: Piper (Serie Piper, 1181).

Pringsheim, H. (1910): Die Variabilität niederer Organismen. Eine deszendenztheoretische Studie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-92124-7>, zuletzt geprüft am 22.02.2018.

Rapp, Friedrich (2013): Gilbert Simondon: Du mode del'existence des objets techniques. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 358–362.

Rapp, Friedrich; Ropohl, Günter (2013): Historische und systematische Übersicht. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 41–52.

Rehmann-Sutter, Christoph (2013): Das "Leben" synthetischer Zellen. In: Deutscher Ethikrat (Hg.): Werkstatt Leben. Bedeutung der Synthetischen Biologie für Wissenschaft und Gesellschaft, Vorträge der Tagung des Deutschen Ethikrates 2011. Berlin, S. 75–88. Online verfügbar unter <http://www.ethikrat.org/dateien/pdf/tagungsdokumentation-werkstatt-leben.pdf>, zuletzt geprüft am 03.01.2018.

Reid, C. R.; Latty, T.; Dussutour, A.; Beekman, M. (2012): Slime mold uses an externalized spatial "memory" to navigate in complex environments. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109 (43), S. 17490–17494. DOI: 10.1073/pnas.1215037109.

Ricardo, Alonso; Szostak, Jack W. (2016): Präbiotische Evolution. Der Ursprung irdischen Lebens. In: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft (Hg.): Spektrum der Wissenschaft kompakt: Vom Molekül zur komplexen Zelle. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft, S. 18–29.

Richardson, Kathleen (2017): Computerliebe. Sexroboter könnten der Tech-Branche den nächsten großen Boom beschern. Die Anthropologin Kathleen Richardson will das verhindern. In: *DIE ZEIT*, 09.11.2017 (46), S. 34.

Richter, Anne-Maren (Hg.) (2014): Technik und Lebenswirklichkeit. Philosophische und theologische Deutungen der Technik im Zeitalter der Moderne. 1. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.

Richter, Dirk (2005): Das Scheitern der Biologisierung der Soziologie. Zum Stand der Diskussion um die Soziobiologie und anderer evolutionstheoretischer Ansätze. In: *Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie* 57 (3), S. 523–542. Online verfügbar unter https://www.uzh.ch/cmsssl/suz/dam/jcr:00000000-7755-bd7c-0000-00004b37c8f5/05.26_richter_05.pdf.

Riedl, Rupert (1975): Die Ordnung des Lebendigen. Systembedingungen der Evolution. Hamburg: Parey.

Roco, M. C.; Bainbridge, W.S. (2003): Converging Technologies for Improving Human Performance. Science (NBIC) Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive. In: Mihail C. Roco (Hg.): Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Dordrecht u.a.: Springer, S. 1–27.

Roco, Mihail C. (Hg.) (2003): Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Dordrecht u.a.: Springer.

Ropohl, Günter (2009): Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing. Online verfügbar unter <http://www.doabooks.org/doab?func=fulltext&rid=15084>.

Ropohl, Günter (2013): Karl Marx: Das Kapital, Grundrisse der Kritik der politischen Ökonomie, Zur Kritik der politischen Ökonomie. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma, S. 276–281.

Roth, G. (2010): Einzeller – komplexes Verhalten ohne Nervensystem. In: G. Roth (Hg.): *Wie einzigartig ist der Mensch? Die lange Evolution der Gehirne und des Geistes*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, S. 79–89, zuletzt geprüft am 24.01.2018.

Schaap, P.; Konijn, T. M.; Haastert, van P. J. M. (1984): cAMP pulses coordinate morphogenetic movement during fruiting body formation of *Dictyostelium minutum*. In: *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 81, S. 2122–2126. Online verfügbar unter <http://www.pnas.org/content/pnas/81/7/2122.full.pdf>, zuletzt geprüft am 08.02.2018.

Schäfer, E. (2012): *Mechanik und Dynamik biologischer Modellsysteme am Beispiel aktungefüllter Vesikel und synchroner Zellmigration von Dictyostelium discoideum*. Dissertation. Georg-August Universität Göttingen. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1044074051/34>, zuletzt geprüft am 24.01.2018.

Schark, Marianne (2006a): *Lebewesen als ontologische Kategorie*. In: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): *Philosophie der Biologie. Eine Einführung*. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 1745), 175ff.

Schark, Marianne (2006b): *Organismus-Maschine. Analogie oder Gegensatz?* In: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): *Philosophie der Biologie. Eine Einführung*. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 1745), 418 ff.

Schnabel, Ulrich (2017): *Wasser. Das fremde Element: Wasser ist farblos, geschmacklos, ein Allerweltstoff und ziemlich langweilig? Wenn Sie wüssten!* In: *DIE ZEIT* (47). Online verfügbar unter <http://www.zeit.de/2017/47/wasser-element-leben-wissenschaft>, zuletzt geprüft am 28.11.2017.

Schneidewind, Uwe (2009): "Shifting baselines" - Zum schleichenden Wandel in stürmischen Zeiten. Öffentliche Vorlesung anlässlich seines Ausscheidens aus dem Präsidentenamt der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Oldenburg: BIS-Verl. der Univ (Oldenburger Universitätsreden, 185). Online verfügbar unter <http://opus.kobv.de/cvo/volltexte/2009/919>.

Schrödinger, Erwin (1989): *Was ist Leben? Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers betrachtet*. 3. Aufl., Neuausg. 1989, (1. Aufl. dieser Ausg.), 6. - 12. Tsd., (1. - 7. Tsd. dieser Ausg.). München: Piper (Serie Piper, 1134).

Schubert, Frank (Hg.) (2015): *Mensch, Maschine, Visionen. Wie Biologie und Technik verschmelzen*. Berliner Kolloquium der Daimler und Benz Stiftung 18. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verl.-Ges (Spektrum der Wissenschaft Spezial Physik, Mathematik, Technik, 2015,2).

Schüler, Julia (2015): *Die Biotechnologie-Industrie. Ein Einführungs-, Übersichts- und Nachschlagewerk*. 1. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum. Online verfügbar unter <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=4405879>.

Schulze, Annett; Schäfer, Thorsten (Hg.) (2012): *Zur Re-Biologisierung der Gesellschaft. Menschenfeindliche Konstruktionen im Ökologischen und im Sozialen*. Aschaffenburg: Alibri-Verlag.

Schütte, Tino (2016): *Was ist Evolutorische Ökonomik?* Hg. v. TU Dresden. TU Dresden. Dresden. Online verfügbar unter <https://tu-dresden.de/bu/wirtschaft/me/forschung/evolutorische-oekonomik>, zuletzt aktualisiert am 27.03.2018.

Schwerin, M. (2009): *Die Zucht hochleistender und gesunder Milchkühe – nur ein Traum?* In: *Züchtungskunde* 81 (6), S. 389–396.

Siegert, F.; Steinbock, O. (2008): *Die Natur schlägt Wellen. Spiralwellen organisieren die Entwicklung sozialer Amöben*. In: *Muster des Lebendigen- Faszination ihrer Entstehung und Simulation*. Online verfügbar unter <https://epub.ub.uni-muenchen.de/5969/1/5969.pdf>, zuletzt geprüft am 08.02.2018.

Simondon, Gilbert (2012): *Die Existenzweise technischer Objekte*. Unter Mitarbeit von Michael Cuntz. 2. Auflage. Zürich: Diaphanes (Sequenzia, 11).

Spektrum der Wissenschaft (Hg.) (1999): *Lexikon der Biologie Biowissenschaften*. Spektrum der Wissenschaft. Online verfügbar unter <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/biowissenschaften/8859>, zuletzt geprüft am 19.01.2018.

Spektrum der Wissenschaft (Hg.) (2015): *Roboter. Die Evolution der Maschinenwesen*. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH.

- Spiegel online (Hg.) (2004): Terminator 4 Muskel treibt Roboter an. Online verfügbar unter <http://www.spiegel.de/wissenschaft/mensch/terminator-4-muskel-treibt-roboter-an-a-288118.html>.
- Spiegel online (Hg.) (2010): Durchbruch Forscher erschaffen erstmals künstliches Leben. Online verfügbar unter <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/durchbruch-forscher-erschaffen-erstmalig-kuenstliches-leben-a-696016.html>, zuletzt geprüft am 09.01.2018.
- Springer Gabler (Hg.) (2018): Paradigma. Gabler Wirtschaftslexikon. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. Online verfügbar unter <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/8033/paradigma-v14.html>, zuletzt geprüft am 19.03.2018.
- Stark, Florian (2013): Schopenhauer – Menschenfeind, Weltversteher. Hg. v. Welt-Axel Springer Verlag. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/geschichte/article113825094/Schopenhauer-Menschenfeind-Weltversteher.html>, zuletzt aktualisiert am 22.02.2013, zuletzt geprüft am 17.03.2018.
- Stephan, Achim (2006): Emergente Eigenschaften. In: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): Philosophie der Biologie. Eine Einführung. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 1745), 88 ff.
- Szepanski, Achim (2015): Gilbert Simondon, Hochfrequenz-Handel und Ökotechnie. Hg. v. Opyriot.com. Opyriot.com. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter <https://non.copyriot.com/gilbert-simondon-hochfrequenz-handel-und-oekotechnie/>, zuletzt geprüft am 01.03.2018.
- Telgheder, Maike (2009): Die Biologisierung der Welt. Hg. v. Handelsblatt. Handelsblatt. Online verfügbar unter <http://www.handelsblatt.com/technik/forschung-innovation/zukunft-der-industrie-die-biologisierung-der-welt/3260566.html>, zuletzt geprüft am 06.12.2017.
- Tillich, P. (1961): Philosophie und Schicksal: Evangelisches Verlagswerk (Gesammelte Werke).
- Tillich, Paul (1962): Die verlorene Dimension. Not und Hoffnung unserer Zeit. [1. - 15. Tsd.]. Hamburg: Furche-Verl. (Stundenbücher, 9).
- Tillich, Paul (1987): Writings in the philosophy of religion. Religionsphilosophische Schriften. Hg. v. John Clayton. Berlin: de Gruyter.
- Toepfer, Georg (2006a): Der Begriff des Lebens. In: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): Philosophie der Biologie. Eine Einführung. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 1745), 157ff.
- Toepfer, Georg (2006b): Teleologie. In: Ulrich Krohs und Georg Toepfer (Hg.): Philosophie der Biologie. Eine Einführung. Frankfurt am Main: Suhrkamp (Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft, 1745), 36ff.
- Toepfer, Georg (2011a): Historisches Wörterbuch der Biologie Band 1. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe. Stuttgart, Weimar: Verlag J. B. Metzler.
- Toepfer, Georg (2011b): Historisches Wörterbuch der Biologie Band 2. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe. Stuttgart, Weimar: Verlag J. B. Metzler.
- Trogemann, Georg (2014): Synthese von Maschine und Biologie. Organische Maschinen und die Mechanisierung des Lebens. In: Gabriele Gramelsberger (Hg.): Synthesis. Zur Konjunktur eines philosophischen Begriffs in Wissenschaft und Technik. Bielefeld: Transcript-Verl. (Verkörperungen, 20), S. 171–192.
- van Est, Rinie; Stemerding, Dirk; Kukk, Piret; Hüsing, Bärbel; van Keulen, Ira; Schuijff, Mirjam Böhle Knut et al. (2012): Making Perfect Life. European Governance Challenges in 21st Century Bio-engineering. Brüssel: STOA Science and Technology Options Assessment, European Parliament.
- van Kranendonk, Martin J.; Djokic, Tara; Deamer, David (2017): Chemische Evolution. Wie entstand das Leben? In: *Spektrum der Wissenschaft* (12), S. 12–19.
- Vogt, Marina (2017): Nachhaltige Wirtschaft: Die Biologisierung der Technologie. Hg. v. Management Circle AG. Online verfügbar unter <http://www.management-circle.de/blog/nachhaltige-wirtschaft-die-biologisierung-der-technologie/>, zuletzt geprüft am 05.12.2017.
- Voigtländer, Michael; Demary, Markus (2016): Gesunde Bilanzen. Hg. v. Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. Köln. Online verfügbar unter <https://www.iwkoeln.de/presse/pressemitteilungen/beitrag/unternehmensfinanzierung-gesunde-bilanzen-272435.html>, zuletzt geprüft am 09.01.2018.
- Vollmer, Gerhard (1995): Biophilosophie. Stuttgart: Reclam (Universal-Bibliothek, 9386).

- Vollmer, Gerhard (2017): Im Lichte der Evolution. Darwin in Wissenschaft und Philosophie. Stuttgart: S. Hirzel Verlag.
- WBGU (2011): Welt im Wandel. Gesellschaftsvertrag für eine Große Transformation ; [Hauptgutachten]. Wissenschaftlicher Beirat Globale Umweltveränderungen. 2., veränd. Aufl. Berlin: Wiss. Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU). Online verfügbar unter <http://www.wbgu.de/hauptgutachten/hg-2011-transformation/>.
- Weiden, von der S. (2004): Pulsierender Schleim. In: *Die Welt*. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/print-welt/article354190/Pulsierender-Schleim.html>, zuletzt geprüft am 24.01.2018.
- Weitze, Marc-Denis (2011): Synthetische Biologie. In: *Chemie in unserer Zeit* 45, S. 316–323.
- Weizsäcker, Carl Friedrich von (1978): Deutlichkeit. Beiträge zu politischen und religiösen Gegenwartsfragen. München: Hanser.
- Welzer, Harald (2008): Klimakriege. Wofür im 21. Jahrhundert getötet wird. 3. Aufl.
- Werkstoff Verlag (Hg.) (2018): Der Mensch als Industriepalast. Werkstoff Verlag. Online verfügbar unter <http://www.werkstoff-verlag.de/publikationen/dermenschalsindustriepalast/>, zuletzt geprüft am 18.03.2018.
- Widenmeyer, Markus (2017): Reduktion und Emergenz – ist Leben mehr als komplexe Physik?
- Wiegerling, Klaus (2013): Gernot Böhme: Invasive Technisierung, Technikphilosophie und Technikkritik. In: Christoph Hubig, Alois Huning und Günter Ropohl (Hg.): Nachdenken über Technik. Die Klassiker der Technikphilosophie und neuere Entwicklungen. 3. Auflage. Berlin: Ed. Sigma.
- Wikipedia (2017a). Bioökonomie. Hg. v. Wikipedia. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Bio%C3%B6konomie>, zuletzt geprüft am 05.12.2017.
- Wikipedia (2017b): Biologisierung. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Biologisierung>, zuletzt geprüft am 05.12.2017.
- Wikipedia (2017c): Biologismus. Online verfügbar unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Biologismus>, zuletzt geprüft am 05.12.2017.
- Winner, Langdon (2001): The whale and the reactor. A search for limits in an age of high technology. Chicago: Univ. of Chicago Press.
- Wood, Robert; Nagpal, Radhika; Wei, Gu-Yeon (2015): Künstliche Bienen. In: Spektrum der Wissenschaft (Hg.): Roboter. Die Evolution der Maschinenwesen. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, S. 60–69.
- Xi, Jianzhong; Schmidt, Jacob J.; Montemagno, Carlo D. (2005): Self-assembled microdevices driven by muscle. In: *Nature materials* 4 (2), S. 180–184. DOI: 10.1038/nmat1308.
- Yonas, Gerold; Glicken Turnley, Jessica (2003): Socio-Tech... The Predictive Science of Social Behaviour. In: Mihail C. Roco (Hg.): Converging technologies for improving human performance. Nanotechnology, biotechnology, information technology and cognitive science. Dordrecht u.a.: Springer, S. 158–160.
- Zahavi, Dan (2010): Phänomenologie für Einsteiger. Paderborn: Fink (UTB Philosophie, 2935).

