

Synthetische Biologie – Leben als Konstrukt

Herausgegeben von
Günter Rager und
Gerhard Wegner

GRENZFRAGEN BAND 40
ALBER



Grenzfragen

Veröffentlichung des Instituts der Görres-Gesellschaft
für interdisziplinäre Forschung
(Naturwissenschaft – Philosophie – Theologie)
Herausgegeben von Günter Rager und Gerhard Wegner
Band 40

Synthetische Biologie – Leben als Konstrukt

Herausgegeben von
Günter Rager und Gerhard Wegner

Beiträge von

Gerhard Wegner

Günter Rager

Manfred Stöckler

A. Pühler

Ulrich Lüke

Jan Szaif

Peter Neuner

Ludger Honnefelder

Thomas Heinemann

Rüdiger Goldschmidt

Verlag Karl Alber Freiburg / München

Originalausgabe

© VERLAG KARL ALBER
in der Verlag Herder GmbH, Freiburg im Breisgau/München 2015
Alle Rechte vorbehalten
www.verlag-alber.de

Satz: W. Dittebrandt Layout & Satz, Baden-Baden
Druck und Bindung: Difo-Druck, Bamberg

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier (säurefrei)
Printed on acid-free paper
Printed in Germany

ISBN 978-3-495-48745-7
E-ISBN 978-3-495-80828-3

Inhalt

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Vorwort – Synthetische Biologie – Neue Debatte über das Leben | 7 |
| <i>Günter Rager /Gerhard Wegner</i> | |
| Konzepte, Strategien und Ziele der Synthetischen Biologie: eine kritische Betrachtung | 27 |
| <i>Gerhard Wegner</i> | |
| Morphologie und funktionelle Einheiten der Zelle | 53 |
| <i>Günter Rager</i> | |
| Synthetische Biologie im Lichte der Naturphilosophie: Ein Plädoyer für einen nüchternen Blick | 87 |
| <i>Manfred Stöckler</i> | |
| Von der Molekulargenetik zur Synthetischen Biologie – Geburt einer neuen Technikwissenschaft | 111 |
| <i>A. Pühler</i> | |
| Das Leben – natürlich, übernatürlich, künstlich? | 127 |
| <i>Ulrich Lücke</i> | |
| Natürlichkeit und Künstlichkeit Bemerkungen zur ethischen Problematik der Manipulier- barkeit des humangenetischen Substrats | 161 |
| <i>Jan Szajf</i> | |
| Lebens-Wert. Aspekte eines theologischen Verständnisses vom Leben | 197 |
| <i>Peter Neuner</i> | |

Inhalt

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Perfektionierung des Menschen? Paradigmen, Ziele und Grenzen | 209 |
| <i>Ludger Honnefelder</i> | |
| Leben als Konstrukt – Ethische Herausforderungen durch die Synthetische Biologie | 229 |
| <i>Thomas Heinemann</i> | |
| Legitimationsdruck und Akzeptanzentwicklung bei neuen Forschungsfeldern. Das Beispiel Synthetische Biologie | 267 |
| <i>Rüdiger Goldschmidt</i> | |
| Zu den Autoren | 293 |

Vorwort

Synthetische Biologie Neue Debatte über das Leben

Günter Rager / Gerhard Wegner

„Leben“ ist eines jener vielschichtigen Worte unserer Sprache, das erst durch Zufügen von Attributen, Konnotationen und im Kontext seines Gebrauchs zu einem kommunizierbaren Begriff wird. Menschliches Leben wird als hoher moralischer Wert betrachtet und muss unter allen Umständen „geschützt“ und „gerettet“ werden. Andererseits sagt der Dichter „Leben ist der Güter höchstes nicht“, meint jedoch etwas ganz anderes als die Rettung von Menschenleben. Menschen sollen unter „lebenswürdigen“ Umständen ihr Dasein verbringen und keinesfalls ein „Hundeleben“ erdulden müssen. Das „gesellschaftliche“ Leben bezeichnet einen ganz anderen Kontext, dem auch das „geistige“ Leben einer Person, einer Gruppe von Menschen oder eines ganzen Volkes zugeordnet wird. Der Lebensraum, die Lebensqualität, der Lebensstil bezeichnen wiederum andere Aspekte menschlicher oder manchmal auch animalischer Gesellschaften. „Leben“ qualifiziert sich auch durch seinen Gegensatz, den „Tod“. In diesen Kontext gehören Aussagen zum „ewigen“ Leben und auch zum Thema „geistiges“ Leben, das eine nicht an Materie gebundene Form lebender Wesen postuliert.

Der Begriff „Seele“ wird hierbei genutzt, um die besondere Qualität des Lebendigen von derjenigen „toter“ Materie zu unterscheiden. In vielen, auch rein naturwissenschaftlichen Texten, findet sich häufig die Unterscheidung von unbeseelter (englisch: un-

animate) und beseelter (englisch: animate) Materie, um Situationen zu unterscheiden, in denen sich die gleichen chemisch-physikalisch definierten Stoffe identifizieren lassen, jedoch einmal in „lebenden“ Wesen wie Tieren oder Pflanzen, zum anderen in abgestorbenen oder mineralischen Ablagerungen dieser Wesen. Dabei bleibt unklar, was mit „beseelt“ und „unbeseelt“ eigentlich gemeint ist, wenn dieser Begriff auf jegliche, auch einfachste Lebensformen angewendet wird, wie z.B. einzellige Lebewesen.

Dass die Unterscheidung von „lebend“ und „tot“ ganz und gar nicht einfach ist, zeigt die umfangreiche und leidenschaftliche Diskussionen zum Thema Organtransplantation, Hirntod und Präimplantation, die sich allerdings (nur) speziell auf den Beginn und das Ende individuellen menschlichen Lebens beziehen. Dahinter steht aber die viel weitreichendere Frage, was eigentlich Leben selbst in den einfachsten Lebensformen ausmacht und wie es unter irdischen Bedingungen vor langer Zeit entstanden ist oder entstanden sein könnte. Der letzte Halbsatz legt nahe, dass die (Natur)Wissenschaft hierzu keine fundierten Aussagen machen kann. Es handelt sich um eine der größten Fragen aktueller Forschung in den Naturwissenschaften. Diese Frage beschäftigt keineswegs nur die Biologie, also die Wissenschaft von den lebendigen Dingen, sondern zieht das gesamte Spektrum der Naturwissenschaften in ihren Bann, einschließlich der Gebiete der Informatik, der Astronomie und der reinen Mathematik.

Im Bereich der Naturwissenschaften besteht weitestgehend Übereinstimmung, dass selbst einfachste Lebensformen, die z.B. nur aus einer einzigen Zelle bestehen, bereits ein Maß an Komplexität aufweisen, das mit heutigen Mitteln und Methoden der exakten Naturwissenschaften noch nicht vollständig beschreibbar ist. Auch wenn einzelne Bestandteile auf der Ebene der Moleküle gut bekannt sind, so ist doch deren raum-zeitliche Wechselwirkung, die „Leben“ bedingt, weitestgehend nicht verstanden. Auf einer höheren Ebene der Abstraktion besteht Übereinstimmung, dass derar-

tige einfachste Lebensformen sich als „chemische Maschinen“ definieren lassen, die autonom fungieren. Autonomie bedeutet hier, dass sie 1) über einen molekular-definierten Apparat verfügen, in dem die Information über ihre Synthese gespeichert ist und aus dem diese Information ausgelesen und zur Synthese der eigenen molekularen Bauelemente genutzt wird, 2) dass diese Maschine mit ihrer Umgebung in Wechselwirkung treten kann, und zwar in Form von Stoff- und Energieaustausch. Letzteres wird als metabolische Aktivität zusammengefasst. Dies ist 3) nur möglich, wenn die Maschine über eine Begrenzung verfügt, die ihr Individualität verleiht, d.h. die Definition von „innen“ und „außen“ wird zum Wesensmerkmal dieser Maschine. Gemeinhin wird diese Funktion durch eine Zellmembran gewährleistet, deren Herstellung von der Zelle selbst bewerkstelligt wird. Schließlich ist diese Maschine 4) fähig, sich selbst zu reproduzieren, sich also zu vermehren.

Der Befund, dass alle Lebensformen, die wir auf unserem Planeten finden, den gleichen molekularen Mechanismus der Informationsspeicherung und Auslese nutzen, legt die Vermutung nahe, dass es einen ersten gemeinsamen Vorfahren gegeben haben muss, aus dem sich dann im Zuge der Evolution alle weiteren Lebensformen entwickelt haben, bis hin zum Menschen. Dies ist das Thema der Evolutionsbiologie. Sie kann jedoch keine Aussagen darüber treffen, wie die erste Lebensform entstanden ist und wie der Minimalorganismus ausgesehen hat, aus dem heraus die Evolution auf unserem Planeten ihren Ausgang genommen hat.

Vorsichtigerweise sprechen die mit dieser Frage befassten Naturwissenschaftler daher auch vom „Leben-wie-wir-es-kennen“ und schließen damit nicht aus, dass Leben auf anderen Planeten im Universum auch ganz andere Formen haben könnte, als wir es uns vorstellen.

Unabhängig von der materiellen Basis müssen jedoch die bereits genannten Bedingungen erfüllt werden, um eine autonom agierende Maschine zu gewährleisten, von der man sagen kann, dass sie

lebe. Ob eine solche Maschine bereits Selbstbewusstsein aufweist, ist eine weitreichende Frage, die hier nicht beantwortet werden kann, die aber andeutet, dass die Frage nach Entstehung und Funktion der ersten Lebensform auch ganz andere Fragen, wie z.B. die ‚Intelligenz‘ von Computern oder Computernetzwerken berührt.

Die bisherigen Ausführungen lassen sich insoweit zusammenfassen, dass molekulare Maschinen im Sinne der Bedeutung ihrer Bau- und Funktionselemente als Konstrukt zu bezeichnen sind. Insofern sind sie den uns bekannten und vom Menschen geschaffenen Maschinen ähnlich.

Dies gilt aber auch für den Begriff „Leben“ selbst, der ja nach Kontext ganz verschiedene Situationen erfasst. Diese Kontexte herauszuarbeiten ist Aufgabe und Ziel der Beiträge zu diesem Band der Reihe „Grenzfragen“ des Instituts der Görres-Gesellschaft für interdisziplinäre Forschung. Aus verschiedenen Blickwinkeln wird ausgehend vom Anspruch und Programm der naturwissenschaftlichen Arbeitsgebiete der Synthetischen Biologie versucht, den Begriff des Lebens als Konstrukt verschiedenster Konnotationen zu erfassen und in seiner Bedeutung klarzulegen. Sollte die Herstellung von Leben wirklich möglich und Ziel der Synthetischen Biologie sein, dann ergeben sich bedeutende ethische Probleme, die ebenfalls in diesem Band behandelt werden.

Der erste Beitrag zu dieser Sammlung von Aufsätzen stammt von *Gerhard Wegner*. Er befasst sich unter der Überschrift „Konzepte, Strategien und Ziele einer Synthetischen Biologie: eine kritische Betrachtung“ mit der Entstehungsgeschichte und Einordnung dieses neuen Gebietes der Naturwissenschaften und seinen Bezügen zu anderen Disziplinen. Dies erfordert den Blick auf die historische Entwicklung der Lebenswissenschaften, um die in der Öffentlichkeit beanspruchte und in den Medien herausgestellte Neuheit dieses Arbeitsgebietes in Perspektive zu stellen.

So erweist sich z.B. die häufig kolportierte Behauptung, dass die Synthetische Biologie die gleiche Bedeutung für die Lebenswissenschaften habe wie die Synthetische „Organische“ Chemie vor 200 Jahren und in Analogie zur Chemischen Industrie zu einer „Biologie-Industrie“ führen müsse, als eine Fehlinterpretation wissenschafts-historischer Entwicklungen. Der Beitrag zeigt die Wurzeln und methodischen Bezüge der Synthetischen Biologie zu anderen Teildisziplinen von Chemie, Physik, Biologie, Informatik usw. auf und erläutert, dass es sich um ein Konglomerat handelt, dessen Bedeutung sich aus der Qualität der ins Visier genommenen Fragestellungen ergibt und nicht aus methodischer Neuheit.

Der deutlichste Bezug ergibt sich zur Systembiologie, einem modernen Teilgebiet der Biologie. Die Systembiologie hat sich zum Ziel gesetzt, Organismen ganzheitlich zu beschreiben und zu verstehen, also die Komplexität zumindest einfachster Lebensformen so zu erfassen, dass eine Beschreibung mit den Methoden der mathematischen Modellierung und Bioinformatik möglich wird. Dies schließt auch das Verhalten dieser einfachen Systeme ein, d.h. das gesamte Spektrum der Wechselwirkungen der Lebensformen untereinander und mit ihrer Umwelt. Die Systembiologie liefert die unentbehrlichen Vorlagen für die Aufgaben, die sich die Synthetische Biologie stellt: nämlich die Konstruktion von einfachsten Lebensformen aus den dazu nötigen Substrukturen und molekular definierten Komponenten. Insofern ist es richtig, wenn man sagt, die Synthetische Biologie habe die Sicht des Ingenieurs auf die Biologie zum Inhalt.

Vereinfacht gesagt geht es um die Definition und Konstruktion einer sogenannten „Minimalzelle“, die sich auch als molekulare Maschine verstehen lässt. Diese Maschine soll alle Phänomene aufweisen, die eine lebende Zelle auszeichnen, also Stoffwechsel, Reproduktion, Zellteilung usw. Es ist nur zu verständlich, dass die so formulierte Herausforderung von der Annahme ausgeht, dass „Leben“ eine Konsequenz des komplexen Zusammenwirkens mo-

lekular definierter Komponenten und ihrer Kommunikation mit ihrer wie auch immer definierten Umwelt ist. Hierfür wird der Begriff der Emergenz oder auch Autopoiese verwendet. Der Begriff deutet an, dass die „Maschine zu laufen beginnt“, sobald ein bestimmter Grad der Komplexität ihrer Komponenten erreicht ist und die Kommunikation mit der Umwelt funktioniert. Die Analogie zum Starten eines Motors ist angebracht. Mit ihrem Anspruch gerät die Synthetische Biologie in Konflikt mit Weltanschauungen, in denen „Lebenskraft“ und „Schöpfung des Lebens“ eine wichtige Rolle spielen.

Die Frage, ob und wie sich synthetische Lebensformen, d.h. einfachste Organismen herstellen lassen, ist daher von grundsätzlicher Bedeutung und wird nicht dadurch in ihrer Relevanz geschmälert, dass an dem Erfolg der Synthetischen Biologie z.T. utopische Hoffnungen geknüpft werden, die von der Erzeugung neuer Heilmittel über Werkstoffe mit wunderbaren Eigenschaften bis zum Entstehen neuer umwelt- und klimaschonender Industrien träumen. Ein nüchterner Blick auf die Situation unseres derzeitigen Wissens und Vergleich mit anderen Wissensgebieten legt solche Ansprüche als pure Propaganda offen.

Andererseits bedient die Synthetische Biologie mit ihrem Programm und Anspruch der Schaffung „neuer“ Lebensformen – selbst wenn sich das zur Zeit lediglich auf die Erzeugung von „Minimalzellen“ bezieht – archetypische Ängste und Phantasien, die spätestens seit dem 19. Jahrhundert immer wieder die Vorlage zu literarischen und soziokulturellen Phänomenen liefern. Ein Schlüsselbegriff ist das Frankenstein-Syndrom, das in vielerlei Variationen und Ausschmückungen immer wieder – bis heute – die Vorlage zu Romanen, Filmen, bis hin zu Horrorphantasien bietet: Forscher schaffen aus toter Materie, z.B. auch aus Leichenteilen, einen künstlichen Menschen, der entweder Gegenstand eines grausamen Schicksals wird oder aber in nicht vorhergesehener und katastrophaler Weise in die Lebenswelt seines Umfelds eingreift.

In dieses Kapitel gehört auch das Thema der Herrschaft von Maschinen über die Menschen, sobald die Maschinen einen nicht näher definierten Grad von Komplexität erreicht haben und damit „Selbstbewusstsein“ erlangen. Der Begriff der künstlichen Intelligenz, der moderne Entwicklungen der Informatik bezeichnet, trägt zu solchen Befürchtungen bei. Letztendlich – so dieser Beitrag – wird die Synthetische Biologie dabei helfen, Begriffe wie Lebenskraft oder auch Schöpfung des Lebendigen einer schärferen Definition zuzuführen.

Um besser zu verstehen, worum es in der Synthetischen Biologie geht, sollte man mehr wissen über die Zelle, ihre Struktur und die Funktionsweisen ihrer Elemente. *Günter Rager* liefert einen Überblick über „Morphologie und funktionelle Einheiten der Zelle“. Nach einem kurzen Gang durch die Geschichte und die Methoden der Zellforschung gibt er eine Übersicht über den Bauplan der Zelle und beschreibt die Elemente und Kompartimente der Zelle sowohl unter morphologischen als auch molekularbiologischen Gesichtspunkten. Da die genetische Information für die Synthetische Biologie von großer Bedeutung ist, wird der Verankerung dieser Information in der DNA und ihrer Übersetzung für die Herstellung von Proteinen durch Transkription und Translation besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Das primäre Transkript der DNA in die RNA enthält noch große Abschnitte (Introns), die anscheinend keinen Beitrag für die Herstellung der Proteine leisten. Sie werden durch den Vorgang des Spleißens entfernt. Die durch das Spleißen entstandene definitive RNA (mRNA) dient dann als Matrize für die Herstellung von Proteinen. Mit diesem Vorgang der Translation wird das Alphabet der Nukleotide in der RNA übersetzt in das Alphabet der Aminosäuren in den Proteinen. Diese Übersetzung ist aber nicht eineindeutig, weil mehrere Nukleotid-Tripletten (Codons) für die gleiche Aminosäure codieren. Schon hier zeigt sich, dass die genetische Information nicht eins-zu-eins

auf die Sprache der Proteine übersetzt wird. Die Übersetzung steht, wie man heute weiß, unter dem modifizierenden Einfluss anderer Faktoren, nämlich den epigenetischen Mechanismen, über die auch die Einflüsse der Umwelt einer Zelle zur Geltung kommen. Die Möglichkeiten der Einflussnahme der Umwelt über die Genetik variieren stark mit dem Entwicklungsalter des Organismus. Die Beschreibung dieser Vorgänge wird durch zahlreiche Abbildungen verständlich gemacht.

Im letzten Teil geht Rager auf einige wichtige Probleme der molekularen Genetik ein. Das Human Genome Project (HUGO) hat zwar das Alphabet der DNA entschlüsselt. Wir sind aber weit davon entfernt, mit diesem Alphabet sinnvolle Sätze zu bilden. Selbst der Begriff des Gens wurde in Frage gestellt und schließlich durch eine sehr allgemeine Formulierung umschrieben. Sodann zeigte sich, dass das Genom der Spezies Mensch sehr komplex ist und viele verschiedene Genvarianten beinhaltet. Deshalb wurden Anschlussprojekte wie das Human Genome Diversity Project (HGDP) ins Leben gerufen, um mehr über diese Komplexität zu erfahren. Der Transkriptions- und Translationsprozess stellte sich ebenfalls als sehr komplex heraus. Es werden laufend neue Mechanismen entdeckt, die das Verständnis dieser Prozesse immer schwieriger machen. Hierzu gehört z. B. die mikroRNA (miRNA), welche die Genexpression auf der post-transkriptionellen Seite hochspezifisch regulieren kann.

Angesichts dieser Komplexität und Variabilität stellt sich die Frage, ob und inwieweit die vielfältigen Ziele der Synthetischen Biologie realistisch sind. Ferner sollte man die Gefahren des Missbrauchs nicht übersehen. Die Möglichkeiten des Missbrauchs reichen von gesundheitsschädigenden Nahrungsmitteln bis zum Bioterrorismus.

In seinem Beitrag „Von der Molekulargenetik zur Synthetischen Biologie – Geburt einer neuen Technikwissenschaft“ stellt *Alfred*

Pühler die Synthetische Biologie unter dem Aspekt der Technikwissenschaften dar. Er fokussiert seine Darstellung auf einzellige Organismen wie Bakterien, Hefen und Pilze und klammert mehrzellige Organismen aus. Da eine kurze prägnante Definition der Synthetischen Biologie bislang fehlt, legt *Pühler* seinen Ausführungen die umfangreiche Umschreibung dieses Gebiets zugrunde, wie sie von der Deutschen Forschungsgemeinschaft, der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften und der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina 2009 veröffentlicht wurde. Diese Umschreibung weist auf ingenieurwissenschaftliche Prinzipien hin und hebt hervor, dass die Synthetische Biologie Eigenschaften natürlich vorkommender Zellen nutzt, um neuartige Zellen zu konstruieren. Als Wurzeln der Synthetischen Biologie sieht er die Entschlüsselung des genetischen Codes, die Entwicklung der Gentechnik, welche erlaubt, Erbinformationen aus beliebigen Organismen in einzellige und mehrzellige Lebewesen einzufügen, die Sequenzierung der DNA und schließlich die chemische Synthese der DNA. In den Medien wurde die Synthetische Biologie im Frühjahr 2010 präsent durch eine Publikation der Craig Venter-Gruppe, welcher es gelang, eine bakterielle Zelle zu konstruieren, die von einem chemisch synthetisierten Genom gesteuert wird. Es ist aber festzuhalten, dass dabei nicht etwas Neues geschaffen, sondern schon Vorhandenes nachgebaut wurde. Synthetische Biologie konstruiert lebende Systeme unter Verwendung von vorhandenen biologischen Komponenten. Das ist scharf abzugrenzen von der Herstellung künstlichen Lebens. Bis heute ist kein künstliches Leben geschaffen worden.

Heute wird die Synthetische Biologie oft als komplexe Gentechnik verstanden, mit der man wichtige Substanzen synthetisieren kann. Ein bekanntes Beispiel ist die Biosynthese der Antimalaria-Substanz Artemisinin. Die Entwicklung von Minimalzellen ist ein weiteres wichtiges Ziel der Synthetischen Biologie. Minimalzellen sollen nur essentielle Gene, also ein Minimalgenom enthalten. Sie

sollen u.a. dazu dienen, bestimmte Substanzen zu produzieren. Damit werden aber auch Gefahrenpotenziale der Synthetischen Biologie sichtbar, nämlich die Möglichkeit, biologische Waffen zu entwickeln. Mit der Planung und Realisierung von synthetischen Mikroorganismen durch Zusammenführung von Eigenschaften aus unterschiedlichen in der Natur vorkommenden Lebewesen wird der Weg zur Technikwissenschaft beschritten. Weitreichende Pläne und Ziele für die Zukunft sind vorhanden. Gegenwärtig ist aber die Synthetische Biologie über Anfangserfolge noch nicht hinausgekommen.

Soll man oder muss man sogar die Synthetische Biologie aus der Sicht der Naturphilosophie oder der Wissenschaftstheorie anders beurteilen als z.B. die Gentechnik heutigen Standes? Ergeben sich daraus neue normative Konsequenzen? Diesen Fragen stellt sich *Manfred Stöckler* in seinem Beitrag unter dem Titel „Synthetische Biologie im Lichte der Naturphilosophie: ein Plädoyer für einen nüchternen Blick“.

Alles beginnt mit der Frage, ob das nicht vom Menschen Beeinflusste, das wir „natürlich“ nennen, besser als das „Künstliche“, d.h. „Synthetische“ ist. Oder kann man nicht gerade durch Eingriffe in die Natur eine bessere Welt schaffen? Stöckler stellt Versuche vor, die Frage, was eigentlich „Leben“ ist, durch eine explizite Definition zu beantworten und zwar mit dem Ziel, die normativen Folgen des zur Zeit gängigen Begriffs „Leben“ herauszuarbeiten.

Hinter einzelnen Debatten um den Begriff „Leben“ und seiner ethischen Implikationen stehen – so Stöckler – meist Wertvorstellungen, die eher historisch und kulturell begründet sind als dass sie auf explizite philosophische und ethische Argumente zurückgeführt werden können. Im Grund geht es bei der Unterscheidung zwischen Lebewesen und Maschinen darum, dass man den Lebewesen – anders als Maschinen – eine besondere Lebenskraft zuweist und sie damit als besonders schützenswert definiert. Ande-

rerseits darf man im Sinne reduktionistischer Ausdrucksweise sagen: Lebewesen verhalten sich in bestimmter Hinsicht und mit Blick auf das Zusammenwirken verschiedener molekularer Funktionseinheiten **wie** Maschinen. Letztendlich stellt sich die Frage, ob synthetisch hergestellten Lebewesen eine Würde zukommen kann oder soll?

Entlang dieser Fragen und Gedankengänge findet Stöckler, dass die Synthetische Biologie mit ihrem Programm keineswegs einen neuen Begriff vom Leben nahelegt oder gar begründet. Ein besonderes und über derzeitige Definitionen hinausreichendes Verständnis von Leben liege nicht vor. Seine Ausführungen zum Thema: Biologie als Ingenieurwissenschaft nehmen Bezug auf mögliche Anwendungen der Ergebnisse Synthetischer Biologie; dazu gehören die Übertragung technischen Handelns auf die Herstellung neuer Organismen mit Zielen der Bewältigung komplexer technischer Herausforderungen. Schließlich setzt sich Stöckler mit dem in neuerer Zeit häufig geäußerten Vorwurf auseinander, der Mensch bzw. der Forscher „spiele Gott“, wenn er auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie forsche. Im Sinne einer solchen Aussage wäre es Hybris, Leben synthetisch zu erzeugen. Vermutlich – so Stöckler – sind solche Vorwürfe nicht religiös hinterfüttert, sondern es geht lediglich um zugkräftige Formulierung von Schlagzeilen in populären Journalen, es sei denn, es gäbe ein Tabu (von wem verhängt?) an der Grenze von Belebtem und Unbelebtem. Drastische Bilder und Aussagen wie „Gott spielen“ appellieren an Gefühle und Vorurteile, die wenig dabei helfen, im Einzelfall konkrete Entscheidungen zu begründen oder moralisch zu rechtfertigen.

In den Kontroversen, die durch die Definition des Arbeits- und Wissensgebietes Synthetische Biologie ausgelöst wurden, wird der Begriff des Natürlichen in den Gegensatz zur Welt des Synthetischen gebracht. Letztere wird auch häufig als „künstlich“ verstanden. „Künstliches Leben“, wenn es denn je ein solches geben soll-

te, wird als nicht erstrebenswert beurteilt, ja als Gefahr für den Bestand natürlichen Lebens gesehen. Das ist die Vorlage für *Ulrich Lüke*, der sich in seinem Beitrag mit dem Titel „Das Leben – natürlich, übernatürlich, künstlich?“ mit der Begriffswelt der Biologen und Bioingenieure auseinandersetzt. Wenn diese über die Generierung künstlichen Lebens sprechen und dabei Begriffe wie Emergenz oder Fulguration verwenden, um anzudeuten, dass aus der Komplexität physikalisch-chemischer Prozesse, die in eine Zelle hinein konstruiert worden sind, als neue Eigenschaft der Materie „Leben“ entstehen kann (oder soll), so entlarvt Lüke dies als einen eigentlich metaphysischen Hintergrund ihrer Sprechweise. Die im Rahmen der Naturwissenschaft nicht verfügbaren Begriffe wie „Gott“ oder „Wunder des Lebens“ werden durch andere Begriffe ersetzt, die aber nur scheinbar einen naturwissenschaftlich rational erfassbaren Inhalt haben. Lüke stellt die Annahmen und Voraussetzungen eines materialistischen Mechanizismus („Alles Leben ist aus physikalisch-chemischen Komponenten und deren Wechselwirkungen heraus erklärbar“) einem dualistisch orientierten Neovitalismus gegenüber. Letzterer benötigt die Annahme einer spezifischen Lebenskraft (*Vis vitalis*) als Bestimmungsmerkmal von Leben. Diese Annahme hat jedoch die ihr eigenen Defizite, indem sie sich nur schwer, eigentlich gar nicht mit dem Stand naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Übereinstimmung bringen lässt. Lüke verkennt nicht, dass sich die Theologie entsprechend der Fortschritte der Synthetischen Biologie mit deren erhofften – vielleicht auch gefürchteten – Ergebnissen und Erkenntnissen auseinandersetzen muss. Dies mag dazu führen, dass z.B. Begriffe wie „Schöpfung“ präzisiert und eventuell einer neuen Deutung zugeführt werden müssen. Freilich wirft dies umso deutlicher Fragen nach der Verantwortbarkeit des Programms der Synthetischen Biologie auf, insofern sie „neues Leben“ schaffen bzw. konstruieren will, jedoch die Konsequenzen solcher Forschungen und deren Ergebnisse nicht voraussagen kann.

Auch im Beitrag von *Jan Szaif* geht es um das Verhältnis von Natürlichkeit und Künstlichkeit, wobei Bezug auf den Lebensbegriff genommen wird, der philosophischen Betrachtungen hinterlegt ist. Für Szaif stellt sich diese Frage vor allem vor dem Hintergrund der Möglichkeiten zur Manipulation des menschlichen Genoms, die er als künstlich bezeichnet.

Der für ihn zentrale Ausgangspunkt ist die Feststellung: „Im Kontext der zeitgenössischen Synthetischen Biologie ist es denkbar geworden, die genetische Ausstattung eines werdenden Menschen künstlich festzulegen, indem man einen genetisch identischen Menschen durch Klonierung reproduziert oder indem man sein Genom zuerst künstlich synthetisiert und dann in eine Eizelle implantiert...“. Damit wird zweifelsfrei ein theoretisch interessanter Fragenkomplex angeschnitten und von Szaif in den Kontext antiker Philosophie sowie moderner Ethik gerückt. Obwohl Szaif damit weit über die gegenwärtigen Ziele der Synthetischen Biologie auf eine ungewisse Zukunft hinausgreift, muss man sich auch diesen Fragen stellen. Sein Beitrag mit dem Titel „Natürlichkeit und Künstlichkeit: Bemerkungen zum Ursprung dieser Antithese und ihrer ethischen Bedeutung hinsichtlich des menschlichen Genoms“ liefert wichtige Erkenntnisse zur Genese antiken Denkens und der jeweiligen Voraussetzungen von Aussagen zum Gegensatz von natürlich und künstlich.

Peter Neuner untersucht in seinem Beitrag: „Lebens-wert. Aspekte eines theologischen Verständnisses vom Leben“ Inhalt und Bedeutungsräume des Begriffs „Leben“ für Aussagen weltanschaulicher, theologischer und religiöser Art. Er weist zunächst darauf hin, dass in Philosophie und Theologie „Leben“ und „Tod“ als korrelative Begriffspaare gedacht werden und es eines langen Weges bedurfte, um eine Unterscheidung zwischen belebter und unbelebter Natur zu treffen. Er erinnert daran, dass frühe Mythen und Religionen nicht zwischen belebt und unbelebt unterscheiden,

sondern annehmen, dass die gesamte Natur „beseelt“ sei. Jedoch erscheint bereits früh in der antiken und verstärkt in der neuplatonischen Philosophie Leben als Wertbegriff. Es wird als gut, wertvoll und erhaltenswert identifiziert. Alles, was den Gegensatz zu Leben bildet, wird als unwert empfunden und der Tod ist das Unheil schlechthin.

Philosophische Konzepte der Antike identifizieren Leben auch mit Selbstbewegung und es ist die Seele, die alle Lebewesen in Bewegung hält. Im aristotelischen Denken steht der Akt des Denkens im Zentrum des Lebens. Von solchen Aussagen und Vorstellungen ist es nicht weit zu den biblischen Botschaften, wie z.B. den Aussagen des Johannesevangeliums. Leben meint in diesem Evangelium die Zusammenfassung aller Heilsverheißungen und Heilserwartungen. Leben ist eine Gabe Gottes, das den Menschen durch Christus zu Teil wird. Er ist Träger und Spender des Lebens. In diesem Sinn sagt Christus im Johannesevangelium von sich, dass er lebt, das Leben in sich hat und dass er die Auferstehung und das Leben ist. Der Glaubende erhält das ewige Leben, die vollständige Form des Heils und der Erlösung von allem Übel und Bösen. Leben im Sinne dieser Botschaft stellt also einen Heilsbegriff dar, der nicht mit irgendwelcher biologisch-naturwissenschaftlicher Interpretation belegt werden kann und darf. Für den Gläubigen stellt Besitz des Lebens in religiösem Sinn den höchsten Wert dar. Dieses Leben kommt dem Menschen nicht aus eigener Kraft und Leistung zu und ist auch nicht Konsequenz seines Intellekts, sondern es ist Geschenk Gottes, der lebendiges Leben ist und Leben schaffen kann: wo immer Leben ist, dort ist Gott am Werk, ist der Inhalt des Glaubens.

Diese religiös begründete Aussage – so Neuner – hat weitreichende Bedeutung für Ethik und insbesondere für Fragen, die mit dem Beginn und dem Ende des Lebens zusammenhängen. Dem Menschen ist im Sinne dieser Glaubenssätze aufgegeben, Leben zu schützen und es zu bewahren. Daher wird ein Verstoß gegen das

Leben, vor allem das menschliche Leben, als Schuld und schwerwiegende Verfehlung gewertet. Es ist nur zu verständlich, dass aus solchen tief verankerten Vorstellungen und Denkbahnen Ängste gegenüber dem Programm der Synthetischen Biologie erwachsen. Sie sind freilich nicht rational zu begründen, da Leben im Kontext der Synthetischen Biologie ein ganz anderes Konstrukt beschreibt als das, welches auf biblischer Botschaft und Glaubenssätzen beruht.

Obleich die Synthetische Biologie nach Aussagen aller Fachleute die Manipulation der genetischen Ausstattung höherer Lebewesen oder des Menschen nicht im Programm hat, wird doch in der besorgten Öffentlichkeit häufig vermutet, dass es in der Konsequenz erfolgreicher Forschung bei der Konstruktion einfachster Lebensformen dazu kommen könnte, die Ergebnisse auch auf Menschen bzw. deren genetische Ausstattung anzuwenden. Von solchen Überlegungen oder auch Befürchtungen ausgehend, betrachtet *Ludger Honnefelder* in seinem Beitrag „Perfektionierung des Menschen? Paradigmen, Ziele und Grenzen“ das Ausmaß der ethischen Fragen, die mit dem Projekt einer durch Biotechnologie und Medizin in dem Bereich des Möglichen gerückten Optimierung des Menschen verbunden sind.

Dabei geht es um die Grenzen zwischen dem, was dem Menschen als biologisches aber auch soziales Lebewesen durch den „Gang der Natur“ vorgegeben ist, und dem, was ihm **auf**gegeben ist, sich also als Sache seiner Wahl, und somit bewusster Gestaltung erweist. Honnefelder sieht dadurch die Grenze gekennzeichnet, an der der Bereich der Verantwortung beginnt. Fallen solche Grenzen über weite Bereiche weg, wie sich dies durch neue Entwicklungen in Biotechnologie oder Medizin andeutet, oder wie sie bereits Realität sind, erweitert sich der zu verantwortende Bereich in einem Ausmaß, welches die Grenzziehung zu einer ungewohnten Herausforderung und Aufgabe werden lässt.

Vor allem stellt sich die Frage, woran sich neue Grenzen orientieren sollen, wenn das, was wir bisher „Natur“ genannt haben, zunehmend selbst zu einem Artefakt und Konstrukt wird, wenn also Entstehung von Leben und seine Entwicklung zu vollständigen Lebewesen jedes Geheimnis verliert. Wo bleiben die Grenzen, wenn wir die „Ordnung der Natur“ nicht mehr als gegeben ansehen, sondern nach eigenem Entwurf bestimmen können? Was soll oder muss innerhalb konsensual gezogener Grenzen, nicht nur weil es „Natur“ des Menschen ist, sondern vor allem weil es konstitutiver Teil der Lebensform des Menschen als sozio-kulturelles Wesen ist, festgehalten werden? Was gehört konstitutiv zum menschlichen Gelingen, ohne das Urteile über das für Menschen Gute und Rechte jede Rechtfertigung verlieren? Ohne Zweifel gehört dazu die Entscheidung, alle Einsichten und Eingriffe in die Natur des Menschen als legitim zu betrachten, die zu den medizinischen Zwecken der Diagnose, Therapie oder Prävention notwendig sind, vorausgesetzt, der Betroffene hat seine Zustimmung gegeben. Die Frage der Optimierung, insofern sie sich unter der Rubrik des Heilens oder der Reparatur einordnen lässt, bedarf ausführlicherer Diskussion und ist nicht unabhängig von der weiteren Entwicklung des sozio-kulturellen Selbstverständnisses der Gesellschaft zu beantworten.

Honnefelder kommt zu dem Ergebnis, dass eine Orientierung an den Gütern erforderlich ist, die über die Selbstbestimmung des Einzelnen hinaus schutzwürdig sind und sich für das Gelingen menschlichen Lebens als konstitutiv erweisen, eines Menschen, der ein endliches Leben unter kontingenten Bedingungen führen muss. Mit anderen Worten, das Gelingen des Menschen besteht nicht einfach in der fundamentalen Erweiterung seiner Möglichkeiten, sondern in der Realisierung von Zielen, deren Inhalt sich an dem für das Gelingen konstitutiv nötigen sozio-kulturellen Gütern bemisst.

Für *Thomas Heinemann* verlangt das Programm der Synthetischen Biologie eine ethisch normative Einordnung, die weit über den gegenwärtigen Wissens- und Kenntnisstand hinaus die Grundannahmen, Möglichkeiten und Folgen dieser Forschungsrichtung untersucht und bewertet. In seinem Beitrag „Leben als Konstrukt – Ethische Herausforderungen durch die Synthetische Biologie“ zeigt er, dass solche Bewertungen unter anderem darauf beruhen, wie und ob man Unterscheidungen zwischen „natürlich“ und „künstlich“ treffen will und wie man den Begriff „Leben“ bzw. „Lebendig“ definieren möchte. Diese Fragen werden in den verschiedenen Beiträgen zu diesem Band aus den verschiedensten Perspektiven behandelt. Sie lassen sich keinesfalls eindeutig und schon gar nicht abschließend beantworten. Heinemann weist auf die Schwierigkeiten exakter Definitionen hin und bezieht sich im Weiteren auf eine Analyse dessen, was derzeit faktisch bekannt und in Forschung und Praxis als ethisch akzeptierbar bereits durchgeführt wird. Hierzu gehören u.a. die Transgression der Artengrenze, wie z.B. die Amplifikation von DNA in bakteriellen Systemen oder in Hefen, oder die Expression von Proteinen in artfremden Zellen. Auch die Veränderung natürlich vorkommender DNA-Sequenzen gehört zum üblichen Werkzeug der Molekularbiologie. Auch die seit langem übliche Herstellung und Amplifizierung von DNA-Molekülen im Reagenzglas ist ebenso unnatürlich wie die Synthese von Proteinen.

Weder gegen diese synthetischen Prozesse noch gegen deren Anwendung für diagnostische, medizinische oder auch kommerzielle Zwecke haben sich bisher ethische Bedenken ergeben. Auch wird seit Jahrzehnten ein künstliches Nukleotid in der Onkologie verwendet. Jedoch wirft die komplette Synthese eines neuen Lebewesens unter Umständen neue Fragen auf, insbesondere dann, wenn dieses ganz neue und bisher nicht bekannte Eigenschaften aufweisen sollte. Die auftretenden Fragen wären von ähnlicher Art wie diejenigen, die sich bei Experimenten stellen, mit denen ver-

sucht wird, die Toxizität von Bakterien oder Viren zu erhöhen oder zu verändern.

Schließlich muss die Frage nach der Biosicherheit gestellt werden; mit anderen Worten, die Praxis der Synthetischen Biologie muss sicherstellen, dass durch ihre Produkte kein vorsätzlich herbeigeführter Schaden auftritt, d.h. ein Schutz vor Missbrauch ist zu gewährleisten. Dies unterscheidet die Synthetische Biologie jedoch nicht grundsätzlich von anderen Richtungen und Feldern der Forschung, die auf Erfindungen und Innovation abzielen. Letzten Endes geht es um eine vernünftige und dem Stand von Technik und Recht angemessene Abwägung von Chancen und Risiken, nicht aber um grundsätzlich neue Herausforderungen an die ethische Bewertung.

Die gesellschaftliche Diskussion und Akzeptanz des Gebietes der Synthetischen Biologie und seine öffentliche Wahrnehmung als Quelle von Innovation oder potentiellen Gefahren und Missbräuchen ist Thema des Beitrags von *Rüdiger Goldschmidt*. Für ihn ist die Synthetische Biologie kein Einzelfall, der besonderer Betrachtung bedürfte, sondern ein Thema unter vielen, bei denen gesellschaftlicher Verständigungsbedarf besteht und bei denen das Verteilen von Informationen und Publikationsaktivität der Wissenschaftler alleine nicht ausreichen, um Akzeptanz der Forschung und ihrer Ergebnisse in der Bevölkerung zu erreichen.

Für ihn ist unbestritten, dass die Synthetische Biologie gesellschaftliches Entwicklungs- und Innovationspotential besitzt. Er glaubt, dass die in den Ergebnissen dieser Forschungsrichtung und daraus folgender Technologien verborgenen Veränderungspotentiale langfristig sehr tiefgreifend sein können und Unsicherheiten und Risiken neuer Art mit sich bringen werden, so dass die Gesellschaft und ihr Zusammenleben grundlegend berührt sind. Daher ist verständlich, dass sich bereits jetzt Widerstand bei gesellschaftlichen Akteursgruppen regt bzw. eine Diskussion begonnen hat, in

der die Berechtigung der ganzen Forschungsrichtung in Frage gestellt wird.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, wie der Diskurs zwischen Wissenschaftlern, d.h. den kompetenten Vertretern der Forschung und den interessierten Kreisen der Öffentlichkeit, insbesondere auch mit den Vertretern der Medien so geführt werden kann, dass eine demokratisch legitimierte Grundlage für Entscheidungen erzeugt wird. Die empirische Sozial- und Konfliktforschung gibt hierzu viele Hinweise und kann Befunde vorlegen, wie Kommunikation zwischen Fachleuten und Öffentlichkeit so geführt wird, dass Akzeptanz für Innovation entstehen kann.

Die empirischen Naturwissenschaften in Staaten demokratischer Verfassung und Struktur sind gefordert, ihre Ergebnisse und sich daraus abzeichnende Konsequenzen in die Öffentlichkeit zu bringen, was auch der Rechtfertigung der für die Forschung in der Vergangenheit aufgewendeten oder zukünftig aufzuwendenden finanziellen Mittel dient. Daher sind die Forscher der Synthetischen Biologie gut beraten, wenn sie die Ergebnisse empirischer Konflikt- und Kommunikationsforschung ernst nehmen und beherzigen.

Konzepte, Strategien und Ziele der Synthetischen Biologie: eine kritische Betrachtung

Gerhard Wegner

1. Eine notwendige Vorbemerkung

Um der Gefahr vorzubeugen, dass die folgenden durchweg laienhaften, weil nicht von einem Biologen stammenden, jedoch kritischen Anmerkungen zum Thema „Synthetische Biologie“ falsch verstanden werden:

Man darf einige der Fragestellungen, die von dieser als „neu“ bezeichneten Forschungsrichtung in den Fokus genommen werden, ohne Vorbehalt zu den wesentlichen Fragen derzeitiger Naturwissenschaft halten. Sie sind Herausforderung und Ansporn zugleich. Sie fordern das ganze Arsenal der Fähigkeiten und Methoden grundverschiedener Disziplinen heraus, um der Lösung näher zu kommen.

Genau dies macht die Problematik noch schwieriger, denn je nach Disziplin stellt sich die gleiche Frage in einer verschiedenen „Sprache“, wobei verschiedene und jeder Disziplin eigene Formalismen genutzt werden. Deshalb muss es auch „Übersetzer“ geben, wobei die Korrektheit der „Übersetzung“ in jedem Fall penibel zu prüfen ist; andernfalls sind der Verwirrung von Begriffen und Befunden keine Grenzen gesetzt. Dies gilt besonders für das Gespräch von Wissenschaft mit der interessierten Öffentlichkeit, insbesondere der Publizistik. Es gilt aber auch für das Gespräch zwischen den Wissenschaften, insbesondere zwischen Natur- und Geisteswissenschaft.

2. Zur Begriffsbildung der Synthetischen Biologie

Die Synthetische Biologie ist ein Produkt der Evolution – nämlich der Evolution der Naturwissenschaften. Um dies zu erläutern, nehmen wir den Studienprofessor „Schnauz“ aus Heinrich Spoerl's Feuerzangenbowle (verfilmt 1944 mit Heinz Rühmann in der Hauptrolle) zum Vorbild und sagen: „Da stellen wir uns mal ganz dumm“, wenn wir in vielen Papieren zur „Synthetischen Biologie“ lesen dürfen, diese neueste Entwicklung der Wissenschaft habe die gleiche Bedeutung für die Biologie wie die „organische“ (gemeint ist jedoch „synthetische“) Chemie für die Chemie **vor** 200 Jahren!

Richtig daran ist: die Chemie war und ist es z.T. immer noch, – und hier gleicht sie der Biologie – eine **beschreibende** und **analysierende** Wissenschaft. Sie war zu Beginn des 19. Jahrhunderts in der Lage, einzelne Stoffe, die auf der Ebene der Molekülstruktur eindeutig definiert waren, in **reiner Form** aus lebender Materie zu isolieren und nach den Regeln der Chemie zu beschreiben.

Der Nachweis, dass die behauptete Molekülstruktur richtig war, konnte im 19. Jh. jedoch **nur** durch die **Synthese** eines **identischen** Stoffes über einen Syntheseweg erbracht werden, der in allen Einzelheiten bekannt war und von dem man mit Sicherheit wusste, welche Atome zu welchem Molekülgerüst verknüpft werden würden.

Die **Synthese** auf **nicht-biologischem** Weg war also der eigentliche **Strukturbeweis** für den zuvor nach den Regeln der Chemie in reiner Form isolierten Naturstoff.

Die Komplexität der isolierbaren Naturstoffe machte es nötig, immer komplexere **nicht-biologische** Syntheseverfahren zu entwickeln, mit denen solche Stoffe synthetisiert werden konnten. Erst die Entwicklung moderner physikalischer Methoden der Strukturanalyse im 20. Jh. haben diesen mühevollen Weg des Strukturbeweises obsolet gemacht.

Andererseits hat die Notwendigkeit zur Entwicklung einer Methodik der Synthese den Zugang zu einer ungeheuer großen Zahl von jeweils neuen Molekülen eröffnet, für die es in der Natur kein Vorbild gab oder gibt.

In der Konsequenz eröffnete dies den Zugang zur Entwicklung von Farbstoffen, Medikamenten, Pestiziden, Polymeren – also dem gesamten Spektrum der Aktivitäten heutiger **Chemischer Industrie**.

Dürfen wir eine ähnliche Entwicklung für die „Synthetische Biologie“ erwarten, an deren Ende dann eine „**Biologische Industrie**“ stehen wird, wie in vielen populären Artikeln zu lesen ist?

Das ist sehr unwahrscheinlich. Hier wird nämlich ein grundfalscher Vergleich gezogen: denn – erstens – gibt es bereits eine umfangreiche „biologische Industrie“. Nur nennen wir sie nicht so, weil wir die Namen „Agrarwirtschaft“, „Forstwirtschaft“, usw. eingeführt haben und – zweitens – geht es in der Biologie nicht um die Analyse und Herstellung von Stoffen, die molekular definiert sind, sondern um „**Lebensformen**“ mit komplexer innerer Struktur **und** komplexen **Verhaltensmustern**. Letztere bezeichnen die Summe aller Wechselwirkungen einer Lebensform mit ihresgleichen und ihrer Umwelt. Da ist qualitativ etwas ganz anderes als die Molekülstruktur eines Naturstoffes.

Man kann aber noch viel mehr über den Ursprung der „Synthetischen Biologie“ aus der Historie der Chemie und verwandter Gebiete erfahren:

Wie verhält es sich mit der **Biochemie**? Während die „organische“ Chemie zunächst **nur** nach der **Struktur** der Moleküle fragte, die aus lebender Materie isoliert werden konnte, trat alsbald die Frage auf:

Wie entstehen diese Moleküle und Stoffe innerhalb der jeweiligen Organismen? Und welche Rolle spielen sie in und für das Leben der Organismen?