

Anja Pichl¹

SYNTHETISCHE BIOLOGEN ALS NEWTONS DES GRASHALMS?

Epistemologische und transzendentalphilosophische Zweifel an der Gegenstandskonzeption der Synthetischen Biologie

Einleitung: Die *petitio principii* der Synthetischen Biologie

„German philosopher Immanuel Kant believed that a “Newton of a leaf of grass” was not just unimaginable, but unthinkable. Today, synthetic biology is setting us down the path toward proving him wrong.“ (Boldt et al. 2008, S. 387; vgl. Müller 2012, S. 222) So schätzen Joachim Boldt und Oliver Müller in ihrem *Newtons of the leaves of grass* betitelten Artikel in *Nature Biotechnology* das Potential der Synthetischen Biologie ein, welche im Unterschied zur klassischen Gentechnik in der Lage sein werde, neuartige Organismen mit spezifisch auf menschliche Bedürfnisse zugeschnittenen Funktionen herzustellen und zugleich die Grenzen des wissenschaftlich Erkennbaren zu verschieben. Wenn wir erst Organismen wie Maschinen rational entwerfen und im Anschluss technisch herstellen können, dann oder auch dadurch, so die dahinter stehende Auffassung, die viele Akteure im Umfeld der Synthetischen Biologie teilen, hätten wir ihre Eigenschaften und Entstehung kausalgesetzlich lückenlos erklärt, mithin deren Rückführbarkeit auf beherrschbare Mechanismen bewiesen. So soll der Organismus letztlich als Maschine entlarvt und eine grundlegende Verschiedenheit von Lebewesen und Unbelebtem ein für alle Mal widerlegt werden. Die Biologie als „Wissenschaft des Lebens“ scheint damit nicht mehr durch ihren Gegenstand hinter den „harten“ Naturwissenschaften Physik und Chemie zurückstehen zu müssen, sondern endlich auch in ihrem Bereich den mechanistischen Reduktionismus erfolgreich und unbegrenzt anwenden zu können (vgl. Müller-Strahl 2011, S. 198).

1 Zitationsvorschlag: Pichl, Anja (2015): Synthetische Biologen als Newtons des Grashalms? Epistemologische und transzendentalphilosophische Zweifel an der Gegenstandskonzeption der Synthetischen Biologie, in: TTNedition 1/2015, 48–71, online unter: www.ttn-institut.de/TTNedition. [Datum des Online-Zugriffs].

„Da diese Lebensformen aus chemischen Grundbausteinen bestehen, sollte es möglich sein, nun die Gesetze des Verhaltens dieser Grundbausteine zu beschreiben, um so diese Lebensformen gezielt um- und neuschaffen zu können. [...] Paradigma des Verständnisses ist, gemäß der Annahme von der Erklärbarkeit des Ganzen durch seine Teile, die unbelebte Natur und unter den von Menschen hergestellten Dingen die komplexe Maschine.“ (Boldt 2012, S. 182)

Dieser wissenschaftliche Reduktionismus des Ganzen auf die Wirkungskräfte seiner Teile ist jedoch gerade das, was Kant bei Entitäten, deren Bestandteile nicht einfach ein Aggregat bzw. System bilden, sondern die eine Organisation aufweisen, kurz: Lebewesen, für prinzipiell unmöglich hielt:

„Es ist nämlich ganz gewiß, daß wir die organisirten Wesen und deren innere Möglichkeit nach bloß mechanischen Principien der Natur nicht einmal zureichend kennen lernen, viel weniger uns erklären können; und zwar so gewiß, daß man dreist sagen kann: es ist für Menschen ungereimt, auch nur einen solchen Anschlag zu fassen, oder zu hoffen, daß noch etwa dereinst ein Newton aufstehen könne, der auch nur die Erzeugung eines Grashalms nach Naturgesetzen, die keine Absicht geordnet hat, begreiflich machen werde; sondern man muß diese Einsicht den Menschen schlechterdings absprechen.“ (Kant AA V, S. 400)

Diese kantische, transzendentalphilosophisch begründete Festsetzung der Grenzen unserer Möglichkeiten einer mechanistisch-reduktionistischen Kausalerklärung der Natur, die im folgenden Abschnitt näher erläutert wird, mit Verweis auf die Synthetische Biologie zu Grabe zu tragen, erscheint etwas vorschnell. Eine Klärung der Gründe, warum Kant zufolge keine Hoffnung auf das Erscheinen eines Newtons des Grashalms zu setzen ist (wohingegen er für so unwahrscheinliche künftige Verhältnisse wie den „ewigen Frieden“ gar eine „Garantieerklärung“ verfasste [vgl. Kant AA VIII, S. 360ff.]), dürfte eher die Aktualität des kantischen Diktums aufzeigen und die öffentliche (Selbst-)Darstellung der Synthetischen Biologie (vgl. O' Malley 2009, S. 381; vgl. Sauter 2011), einige ihrer Ziele und Methoden sowie insbesondere die Konzeption ihres Gegenstandes – Lebewesen als Maschinen – grundsätzlich infrage stellen.

Der noch näher zu bestimmende Weg, den der *engineering*-orientierte Teil der Synthetischen Biologie eingeschlagen hat, könnte sich gar – nicht zuletzt mit Blick auf Kant – als Holzweg erweisen. Die sich auf diesem bewegenden Vertreter der Synthetischen Biologie gehen davon aus, dass Lebewesen nichts anderes als Maschinen und auf Grund dessen gemäß ingenieurwissenschaftlicher Prinzipien (re-)konstruierbar seien. Oder andersherum, wie die Erörterung des Selbstverständnisses Synthetischer Biologen im dritten Abschnitt zeigen wird: Angesichts der Dominanz des Herstellens innerhalb der Synthetischen Biologie scheint das Ziel der Herstellung maßgeschneiderter Organismen zu der Annahme zu führen, dass zwischen Belebtem und Unbelebtem kein wesentlicher Unterschied bestehe und die für eine angestrebte industrielle Produktion von funktionalen „*living machines*“ (Boldt 2012, S. 182) notwendigen Voraussetzungen der Orthogonalität, Standardisierung und Modularisierung im Bereich des Lebendigen analog zu dem sonstiger technischer Artefakte gegeben seien. Diese Gegenstandskonzeption der Synthetischen Biologie wird im vierten Abschnitt näher charakterisiert. Der fünfte Abschnitt reflektiert auf die Art und Weise unserer Unterscheidung von Lebewesen und Unbelebtem, wobei ersichtlich wird, dass und warum sich ingenieurwissenschaftliche Kategorien und Ansätze nicht ohne Weiteres auf Lebewesen übertragen lassen.

Engineering-orientierte Vertreter der Synthetischen Biologie tun jedoch Letzteres, und zwar in einer Art und Weise, die sich als *petitio principii* charakterisieren lässt. D. h. mit Kants Worten: „die Annahme eines Satzes zum Beweisgrunde als eines unmittelbar gewissen Satzes, obgleich er noch eines Beweises bedarf“ (Kant AA IX, S. 135). Anstatt zu beweisen, dass Organismen genauso wie technische Artefakte restlos wissenschaftlich reduziert und linear kausalgesetzlich aus den Eigenschaften bzw. Wirkungen ihrer Teile erklärt werden können, sodass durch Zusammensetzung der Teile nach einem Entwurf am Reißbrett maßgeschneiderte Organismen *in derselben Weise* wie herkömmliche Maschinen produziert und gesteuert werden können, setzen *engineering*-orientierte Vertreter der Synthetischen Biologie dies lediglich in ihren Forschungsprogrammen und öffentlichen Verlautbarungen voraus, um es im selben Atemzug – ohne dies bestätigende Forschungsergebnisse – als Revolution zu feiern. Laut dem Molekularbiologen Michael Reth geht der Synthetische Biologe als „Systemingenieur [...] von der zugegebenermaßen ad hoc-Annahme [!] aus, dass sich biologische Moleküle wie Teile einer Maschine verhalten und entsprechend auch funktionell beschrieben werden können.“ (Reth 2012, S. 44f.)

Die für die nahe oder auch fernere Zukunft versprochene Herstellung von *living machines* soll – statt eines theoretischen Beweises – künftig den *proof of principle* liefern (vgl. Endy 2011, S. 424): dass zwischen Lebewesen und Maschinen kein wesentlicher Unterschied bestehe, mithin Lebewesen Maschinen seien und die der Maschine die ihnen einzig angemessene Konzeption sei:

„For these [engineering based vision of synthetic biology], the things of living nature are constituted as ontologically equivalent to the inanimate materials employed by existing engineering fields: as usable substrate at the disposal of technology-making ventures.“ (Schwyter 2013, S. 63)

Durch die konzeptuelle Nivellierung des Unterschiedes zwischen Lebewesen und Maschinen fallen die entsprechenden Vertreter der Synthetischen Biologie hinter die kantische Grundeinsicht in die Grenze des wissenschaftlichen Reduktionismus am Organischen zurück. Die Irreduzibilität des Organischen bestätigen jedoch auch aktuelle wissenschaftstheoretische Auseinandersetzungen mit der Synthetischen Biologie und ihrer Gegenstandskonzeption: Einsichten der Molekularbiologie der letzten Jahrzehnte in die Eigenart des Lebendigen zeigen, dass Organismen mit ihrer ungeheuren Komplexität gerade nicht lediglich graduell von Unbelebtem verschieden sind, sondern qualitativ durch die Abhängigkeit der Teile voneinander und vom Ganzen in ihrer Struktur und Funktionalität (vgl. Abschnitt VI sowie Nicholson 2013; O'Malley 2009; Dupré 2009; Keller 2009). Hierauf wird im sechsten Abschnitt kurz eingegangen, wobei sich begreifen lässt, warum auch in Zeiten, in denen nach Herstellung maßgeschneiderter Organismen gestrebt wird, noch nicht einmal das kleinste, bestens analysierte Bakterium in den Funktionen und Interaktionen seiner Bestandteile vollständig wissenschaftlich erklärt worden ist (vgl. Billerbeck et al. 2012, S. 31; vgl. Reth 2012, S. 47f.). Im siebten Abschnitt wird ein Blick auf die Forschungspraxis der Synthetischen Biologie zeigen, dass die Forschungsrealität mit dem Ideal des *engineering by design* tatsächlich wenig zu tun hat.

Eine klare Sicht auf die skizzierte *petitio principii* in der Forschungspraxis und den Diskussionen um die Synthetische Biologie ermöglicht es, einige konzeptuelle, epistemologische und methodologische Schwierigkeiten zu reflektieren, die das Forschungsvorhaben der Synthetischen Biologie, neuartige Lebensformen oder „biologisch-maschinelle

Chimären“ (Müller 2012, S. 218), „*living machines*“ etc. zu kreieren und Organismen zu „programmieren“, mit sich bringt, was auch einem Teil der ethischen Debatte die Grundlage entziehen dürfte. Ethische Begleitforscher wie die eingangs zitierten Bioethiker Joachim Boldt und Oliver Müller scheinen der von der Synthetischen Biologie verbreiteten Negation jeglichen konzeptuellen Unterschiedes zwischen Lebendigem und Unbelebtem aufzusitzen, sie gar für eine wissenschaftliche Einsicht in die Gleichsetzbarkeit von Lebewesen und Maschinen zu halten. Daraus leiten sie einen Umsturz unserer Weltanschauung und ethischen Grundüberzeugungen ab (vgl. Boldt et al. 2008; Boldt 2012, S. 184) sowie eine grenzenlose künftige Machbarkeit aller möglichen Entwürfe von maßgeschneiderten Organismen – eine Vorstellung, die dem in den Medien verbreiteten Vorwurf des „*playing god*“ (vgl. die kritische Auseinandersetzung bei Schummer 2011, S. 206ff.) Nahrung bietet, welcher die Öffentlichkeit sowie die ethische Diskussion an den tatsächlichen Problemen der sich trotz (oder wegen) des genannten Missverständnisses rasant entwickelnden Synthetischen Biologie (vgl. ETC group 2012; 2011; 2007) vorbeigehen lässt. Mit ihrer Einschätzung stehen Boldt und Müller jedoch nicht allein da: In ihren Stellungnahmen gehen auch DFG, EKAH, EGE und PCSBI mit Verweis auf die begriffliche Unschärfe in Ausdrücken wie „*artificial cell*“ und „*living machine*“ auf Veränderungen unseres Lebensbegriffs bis hin zu einem Verlust des Respekts vor (komplexen) Lebensformen und einer Selbstüberschätzung des Menschen als mögliche Folge der Synthetischen Biologie ein (vgl. Achatz 2013, S. 106ff.). Die hier versuchte Klärung der transzendentalphilosophischen, epistemologischen und empirischen Gründe für die Unanwendbarkeit der Maschinenkonzeption auf biologische Entitäten als Ganze sollte jedoch zeigen, dass die Nivellierung des Unterschiedes zwischen Lebewesen und Maschinen trotz aller Rhetorik nicht einmal den Biologen selbst gelingt, sondern sie als die Wirklichkeit verzerrender Wunsch vor ernste Probleme stellt sowie molekularbiologischen Einsichten in Struktur und Funktionalität des Lebendigen widerstreitet. Welche Konsequenzen sich hieraus für die Synthetische Biologie sowie die Begleitforschung ergeben könnten, wird am Schluss dieses Beitrages angedacht.

Kants Wissenschaftstheorie des Organismus²

Zunächst gilt es jedoch, mit Kant zu verstehen, inwiefern auf Grund der Beschaffenheit unseres Verstandes wissenschaftliche Erklärungen notwendigerweise kausalmechanisch-reduktionistisch sind, als solche aber die Eigenart und Existenz von Lebewesen als „organisierten Naturwesen“, wie Kant sie stets nennt, prinzipiell nicht zu erfassen vermögen. Kants Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen mechanistischer Kausalerklärungen im Bereich des Biologischen im zweiten Teil seiner 1791 erschienenen *Kritik der Urteilskraft* bieten insofern einen (auch heute noch) geeigneten epistemologischen Rahmen, um die Gegenstandskonzeption der Synthetischen Biologie – Lebewesen als Maschinen – kritisch zu hinterfragen, aber auch den Grund ihrer dauerhaften und für viele Forscher unwiderstehlichen Anziehungskraft trotz eingeschränkter Erklärungskraft zu verstehen.

Bei der Verstandeserklärung der Wirklichkeit nach dem Mechanismus, welcher eine kausale Verknüpfung der Erscheinungen gemäß einer stets linearen Ursache-

2 Die Inhalte dieses Abschnittes wurden vertiefend behandelt in meiner im Oktober 2013 an der Philosophischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München eingereichten Magisterarbeit mit dem Titel „Kants *Kritik der Urteilskraft* und die Möglichkeit einer Naturethik“.

Wirkungskette, einem *nexus effectivus*, vorstellt, stoßen wir Kant zufolge angesichts organisierter Naturwesen an eine prinzipielle Grenze: Da mechanistische Erklärungen reduktionistisch sind in dem Sinne, dass sie immer von den Teilen zum Ganzen gehen, können sie lediglich die Existenz von Aggregaten oder zufällig entstandenen Ganzheiten erklären, nicht aber eine nicht lineare Kausalbeziehung zwischen Teilen und Ganzem sowie Teilen untereinander, wie wir sie an Organismen beobachten: „Nach der Beschaffenheit unseres Verstandes ist hingegen ein reales Ganze der Natur nur als Wirkung der concurrirenden bewegenden Kräfte der Theile anzusehen.“ (Kant AA V, S. 407)

Ebenso wenig wie eine Erklärung der Form gelingt es uns, mit dem Prinzip des Mechanismus die Entstehung und Veränderung dieses Gebildes in der Zeit zu erklären, welche nicht als eine bloße Sukzession von Zuständen aufgefasst werden kann, sondern als ein Entwicklungsprozess einer sich selbst verändernden und dabei doch erhaltenden und sogar reproduzierenden Ganzheit betrachtet werden muss.

„Ein organisiertes Wesen ist also nicht bloß Maschine, denn die hat lediglich bewegende Kraft, sondern es besitzt in sich bildende Kraft, und zwar eine solche, die es den Materien mitteilt, welche sie nicht haben (sie organisiert), also eine sich fortpflanzende bildende Kraft, welche durch das Bewegungsvermögen allein (den Mechanism) nicht erklärt werden kann.“ (Kant AA V, S. 374)

Die eine Organisation aufweisenden empirischen Gegenstände sind uns mithin in ihrer besonderen Form, Erscheinungsweise und der Möglichkeit ihrer Existenz kausalmechanisch nicht erklärbar.

Jedoch können wir auf den kausalmechanischen Reduktionismus bei der Suche nach Kausalerklärungen nicht einfach verzichten, auch nicht in Teilbereichen wie dem des Lebendigen. Der Grund dessen liegt Kant zufolge darin, dass unser von ihm als „diskursiv“ charakterisierter Verstand beim Erkennen nur dazu in der Lage sei, vom Allgemeinen subsumierend zum Besonderen zu gehen (Kant AA V, S. 404) und „die Zurückführung des Besonderen auf das Allgemeine mit der Reduktion eines Ganzen auf seine Teile gleichzusetzen“ (McLaughlin 1989, S. 148). Zum besseren Verständnis dieser Eigenart unseres diskursiven Verstandes entwirft Kant als Gegenmodell einen intuitiven Verstand, der „vom Synthetisch-Allgemeinen (der Anschauung eines Ganzen als eines solchen) zum Besonderen geht, d. i. vom Ganzen zu den Teilen.“ (Kant AA V, S. 406) Dieser Verstand würde der besonderen Form organisierter Naturwesen gerecht werden, für ihn wären Form und Verbindungen der Teile in Hinblick auf das Ganze nicht zufällig, sondern notwendig.

Beispielsweise kann die Tatsache, dass das Auge so verfasst ist, dass es zum Sehen zweckzweckt erscheint (Kant AA XX, S. 240), durch einen diskursiven Verstand nur als zufällig betrachtet werden, denn es gibt kein Naturgesetz, auf das man zurückführen könnte, dass sich die unzähligen Moleküle genau zu dem Ganzen eines Auges verbanden und nicht zu einer anderen Einheit. Wir können aber das Auge nicht anders beurteilen denn so, als sei das Sehvermögen kein Zufallsprodukt, sondern der (wenn auch freilich nicht irgendeiner Instanz zuschreibbare) Zweck, der die Anordnung der Teile bestimmt habe. Wir müssen entsprechend ein teleologisches Reflexionsurteil über es fällen, wohingegen unser Verstand uns in seinen Bestimmungsurteilen immer nur über Seiendes unterrichten kann und kein Sollen kennt: „Ein teleologisches Urtheil vergleicht den Begriff eines Naturprodukts nach dem, was es ist, mit dem, was es seyn soll. Hier wird der Beurthei-

lung seiner Möglichkeit ein Begriff (vom Zwecke) zum Grunde gelegt, der a priori vorhergeht.“ (Kant AA XX, S. 240)

Das teleologische Prinzip der Beurteilung der inneren Zweckmäßigkeit in organisierten Wesen ermöglicht uns dementsprechend durch Zugrundelegen einer Idee des Ganzen die Auffassung der bei einem Organismus beobachtbaren Einheit in der Mannigfaltigkeit der Teile (vgl. Kant AA V, S. 377), von denen wir uns kausalmechanisch zwar unzählige Verbindungen zu einem Aggregat vorstellen, aber nicht erklären können, warum sie sich zu genau diesem Ganzen mit zudem nicht aus den Teilen ableitbaren Eigenschaften verbunden (vgl. Kant AA V, S. 360), wie z. B. zu einem Auge, das sehen, oder einem Vogelkörper, der fliegen kann.

Weil unser diskursiver Verstand, im Gegensatz zum intuitiven Verstand, bei der Kausalklärung nicht von dem Ganzen zu den Teilen gehen kann, vermag er sich die besondere Form und Möglichkeit der Existenz organisierter Naturwesen nur so begreiflich zu machen, als ob die

„Vorstellung eines Ganzen den Grund der Möglichkeit der Form desselben und der dazu gehörigen Verknüpfung der Theile enthalte. Da das Ganze nun aber alsdann eine Wirkung, Product, sein würde, dessen Vorstellung als die Ursache seiner Möglichkeit angesehen wird, das Product aber einer Ursache, deren Bestimmungsgrund bloß die Vorstellung ihrer Wirkung ist, ein Zweck heißt: so folgt daraus, daß es bloß eine Folge aus der besondern Beschaffenheit unseres Verstandes sei, wenn wir Produkte der Natur nach einer andern Art der Causalität, als der der Naturgesetze der Materie, nämlich nur nach der der Zwecke und Endursachen, uns als möglich vorstellen, und daß dieses Princip nicht die Möglichkeit solcher Dinge selbst (selbst als Phänomene betrachtet) nach dieser Erzeugungsart, sondern nur die unserem Verstande mögliche Beurtheilung derselben angehe.“ (Kant AA V, S. 408)

Das teleologische Urteil über die „innere Zweckmäßigkeit des Naturwesens“ hat somit lediglich den Status einer „Als-ob“-Betrachtung (Kant AA V, S. 181), ist ein bloß regulatives Prinzip für unsere Urteilskraft, was bedeutet, dass es keine objektive Bestimmung des Gegenstandes und des tatsächlichen Prinzips seiner Kausalität leisten kann. Kant betont bzgl. der Naturzwecke, dass

*„die Idee des Ganzen wiederum die Form und Verbindung aller Teile bestimme: nicht als Ursache – denn dann wäre es ein Kunstprodukt –, sondern als Erkenntnisgrund der systematischen Einheit der Form und Verbindung alles Mannigfaltigen, was in der gegebenen Materie enthalten ist, **für den, der es beurteilt.**“* (Kant AA V, S. 373 [Hervorhebung A.P.])

Das teleologische Urteil in seiner kantischen Fassung ist mit dem (Kausal-) Determinismus durchaus, nicht aber mit dem kausalmechanischen Reduktionismus vereinbar. Der Begriff des Naturzweckes ist weder aus Erfahrung gewonnen noch für Erfahrung konstitutiv, sondern wir spielen ihn gewissermaßen in die Natur hinein, um uns mit seiner Hilfe organisierte Naturwesen in geregelter Form verständlich zu machen. Mit seiner Betonung des „Als-ob“-Status teleologischer Urteile sowie unseres Unwissens, ob nicht doch Lebendiges *an sich* von gleicher Art wie Unbelebtes sei und es an der Verfasstheit unseres Verstandes läge, dass wir an seiner kausalmechanischen Erklärung scheitern, relativierte Kant jedoch nicht sein kategorisches Nein zur Möglichkeit eines Newtons des Grashalms. Der Zweckbegriff ist uns subjektiv notwendig, d. h. alle Menschen müssen auf Grund der Verfasstheit ihrer Erkenntnisvermögen Lebewesen immer teleologisch beurteilen, wenn sie eine (freilich bloß in der Reflexion gewonnene) „Erkenntnis

der inneren Form“ (Kant AA V, S. 383) dieser Naturgebilde und einen Leitfaden zu ihrer Beobachtung gewinnen wollen.

Die kantische transzendentalphilosophische Einsicht in die Grenzen des wissenschaftlichen Reduktionismus ist nach wie vor aktuell (vgl. Toepfer 2004, S. 342; vgl. Brenner 2012, S. 112ff.) und aufgrund ihrer erkenntnistheoretischen Ausrichtung nicht widerlegbar durch konkrete wissenschaftlich-technische Entwicklungen. Während man annehmen könnte, dass mit der seinerzeit nicht vorhersehbaren Wissenschafts- und Technikentwicklung, z. B. der Molekularbiologie und der Elektronenmikroskope, kausalmechanische Erklärungen des nunmehr auf kleinteiligster Ebene visualisierbaren Lebendigen möglich werden würden, bestätigt die durch die neuen Techniken ermöglichte aktuelle Forschungspraxis und die im folgenden angeführte wissenschaftstheoretische Reflexion derselben vielmehr die kantische Einsicht in die Grenzen des kausalmechanischen Reduktionismus an Organismen. Diese Grenzen bedeuten jedoch nicht, dass sich die Biologie von Letzterem gänzlich verabschieden müsste – noch überhaupt könnte: Unser Verstand kann nur kausalmechanisch erklären, Wissenschaftler müssen dementsprechend in allen Bereichen der Wirklichkeit, auch dem des Lebendigen, nach chemischen und physikalischen Erklärungen suchen. Hierin erweist sich die Fruchtbarkeit des kantischen Naturzweckbegriffs, der reduktionistische Versuche der Erklärung von Prozessen in und Eigenschaften von Lebewesen nicht behindert, sondern sogar fordert, sie aber ihrer Grenzen und ihres Scheiterns am Erfassen der Ganzheit und Eigenart von Lebewesen und damit ihrer Ergänzungsbedürftigkeit durch eine teleologische Beurteilung eingedenk sein lässt – was jedoch für die Biologie eine schwierige Herausforderung ist, da sie sich i. d. R. teleologische Begrifflichkeiten verbietet. Der Umstand, dass insbesondere die moderne Biologie als Wissenschaft die Grundannahme physikalischer Wissenschaften, die Reduzierbarkeit eines Ganzen auf die Wirkungskräfte seiner Teile, teile, unter welcher aber weder Leben noch Lebewesen überhaupt fassbar seien, führt Hans Jonas zufolge zu einem „peinlichen Widerspruch“ (Jonas 1951, S. 39):

“Herein lies the peculiar crux of biology as the science of life. The equation of the whole as the sum of its parts which marks the success of every other physical enquiry entails here the loss of that distinctiveness which makes a living thing qua living something more than the sum of its parts.” (Jonas 1951, S. 40)

Aus welchen Gründen, in welcher Weise und mit welchen Schwierigkeiten dieser Reduktionismus in Teilen der Synthetischen Biologie mit ihrer Gleichsetzung von Lebewesen und Maschinen vertreten wird, ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

Ziel und Selbstverständnis der Synthetischen Biologie

Die von Winnacker bereits im Jahr 1986 geäußerte Prophezeiung desselben Wandels für die Biologie von beschreibender und analysierender zu neue Stoffe erzeugender Wissenschaft geht in den Augen Vieler derzeit in Erfüllung: „Hier bahnt sich eine Entwicklung an, die man in Analogie zu den Vorgängen in der Chemie [...] als ‚Synthetische Biologie‘ bezeichnen könnte und die in Forschung und Anwendung einen ähnlichen Entwicklungsschub auszulösen verspricht.“ (zitiert nach Boldt 2012, S. 179)

Seit der Jahrtausendwende bildet sich tatsächlich ein Forschungsfeld dieses Namens: Wissenschaftler unterschiedlichster Disziplinen, von der Biologie, Biotechnologie, Bioin-

formatik über Physik, Chemie bis hin zu den besonders prominent vertretenen und den Charakter bzw. das Selbstverständnis der Synthetischen Biologie prägenden Ingenieurwissenschaften (vgl. Billerbeck et al. 2012, S. 19) versprechen, durch die Herstellung biologischer Teile und ganzer Organismen die großen Probleme und Bedürfnisse der Menschheit zu lösen: von der Versorgung mit künstlich erzeugbaren Naturstoffen und Energie über die Beseitigung von Umweltverschmutzungen bis hin zur Arzneimittelherstellung (vgl. hierzu kritisch Rabinow et al. 2009, S. 332). Während man bisher nur über aufwendige und langwierige Züchtungsverfahren sowie seit einigen Jahren über die vergleichsweise punktuelle Veränderung von Gensequenzen versucht habe, die Natur menschlichen Zwecken anzupassen, sehen mit dem Entstehen der Synthetischen Biologie viele die Möglichkeit, ganz neue, auf menschliche Zwecke hin maßgeschneiderte Organismen zu kreieren.

Solch spezifisch produktorientierte (über das gewöhnliche Maß an Heilsversprechen zur Allokation von Forschungsgeldern hinausgehende) Ambitionen bei einem noch nicht klar abgrenzbaren (vgl. EPTA 2011, S. 1), seine eigenen Grundlagen gerade erst legenden und dabei verschiedenste Methoden und Ansätze ausprobierenden Forschungsbereich (vgl. Sauter 2011; O'Malley 2011; Deplazes-Zemp 2011) mögen zunächst verwundern, zeigen jedoch zugleich auf, dass das *Ziel technisch-rationaler Herstellung* (Lewens 2013, S. 641) von Lebewesen oder biologischen Teilen, das „Bestreben, komplexe biologische Systeme mit neuen Eigenschaften und neuen Funktionen in effizienter und planbarer Weise zu konstruieren“, (Billerbeck et al. 2012, S. 20; Endy zitiert nach Engelhard 2011, S. 50; Schyfter 2013) für die Synthetische Biologie konstitutiv ist (wenn es auch, wie Schummer zeigt, ihre wissenschaftliche Seriosität infrage stellt) (Schummer 2011, Kap. 10–12). Über dieses Ziel identifizieren sich viele der beteiligten Forscher mit dieser Forschungsrichtung und grenzen sich so gegenüber anderen Bereichen biologischer Forschung, v. a. der klassischen Gentechnik, ab (vgl. Eichinger 2011; Engelhard 2011).

Dementsprechend fehlt in keiner Definition der Synthetischen Biologie der Begriff *engineering* oder *design* (zum Zusammenhang dieser Termini vgl. Kogge et al. 2013, S. 182f.) als *differentia specifica* dieser Forschungsrichtung: „*Synthetic Biology is A) the design and construction of new biological parts, devices, and systems, and B) the re-design of existing, natural biological systems for useful purposes.*“³ Bezeichnend für das verbreitete Verständnis der Synthetischen Biologie als einer Ingenieurwissenschaft ist die Definition der NEST-Gruppe: „*Synthetic Biology is the engineering of biology: the synthesis of complex, biologically based (or inspired) systems which display functions that do not exist in nature.*“ (Europäische Kommission 2005) Die für diese Zielsetzung notwendige konzeptuelle Nivellierung des Unterschiedes zwischen belebter und unbelebter Materie kommt im weiteren Wortlaut der Definition zum Ausdruck: „*This engineering perspective may be applied at all levels of the hierarchy of biological structures – from individual molecules to whole cells, tissues and organisms.*“ Die Anwendbarkeit ingenieurwissenschaftlicher Methoden auf biologische Strukturen wird dabei (als Faktum) vorausgesetzt und der Erfolg dessen schon vorhergesagt: „*In essence, synthetic biology will enable the design of 'biological systems' in a rational and systematic way.*“ (Europ. Kommission 2005, S. 5; Vgl. Schuille 2011, S. 4) Das Streben nach und der Glaube an technisch-rationale Hervorbringung und Kontrolle erscheint bei manchen Synthetischen Biologen unbegrenzt: „*In the longer term, the scaling of genome engineering will lead us toward engineering synthe-*

3 Online unter: www.syntheticbiology.org (12.01.2015).

tic ecosystems, multicellular developmental systems (including human) and general programmable matter.” (Carr et al. 2009, S. 1160)

Das über allem stehende Ziel der Herstellung maßgeschneiderter Organismen scheint dazu zu führen, dass diese kurzerhand nach Art der uns geläufigen technisch herstellbaren Dinge konzipiert werden, bis hin zu der Extremform, dass Lebendiges selbst als Technologie betrachtet wird:

„... imagine that you like to build stuff, and you look at the living world as one of the most impressive technologies that's ever existed. It's already taken over the planet, it replicates, it's very tiny and it's very big, it makes all sorts of things. What if we could get really good at engineering biology, what would that look like?“ (Endy 2009, S. 424)

Die Herstellung von Lebewesen soll jedoch nicht nur Zweck, sondern auch Mittel sein, wie die unter Vertretern der Synthetischen Biologie verbreitete Berufung auf Feynmans *last blackboard statement* – „*What I cannot create, I do not understand*“ (zitiert nach O'Malley 2009, S. 385; zur Dominanz dieser Vorstellung innerhalb der Synthetischen Biologie vgl. Irrgang 2008, S. 303) – zeigt. Mit dem Schlagwort des „Herstellungswissens“ wird behauptet, dass erst die technische (Re-)Konstruktion von Lebewesen ein wahres Verständnis derselben ermögliche: „*Synthetic biologists do make a claim for an epistemology of ,constructing' or making as the source of real knowledge and see this as the trump statement of synthezising*“. (O'Malley 2009, S. 381) Das Feynman'sche Diktum hat jedoch - bei all seiner von Schummer und O'Malley zu Recht herausgestellten epistemologischen Fragwürdigkeit bis Verkehrtheit (vgl. Schummer 2011, S. 137ff.; vgl. O'Malley 2009, S. 385f.) – zumindest in seiner Umkehrung einen Sinn, denn für den Ingenieur oder den – auch gern von Synthetischen Biologen zur Selbstbeschreibung herangezogenen – Autobauer (vgl. Interview Endy in Ohnona 2012) gilt mit Sicherheit, dass er nicht technisch herstellen kann, was er nicht zuvor rational entworfen und damit in seinen kausalmechanischen Zusammenhängen verstanden hat.

Der Autobauer entwirft sein Auto *from scratch* und baut es dementsprechend. Dies kann er, weil es sich als Ganzes in seinem Aufbau und ‚Verhalten‘ restlos aus den Funktionen der einzelnen Teile und ihrer Montage erklären lässt. Das Auto als Ganzes ist die Summe seiner Teile insofern, als dass all seine Funktionen direkte Wirkung der einzelnen Teile und ihres Zusammenspiels sind. Es ist in seinem Fahrverhalten und allen Reaktionen auf das Betätigen bestimmter Hebel, Knöpfe und Sensoren genau festgelegt, mithin exakt steuerbar, auch von des Maschinenbaus unkundigen Menschen. Das Verständnis der bei der Konstruktion benutzten Mechanismen und Eigenschaften der Teile entstand nicht durch die Herstellung, sondern ermöglichte diese erst. Auch wenn bei der Entwicklung des Autos und anderer technischer Artefakte Ausprobieren und Bastelei mit im Spiel gewesen sein mögen (vgl. O'Malley 2011, S. 410), so ist das dadurch generierte Wissen dem bestehenden gleichartig sowie von ihm abhängig und in keiner Weise mit dem von Synthetischen Biologen versprochenen nebulösen Herstellungswissen vergleichbar, das uns zu einem ganz neuen Verständnis des Lebens führen soll.

Zur Unterscheidung von Lebewesen und Unbelebtem

Während Herstellen also ein hohes Maß an wissenschaftlichen und technischen Kenntnissen erfordert, scheinen diejenigen, die sich aus ihm ergeben, von ganz bestimmter Art

und an bestimmte Voraussetzungen – insbesondere eine nicht bloß mit Metaphern spielende Theorie des Gegenstandes – gebunden zu sein. (Vgl. Schummer 2011, S. 143ff.; vgl. Bölker 2011, S. 39) Anstatt aber an einer wissenschaftlichen Theorie des Organismus zu arbeiten oder das Verständnis der Lebewesen zumindest offen zu lassen, legen Synthetische Biologen an diese die Kriterien der Beurteilung technischer Artefakte an (vgl. Boldt 2012, S. 12). So erscheinen die traditionell um ihrer inneren Zweckmäßigkeit willen bewunderten Lebewesen in den Augen Drew Endys und seiner Kollegen höchst defizitär:

„No intelligent designer would have put the genomes of living organisms together in the way that evolution has [...] there is no sense of organization or hierarchy [!]. That is because, unlike an engineer, evolution cannot go back to the drawing board, it can merely play with what already exists.“ (Endy, zitiert nach Deplazes-Zemp in Dabrock 2011, S. 106)

Anstelle des *trial and error* einer planlos mit dem gerade Vorhanden spielenden und verschwenderischen Natur soll nun die technische Rationalität in der Figur des Synthetischen Biologen das Zepter bzw. den Stift in die Hand nehmen und Organismen ganz neu am Reißbrett entwerfen, an denen tatsächlich nichts umsonst ist, sondern die unter minimalem Mitteleinsatz bestmöglich bestimmte Funktionen für den Menschen erfüllen, als wären sie nur für ihn da.

„The overwhelming physical details of natural biology... must be organized and recast via a set of design rules that hide information and manage complexity‘ (Keasling 2008: 65). It is in this sense of rationally engineering biology that synthetic biology finds its rallying cry, with the strong claim being made that never before has biology found itself in the position of being able to overcome the irrationality of nature with human-made rational design.“ (O’Malley 2009, S. 379)

Bei diesem Streben nach technisch-rationaler Herstellung von Organismen nach Maßgabe des Maschinenmodells wird jedoch nicht beachtet, dass und wie wir Lebewesen immer und notwendigerweise von Unbelebtem unterscheiden. Noch bevor wir Lebewesen wissenschaftlich untersuchen und ihnen gemeinsame Eigenschaften zu Kriterienkatalogen zusammenfassen, wie es insbesondere Biologen bei ihren Versuchen, den Gegenstandsbereich ihrer Forschung über verschiedene Definitionen des Lebens abzugrenzen, tun, identifizieren wir sie als Lebewesen dadurch, dass wir den Maßstab zu ihrer Beurteilung in ihnen selbst verorten (vgl. Scharck 2005, S. 5; vgl. Hennig 2007, S. 89f.). Die Grundunterscheidung zwischen Lebewesen und Maschinen treffen wir anhand von Kriterien, die sich aus der *Seinsweise* des zu beurteilenden Gegenstandes ergeben, nicht etwa aus bestimmten Eigenschaften oder Unterscheidungen wie der der Natürlichkeit bzw. Technizität ihres Ursprungs:

„Ob die Maschine funktioniert oder nicht, lässt sich nur entscheiden, wenn man weiß, was sie leisten soll, und das lässt sich nicht ohne Blick auf eine der Maschine äußerliche Vorgabe entscheiden. [...] Der Begriff eines Lebewesens ist der Begriff eines Wesens, dessen Funktionstüchtigkeit an Maßstäben zu messen ist, die sich allein aus der Betrachtung seiner eigenen Natur ergeben. [...] Sie sind autonom in dem Sinne, dass sich die Standards, anhand derer das, was sie auch immer tun, objektiv zu bewerten ist, allein aus dem ergeben, was sie sonst noch typischerweise tun.“ (Hennig 2007, S. 90f.)

Der Unterschied der Beurteilungsart von Lebewesen und Maschinen geht so weit, dass sich nicht sinnvoll von der Funktion des Lebewesens als Ganzem reden lässt: „*Machines have functions, organisms do not. It is only the parts (or traits) of organisms that have functions.*“ (Nicholson 2013, S. 671) Grund dessen und damit auch der Notwendigkeit, den Maßstab der Beurteilung von Organismen in ihnen selbst zu suchen, ist ihre besondere Verfasstheit, die wir, wie Kant gezeigt hat, nur im Modus der reflektierenden Urteilskraft als Selbstzweckhaftigkeit fassen können und müssen. Dies greift Nicholson wieder auf:

„Organisms are intrinsically purposive because they have an autonomous self: the phenomena of self-formation, self-preservation, self-reproduction, and self-restitution are all characteristic of the internal organizational dynamics of the living systems. Conversely, machines are extrinsically purposive because they lack an autonomous self: their causal means of production reside outside of themselves, demanding outside intervention not just for their construction and assembly but also for their maintenance.“ (Nicholson 2013, S. 671)

Lebewesen mögen zwar in einem Ökosystem gewisse Funktionen erfüllen und ihre Teile wie Herz und Lunge für den gesamten Körper oder auch Teile der Teile wie Membran und DNA in der Zelle ebenso – weshalb sich die Teile unabhängig vom Ganzen auch in mancher Hinsicht erfolgreich im Rahmen der Maschinentheorie untersuchen lassen, was deren heuristischen Wert in der Biologie erklärt (Nicholson 2013, S. 674f.) –, jedoch zeichnet einen Organismus als Ganzem aus, dass das Zusammenwirken seiner Teile primär der Selbsterhaltung dient, weshalb ihm als Ganzem auch keine Funktion zuschreibbar ist. „*An organism does not have a function because its operation is not good for anything; it simply acts to ensure its continued existence.*“ (Nicholson 2013, S. 671)

Damit dürfte deutlich geworden sein, dass und warum sich Organismen nicht an dem Ideal der Maschine messen lassen: die Eigenschaften von Maschinen als extrinsisch zweckmäßiger Systeme werden dadurch auf intrinsisch zweckmäßige projiziert (vgl. Nicholson 2013, S. 674), wobei übersehen wird, dass Lebewesen als Ganze gerade durch Selbstzweckhaftigkeit und Funktionslosigkeit ausgezeichnet sind. Synthetische Biologen legen jedoch nicht nur Maßstäbe der Beurteilung von Maschinen an Organismen an, wie folgender Blick auf die Gegenstandskonzeption dieses Forschungsfeldes zeigen wird.

Zur Gegenstandskonzeption der Synthetischen Biologie

Voraussetzung der angeblichen „technischen Machbarkeit“ des Lebens (vgl. Titel Dabrock 2011) dank Synthetischer Biologie ist, dass Lebewesen bzw. biologisches Material wie Zellen sich auch tatsächlich nach Art von Maschinen rational entwerfen und plangemäß herstellen, um genau definierte Funktionen ergänzen und kontrolliert steuern lassen, mithin im Grunde nichts anderes als technische Artefakte sind, auf die sich ingenieurwissenschaftliche Prinzipien und Kategorien eins zu eins anwenden lassen. Boldt spricht in diesem Sinne von der „Übernahme von Konzepten und Methoden aus den Ingenieurwissenschaften, die dazu dienen sollen, Organismen und deren Bestandteile standardisiert und modularisiert beschreiben und entwerfen zu können“. (Boldt 2012, S. 11)

Für die Zwecke des Ingenieurs ist es, wie oben gezeigt wurde, erforderlich, dass sich das zu erzeugende biologische Gebilde aus Einzelteilen mit klar definierten Eigenschaften zusammenbauen lässt, die nach Plan und ohne unvorhersehbare Wechselwirkungen, in größtmöglicher Unabhängigkeit voneinander (Orthogonalität) genau festgelegte Funktionen erfüllen: „Die kombinierten Teile sollten voneinander unabhängig sein, damit ein modularer Aufbau möglich ist und keine unvorhergesehenen Nebeneffekte auftreten.“ (Acatech 2015)

„Der Begriff ‚orthogonal‘ ist den Computerwissenschaften entlehnt und beschreibt eine Systemeigenschaft, die es erlaubt, einem bestehenden System Komponenten hinzuzufügen, ohne dass die Funktion der anderen Bauteile dadurch beeinflusst wird.“ (Billerbeck et al. 2012, S. 21)

Neben der Orthogonalität werden i. d. R. auch Standardisierung (Billerbeck et al. 2012, S. 36) und Modularisierung (vgl. Antianantoandro et al. 2006) als notwendige – und für gegeben oder technisch induzierbar gehaltene – Voraussetzung für die Übertragbarkeit ingenieurwissenschaftlicher Prinzipien auf den Bereich des Biologischen angeführt.

„Was für industrielle Bauteile erfolgreich war und ist, kann auch für biologische Bauteile umgesetzt werden. Die Standardisierung von biologischen Bauteilen ist ein wichtiges Konzept der Synthetischen Biologie, um das Wiederverwenden solcher Bauteile und ihre (automatisierte) Integration in komplexere Bauteile zu vereinfachen.“ (Billerbeck et al. 2012, S. 36)

Zur Erleichterung der Konstruktion der sogenannten *living machines* arbeiten bspw. Mitarbeiter des MIT um Drew Endy daran, standardisierte biologische Funktionseinheiten, sogenannte *Bio Bricks*⁴ (Vgl. Endy 2005), zu entwickeln und der Öffentlichkeit, insbesondere auch Ingenieuren mit geringen Kenntnissen der Biologie sowie Studenten, die sich am iGem-Wettbewerb beteiligen, zur Verfügung zu stellen. Bei den *Bio Bricks* handelt es sich jedoch nicht, wie der Name suggeriert, um Bauteile biologischer Organismen, sondern um „Informationsteile von DNA-Sequenzen für strukturell und funktional eindeutig charakterisierte Gene einfacher Mikroorganismen, einschließlich aller ihrer nachweislich gentechnisch implementierbaren Gene“. (Schummer 2011, S. 103)

Dahinter steht jedoch die wissenschaftlich längst überholte

„Doppelvision, wonach ein Lebewesen erstens vollständig und eindeutig in funktionale Komponenten (Module) zerlegbar und zweitens jede dieser Komponenten vollständig und eindeutig durch eine Gensequenz oder eine Kombination von Gensequenzen determiniert sei.“ (Schummer 2011, S. 103)

Bei dem genannten Wettstreit um die innovativste Konstruktion einer „*genetically engineered machine*“, wie der iGem-Wettbewerb bezeichnenderweise heißt, werden von den Teilnehmern wiederum neue oder um neue Funktionen ergänzte *Bio Bricks* hergestellt und in den Katalog aufgenommen. Diese sollen nach dem Baukastenprinzip je nach gewünschter Funktion beliebig kombinierbar und auch ohne genauere molekularbiologische Kenntnisse (vgl. Bölker 2011, S. 35) verwendbar sein.

⁴ Vgl. auch online unter www.syntheticbiology.org [15.04.15]

Der ingenieurwissenschaftliche Zugang zur Biologie bringt mithin eine bestimmte Konzeptualisierung ihres Gegenstandes mit sich. Der Organismus muss als Gegenstand technisch-rationaler Entwürfe Maßgaben der Orthogonalität, Modularisierung und Standardisierung genügen, damit die Herstellung von *living machines* als plangemäße Zusammensetzung des Ganzen aus seinen einzelnen Teilen Aussicht auf Erfolg haben kann: „... *the aim is to put together an organism from small molecules alone*“. (Forster et al. 2006, S. 1) Das auf diese Weise entstehende Ganze kann jedoch nur ein Aggregat sein, das nicht mehr als die Summe seiner Teile ist und in all seinen Eigenschaften monokausal auf gesetzmäßige Wirkungen der einzelnen Bestandteile und deren Interaktionen zurückgeführt werden kann, welche sich für technische Verfahren nutzen lassen.

„Das Verständnis der Gesetze, die das Verhalten von Teilen eines Ganzen bestimmen, befähigt dazu, das Ganze zielgerichtet so umzugestalten, dass es verlässlich das tut, was man erreichen möchte. Als Spitze dieses Vermögens wird es dann denkbar, ein Ganzes nicht nur umzugestalten, sondern auch, es aus seinen Bestandteilen nachzubauen und schließlich neue komplexe Gebilde zu entwerfen, die aus Kombinationen von Bestandteilen bestehen, die in der Natur unbekannt sind.“ (Boldt 2012, S. 181f.)

Offensichtlich ist die Nachwirkung der cartesischen Maschinenkonzeption des Organismus trotz mancher Zweifel so stark, dass wesentliche, mit der Maschinenkonzeption unvereinbare Charakteristika von Lebewesen, die bereits Kant reflektierte und die in den folgenden Abschnitten in Auseinandersetzung mit aktueller wissenschaftstheoretischer Literatur erörtert werden, nicht mehr gesehen werden. *„[T]he ur-metaphor of all of modern science, the machine model that we owe to Descartes, has ceased to be a metaphor and has become the unquestioned reality: Organisms are no longer like machines, they are machines.“* (Lewontin, zitiert nach Nicholson 2013, S. 669)

Wissenschaftstheoretische Kritik an der Gegenstandskonzeption der Synthetischen Biologie

Erinnert sei dagegen an Kants Gründe für die Behauptung kausalmechanischer Irreduzibilität des Organismus: Dazu zählen zum einen die vielfältigen Veränderungen bis hin zum Austausch der Teile unter gleichbleibender Identität des Ganzen, die bspw. in Wachstum und Stoffwechsel zum Ausdruck kommen, was Kant als „bildende Kraft“ der lediglich bewegenden Kraft der Maschine entgegensetzte. Zum anderen das spezifische Abhängigkeitsverhältnis von Ganzem und Teilen innerhalb eines Organismus, welches unserem stets von den Teilen zum Ganzen gehenden Verstand unerklärlich bleibt. Auch die aktuelle Literatur zur Wissenschaftstheorie der Biologie greift diese Punkte wieder auf, indem sie zeigt, dass in Organismen die Teile in ihrer Struktur und Funktion, ihren Eigenschaften und Verhaltensweisen erst durch das Ganze bestimmt werden: *„What appeared to belong to the parts independently of their relation to the whole, for instance their size, shape, and structure, is really only the manifestation in the parts of the influence of the whole.“* (Haldane, zitiert nach Nicholson 2013, S. 672)

Ohne Einbindung in die Organisation sind Teile eines Organismus keine Teile, denn sie haben weder Existenzfähigkeit noch ihre spezifischen Eigenschaften. Das organische Ganze lässt sich entsprechend auch nicht in Teile zerlegen und wieder zusammenbauen. Es entsteht nicht erst, wie die Maschine, nach Abschluss der Zusammensetzung seiner Teile: *„In an organism, the existence of the parts does not precede that of the whole given*

that the parts only acquire their respective identities qua parts as the whole progressively develops from an originally undifferentiated yet already integrated system.” (Nicholson 2013, S. 672)

Das Ganze bringt die Teile mit sich hervor, tauscht sie aus und vermag sie, bspw. bei Verletzungen zur Verhinderung von Funktionsausfällen, zu reorganisieren (Beispiele bei Nicholson 2013, S. 672). Gerade Letzteres zeigt, dass Organismen nicht auf orthogonale und standardisierbare Bauteile mit klar festgelegten Eigenschaften reduzierbar sind.

„The organism maintains its autonomy as a whole by constantly regulating, repairing, and regenerating its parts. The causal processes by which the parts are produced are precisely those by which they maintain the organization of the whole. As a result, the generation, properties, and functions of the parts of an organism, unlike those of a machine, cannot be understood independently from the whole. [...] this is one of the major reasons, why explanatory reductionism is only of limited effectiveness in explicating organismic phenomena.” (Nicholson 2013, S. 672)

Solche und andere wissenschaftstheoretische Betrachtungen des Organismus (vgl. Dupré 2009; Keller 2009), insbesondere des an ihm zu beobachtenden und nicht im Rahmen des herkömmlichen wissenschaftlichen Reduktionismus erklärbaren spezifischen Abhängigkeitsverhältnisses zwischen Teilen und Ganzem, zeigen, dass zwischen organisierter und nicht organisierter Materie ein wesentlicher, eine andere Konzeptualisierung erforderlich machender Unterschied besteht - nicht etwa nur ein gradueller hinsichtlich der Komplexität. Die Ansicht, Organismen seien ontologisch bzw. konzeptuell nicht von Maschinen zu unterscheiden und unser Vermögen, sie vollständig zu verstehen und technisch herzustellen, scheitere lediglich an deren größerer Komplexität, die dementsprechend zunächst (bis Einsichten in kausalmechanische Zusammenhänge im Organismus, verbesserte Technologien und neue mathematische Modelle mehr erlauben) reduziert werden müsse, ist jedoch innerhalb der Synthetischen Biologie weit verbreitet:

„Die Vielzahl unterschiedlicher Komponenten, aus denen sich natürliche Zellen zusammensetzen, führt dazu, dass sich das Verhalten des gesamten Systems ‚Zelle‘ nur schwer vorherzusagen lässt. Deshalb verspricht man sich von einer solchen Komplexitätsreduktion eine sehr viel bessere Steuerbarkeit, die Voraussetzung für die technische (Um-)Gestaltung synthetischer Zellen ist.“ (Bölker 2011, S. 34; vgl. auch O’Malley 2009, S. 379)

Offensichtlich ist an solchen Sätzen das Verbleiben im ingenieurwissenschaftlichen Paradigma, wird doch mit dem Verweis auf Grade der Komplexität eine Gleichartigkeit vorausgesetzt und ausgeschlossen, dass Organismen womöglich grundsätzlich anders „funktionieren“ und zu erklären sind als Maschinen.

Die Strategie der Komplexitätsreduktion findet sich zum einen im *bottom up*-Ansatz der Protozellforschung, in der Zellen aus einfachen Bestandteilen zusammengesetzt werden sollen. Dieser auch *cells from scratch* genannte Ansatz zeigt besonders deutlich das mechanistische Missverständnis, dass das Ganze auch bei Organismen monokausal durch die Teile bestimmt werde und erst nach Abschluss von deren Zusammensetzung entstehe. Zum anderen basiert auch der *top down*-Ansatz der *Minimal Cell*-Forschung auf der Strategie der Komplexitätsreduktion (sowie einem wissenschaftlich längst überholten Gendeterminismus), bei der durch Ausschalten von Genen das Genom einer Zelle soweit reduziert werden soll, dass das kleinstmögliche, freilich nur unter den idealen Bedin-

gungen des Labors lebensfähige Grundgerüst entsteht, welches als Chassis mit verschiedenen Modulen kombinierbar und so universal einsetzbar sein soll.

„Beiden Ansätzen (bottom up und top down) gemeinsam ist das Ziel, diesen hohen Grad an Komplexität, der die existierenden biologischen Systeme auszeichnet, drastisch zu reduzieren. [...] Hier zeigt sich deutlich, dass das Ziel der Synthetischen Biologen eher darin liegt, einfache Systeme zu erzeugen, die (gerade) noch am Leben sind, aber viel einfacher funktionieren und damit auch einfacher zu verstehen sind, als das vorgefundene Leben in seiner Komplexität.“ (Bölker 2011, S. 34f.)

Das Streben nach Komplexitätsreduktion und Herstellung gerade noch lebensfähiger, steuerbarer Entitäten zeigt, dass die Synthetische Biologie, statt Leben künstlich herzustellen, am ehesten Lebewesen in Maschinen zu verwandeln versucht. Aus derartigen Forschungszielen lässt sich jedoch gerade nicht ableiten, dass Lebewesen Maschinen seien. Zum einen muss stets von biologischem Material ausgegangen werden, um Lebendiges zu erhalten, zum anderen ist dieses nicht etwa *per se* orthogonal, standardisier- und modularisierbar, sondern muss durch erhebliche technische Eingriffe und bisher weitgehend ohne Erfolg so umgestaltet werden, dass es diesen Kriterien ansatzweise entspricht. Am Beispiel der Orthogonalität lässt sich die mit dem Ziel der technischen Gestalt- und Kontrollierbarkeit verbundene Notwendigkeit der grundlegenden Umwandlung von Zellen oder gar Lebewesen verdeutlichen. So schreiben Billerbeck und Panke:

*„Sollte es – mit Hilfe der Orthogonalität – **möglich werden**, sinnvolle Systemgrenzen für Bauteile zu definieren, dann wäre das ein großer Fortschritt auf dem Weg zur **Einführung** von Abstraktionsstufen in den Konstruktionsprozess eines biologischen Systems.“* (Billerbeck et al. 2012, S. 23 [Hervorhebungen A.P.])

Wenige Seiten zuvor liest man bzgl. der Orthogonalität: „In gewisser Weise beschreibt eine solche Eigenschaft das Gegenteil von dem, wie eine Zelle operiert.“ (Billerbeck et al. 2012, S. 21) In der Darstellung der Ergebnisse ihres Versuchs der Einführung von Orthogonalität in den zellulären Vorgang der Proteinbiosynthese zeigen sie selbst die „Limitationen“ dessen auf,

„denn natürlich ist die Orthogonalität nicht vollständig: auch die orthogonalen Ribosomen werden immer noch von der Zelle hergestellt, sie unterliegen den gleichen Regulationen und Stresszuständen. Die letztendlich entscheidende Frage wird sein, ob wir die Zelle für den angestrebten Zustand orthogonal genug‘ machen können.“ (Billerbeck et al. 2012, S. 29f.)

Hier zeigt sich eine Grenze der technischen Induzierbarkeit dieses der Zelle nicht und dem Lebewesen nur in spezifischer Weise bekannten Prinzips: Der Aufbau eines Organismus ist *per se* niemals orthogonal und es kann prinzipiell kein vollständig orthogonaler Organismus hergestellt werden.

Ingenieurwissenschaftliche Ansätze und Kategorien wie die der Orthogonalität, Standardisierung und Modularisierung sind, wie sich am Beispiel der Orthogonalität gezeigt hat, nicht unverändert auf Lebewesen übertragbar, da sich diese nicht etwa lediglich quantitativ durch einen höheren Grad der Komplexität von Maschinen unterscheiden, sondern wesentlich, wie der Blick auf das Verhältnis von Teilen und Ganzem und die Notwendigkeit der Anwendung teleologischer Begrifflichkeiten zu ihrem Verständnis

gezeigt hat. Die (steuernde) Rolle des Ganzen, die wir auf Grund der Eigenart unseres diskursiven Verstandes nicht erfassen können, lässt sich nicht übergehen oder übersetzen in Bewegungsgesetze zwischen elementaren Einheiten und wird daher von weiten Teilen der modernen Biologie systematisch ausgeklammert: „*Substantial forms, i. e., wholeness as a causative factor with respect to its constituent parts, and thus the ground of its own becoming, joined final causes in the interdiction imposed by natural science.*“ (Jonas 1951, S. 49)

Ideal und Wirklichkeit – Zur Forschungspraxis der Synthetischen Biologie

Solange Organismen leben, haben sie bestimmte Eigenschaften und unterliegen Prozessen, Regulationsvorgängen und Veränderungen, die sich selbst unter Einsatz modernster Technik und mathematischer Modelle nur in Grenzen beherrschen und prognostizieren lassen.

„*Because of the inherent stochasticity in cellular processes, it is increasingly recognized that when different parts with known functions are combined into a system, this combination may produce unpredicted and completely novel capacities and behaviours.*“ (O’Malley 2011, S. 410)

Die enorme Kontextabhängigkeit (vgl. O’Malley 2009, S. 380) und Individualität der Verhaltensweise biologischer Moleküle macht Biotechnologen bei ihrer Arbeit zu schaffen: „*Biological systems demonstrate various forms of contingency, uncertainty and context-specificity, which means that functional elements that work in one location cannot be transported without loss of function into another.*“ (Lewens 2013, S. 647)

Entsprechende Versuche von technischen Eingriffen an Organismen, die dies nicht berücksichtigen, stoßen alsbald an enge Grenzen der Durchführbarkeit, Steuerbarkeit und Kontrollmöglichkeit. So verwundert es nicht, dass die Forschungspraxis der Synthetischen Biologie mit dem Ideal des *engineering by design* wenig zu tun hat und dessen Realisierbarkeit selbst innerhalb der Synthetischen Biologie nicht unumstritten ist. Der aus der Informatik übernommene Ansatz der Modularisierung von Lebens- und Stoffwechselfunktionen könnte sich „*als gänzlich untauglich für die Beschreibung von Organismen erweisen [...], was] einer ganzen Richtung der Synthetischen Biologie die Existenzgrundlage entziehen würde.*“ (Schummer 2011, S. 47) „... *modularity may be a theoretical dictate that biology itself fails to obey*“ (O’Malley 2009, S. 380).

Beim Versuch der Standardisierung biologischer Teile stoßen die daran arbeitenden Wissenschaftler auf massive Probleme: „... *the repositories for standardized parts are well known for the non-standard nature of their parts.*“ (O’Malley 2009, S. 382). Selbst Billerbeck und Panke kommen zu dem Schluss: „Aber auch die ersten Erfolge sollten nicht darüber hinwegtäuschen, dass ganz wesentliche Elemente, die aus der Synthetischen Biologie eine echte Ingenieurwissenschaft machen würden, einfach nicht vorhanden sind.“ (Billerbeck et al. 2012, S. 37) Sie halten es für eine noch offene „Schlüsselfrage für die Zukunft der Synthetischen Biologie, ob sich das Konzept der Orthogonalität biologischer Bausteine für komplexe biologische Systeme umsetzen lassen wird“. (Billerbeck et al. 2012, S. 23, vgl. ebd. S. 38) Denn, wie acatech formuliert, ohne sich an der Widersprüchlichkeit zwischen dem Bild der Bausteine und dem Konstatieren von Wechselwirkungen

zu stören: „In natürlichen Zellen beeinflussen sich molekulare Bausteine [!] nämlich gegenseitig und in vielfältiger Weise.“⁵

Ein Blick auf die reale Forschungsarbeit zeigt, dass die erfolgreichen Strategien der Umgestaltung von Organismen i. d. R. solche sind, die sich dem biologischen Material anpassen und dessen Eigenarten gezielt nutzen, wie bspw. der sehr verbreitete Ansatz der *directed evolution*. Dieser kommt auch in Billerbecks und Pankes o. g. Versuch der Einführung von Orthogonalität über gezielte „Umprogrammierung chemischer Schnittstellen, an denen Interaktionen zwischen Molekülen stattfinden“ (Billerbeck et al. 2012, S. 26f.), zum Einsatz. Diese Art der „Umprogrammierung“ hat mit derjenigen im Software-Bereich jedoch wenig gemein, da sie sich die ständige evolutionäre Veränderung von Organismen zunutze macht, „indem gezielt Bereiche von mRNS und Ribosomen mutiert und dann hinterher die wenigen selektiert werden, die den neuen Anforderungen an die Spezifität von chemischen Schnittstellen genügen.“ (Billerbeck et al. 2012, S. 27) Es gelang zwar, die Zellen für das Forschungsvorhaben „orthogonal genug“ zu machen, jedoch unter Mitwirkung evolutionärer Veränderungen der Zellen. Hierbei wird exemplarisch ersichtlich: Wenn man von der Betrachtung der Ideale und Prinzipien der Synthetischen Biologie zu einer Untersuchung der Forschungspraxis übergeht, so stößt man nicht nur auf massive Schwierigkeiten, die der Versuch der Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Prinzipien auf Organismen bereitet, sondern auch auf verbreitete und vergleichsweise erfolgreiche Praktiken, die nicht abstrakten ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien folgen, sondern evolutionäre und andere biologische Prozesse gezielt nutzen und damit so gar nicht in das Bild des „engineering by design“ passen wollen.

„[...] both in experimental systems operating on the basis of natural systems and in those aspiring de novo design, we regularly find experimental steps that depend on chance mutations, in vivo evolution, or the modular arrangements of existing biological functional systems. These are all indications that the limits to technology's current capacities are by no means ones that can be overcome by enhancing technological skill inside the paradigm of engineering by design. Instead, the paradigm itself comes up against its limits when it attempts to explore new ways of dealing with living beings.“ (Kogge et al. 2013, S. 183; vgl. Deplazes-Zemp in Dabrock 2011, S. 110)

Über dieses für das gegenwärtige Argumentationsziel wichtige Konstatieren des Scheiterns des reinen ingenieurwissenschaftlichen Paradigmas an Gegenstand und Praxis der Synthetischen Biologie hinaus beschäftigt O'Malley die Frage nach einer angemessenen wissenschaftstheoretischen Interpretation wissenschaftlicher Praxis sowie der Entstehung und Natur wissenschaftlichen Wissens über biologische Entitäten.

„Synthetic biology's design process always, so far, ends up as iterative rounds of trial, error and pragmatic solutions – sometimes referred to as “debugging”, “tweaking”, “retrofitting”, or “parameter tuning” – to make systems behavior fit design specifications. [...] Rather than exemplifying rational, elegant, and efficient design, many devices work because they are kludges“. (O'Malley 2009, S. 382)

„Kludge“ erläutert O'Malley mit Verweis auf den entsprechenden Wikipedia Artikel als *„a colloquial term for a workaround solution that is klumsy, lame, ugly, dumb, but good enough“*. O'Malley kommt infolge der Betrachtung der Praxis der Synthetischen Biologie

5 Online unter: www.acatech.de/de/aktuelles-presse/dossiers/dossier-synthetische-biologie [31.03.2015].

und des Vorgehens von Softwareherstellern und Naturwissenschaftlern zu dem Schluss: „*Not only does kludging make things work, often in the context of non-standardized parts and insufficient knowledge; it also provides the conceptual connection between biology, engineering and evolution.*“ (O'Malley 2009, S. 383) Dementsprechend setzt sie das „backronym“ von „kludge“ als „*knowledge and learning used for good effect*“ der überidealisierten Repräsentation ingenieurwissenschaftlichen Vorgehens und des Experiments als „*designed, efficient, and linear inquiry, conducted by narrowing a research question into a refined hypothesis that obtains a specific answer*“ (O'Malley 2009, S. 383) entgegen und wirft die prinzipielle Frage auf, „*wether kludging can be overcome or wether it lies inseparably at the heart of both life and biological practice.*“ (O'Malley 2009, S. 386; vgl. O'Malley 2011)

Ganz in Einklang damit setzen auch andere Autoren (vgl. Lewens 2013) dem ingenieurwissenschaftlichen Paradigma des *engineering by design* das des Bastelns bzw. *tinkering* entgegen, im Rahmen dessen auf Eigenschaften und Eigengesetzlichkeit des Lebendigen reagiert und Eingriffe in dasselbe als Mitarbeiten, Provozieren natürlicher Prozesse, die nicht vollständig beherrschbar sind, aufgefasst werden. Der bescheidenere Anspruch ist hier, die Bedingungen für Lebensentstehung und -entwicklung zu beeinflussen, statt Lebewesen am Reißbrett zu entwerfen oder gar neues Leben künstlich hervorzubringen. Der Bastler passt sich der Eigenart seines Materials (belebter Natur) an und macht es sich, den Grenzen der Steuerbarkeit und Kontrolle eingedenk, zunutze, wodurch er zwischen dem Bacon'schem Folterknecht und modernen Organismenprogrammierer einerseits sowie dem bloß beschreibendem Biologen andererseits steht.

Fazit

Die eingangs aufgestellte Hypothese, dass sich diejenigen unter den Synthetischen Biologen, die sich dem Ideal der Synthetischen Biologie als neuer Ingenieurwissenschaft und der damit einhergehenden Maschinenkonzeption des Organismus verschreiben, selbst im Weg stehen, hat sich mit Blick auf die Praxis der Synthetischen Biologie bestätigt. Die Hindernisse, auf die die Forscher selbst allenthalben stoßen bei ihrem Streben nach technisch-rationaler Herstellung auf menschliche Zwecke hin maßgeschneiderter Organismen, deren wissenschaftstheoretische Reflexion und die Vergegenwärtigung der kant'schen transzendentalphilosophisch begründeten Grenzziehung des kausalmechanischen Reduktionismus erweisen allesamt die epistemologische Verkehrtheit der Maschinenkonzeption von Lebewesen – und trüben damit die Erfolgsaussichten derjenigen Strömungen innerhalb der Synthetischen Biologie, die allzu orthodox an ihr festhalten. Die mit dem Ziel der Selbsterhaltung in der Zelle und im gesamten Organismus ablaufenden Prozesse lassen sich nur in Grenzen beherrschen, steuern und der Erfüllung eines anderen Zwecks, etwa der Herstellung eines bestimmten Stoffes, unterordnen und keinesfalls am Reißbrett (re-)konstruieren. Unter dem Primat des *engineering by design* gerät diese Eigenart des Organischen, die seiner Funktionalisierung und effizienten Nutzung Grenzen setzt, überhaupt nicht in den Blick. Synthetische Biologen blenden systematisch die wesentlichen Eigenschaften von Lebewesen (insbesondere die Abhängigkeit der Teile vom Ganzen und voneinander) sowie unseres erkenntnistheoretischen Zugangs zur Wirklichkeit aus, versperren sich so viele Einsichten sowie ein angemessenes Verständnis ihres Gegenstandes und verschreiben sich, wie Schummer zeigt, unter Aufgabe des Anspruchs der Wissenschaftlichkeit, einem illusionären Projekt der Herstel-

lung maßgeschneiderter (komplexer) Organismen, (vgl. Schummer 2011, S. 125), dessen Machbarkeitsvorstellung auf der eingangs dargestellten *petitio principii* beruht.

Entsprechend gering sind die Aussichten, dass sich die – weniger dem *engineering approach* denn Methoden klassischer Gentechnik sowie einer vom Ideal des *engineering by design* weit entfernten Praxis des Bastelns und Herumprobierens an Einzelfalllösungen zu verdankenden – Erfolge der Synthetischen Biologie im Bereich der Bakterien, Viren und Vektoren auf höher entwickelte Lebensformen übertragen oder sich gar neue Erkenntnisse über Lebewesen durch deren Herstellung, wie proklamiert wird, gewinnen lassen. Es scheint mithin nicht, wie behauptet, lediglich eine Frage der Zeit und des wissenschaftlich-technischen Fortschritts zu sein, wann die technisch-rationale Herstellung maßgeschneiderter Lebewesen möglich sein wird: Diese hat sich mit Blick auf die diskutierten transzendentalphilosophischen, epistemologischen und empirischen Gründe für die Unmöglichkeit, Organismen als Maschinen zu konzeptualisieren und entsprechende Umgangsformen mit letzteren auf erstere anzuwenden, als prinzipiell unmöglich erwiesen.

Eine wissenschaftliche Revolution wie das Erscheinen eines Newton des Grashalms in Gestalt der Synthetischen Biologie kann getrost ausgeschlossen werden, da diese das genaue Gegenteil von einer theoretischen Untersuchung ihres Gegenstandes unternimmt und den Bereich des Lebendigen gerade nicht auf Grundgesetze zurückführt, wie dies Newton für die Physik leistete. Selbst wenn es uns gelänge, Lebewesen technisch herzustellen, so hätten wir dadurch doch keine wissenschaftliche Durchdringung des Gegenstandes, wie Hans Jonas bereits Mitte des letzten Jahrhunderts bemerkte: „...*At present, analysis of living objects proceeds on selected causal lines, while the synthesis of an organic whole, its intelligible construction from the sum of its elements, is today farther from the reach of theory than is the experimental making of life...*“ (Jonas 1951, S. 39)

Dass wir keine entsprechende wissenschaftliche Theorie des Organismus haben, liegt, wie die Auseinandersetzung mit Kant zeigte, daran, dass wir das besondere Verhältnis zwischen Teilen und Ganzem im Organischen nicht kausalmechanisch erklären können, naturwissenschaftliche Kausalerklärungen jedoch (traditionell) stets reduktionistisch sind. Unser Begriff des wissenschaftlichen Verständnisses und unsere gängigen Formen der wissenschaftlichen Kausalerklärung müssten einer Revision unterzogen werden (vgl. Keller 2009), damit organische Ganzheiten, deren Eigenart, wie gezeigt, gerade darin liegt, dass der kausalmechanische Reduktionismus an ihrem Erfassen scheitert, durch unser Denken, das dann womöglich seine Ergänzungsbedürftigkeit durch eine Form der teleologischen Reflexion erkennt, einholbar werden.

„[...] *the MCO [Maschinenkonzeption des Organischen] stands today as one of the most serious obstacles impeding further progress in our theoretical comprehension of living systems. In essence, the MCO systematically reduces organisms to the features it is capable of explaining and filters out everything that remains. [...] once [...] it is understood, that mechanicism, despite its historical importance, neither predetermines nor exhausts the meaning of science, biological theory liberates itself from the need to conform to the MCO, and becomes able to explore alternative conceptual models that attempt to confront the complexity of the organism on its own terms.*“ (Nicholson 2013, S. 677)

Biologen und Philosophen sind gefordert, gemeinsam an passenden Konzeptionen des Organischen zu arbeiten, was auch bereits geschieht (vgl. Keller 2009; vgl. Forschungsgruppe um John Dupré), anstatt biologischen Gebilden das Modell technischer Artefakte

überzustülpen und auf dieser zweifelhaften Grundlage methodisch nicht abgesicherte Lebensherstellungsprojekte zu verfolgen. Es stiftet Verwirrung, falsche Hoffnungen und Ängste, als erreichbares Forschungsziel auszugeben, Lebewesen herstellen und programmieren zu können wie Computer. Gerade biologisch kaum geschulte Ingenieure sollten dagegen für die Eigenart des Organischen und die Problematik der Maschinenmetapher sensibilisiert werden, was die Entwicklung innovativer und der biologischen Organisation angemessenerer Konzepte erleichtern würde.

Das Zeitalter der technischen Machbarkeit des Lebens (vgl. Dabrock 2011) läutet die Synthetische Biologie jedenfalls nicht ein, trotz ihrer nicht abstreitbaren Erfolge. Mit der Einsicht, dass Lebewesen auch durch Synthetische Biologie nicht technisch-rational hergestellt oder komplexe Organismen programmiert werden können und dass sich Leben, richtig verstanden als *Seinsweise*, prinzipiell jeglicher Herstellbarkeit entzieht, verlieren Überlegungen dazu, ob und warum Leben (nicht) hergestellt werden darf und inwiefern sich unser Verständnis des Lebens und unser Verhältnis zu anderen Lebewesen durch die Fortschritte der Synthetischen Biologie verändern, an Gewicht und Dringlichkeit. Die ethische Diskussion kann sich damit von Gotteshandwerks- und Hybriddiskussionen vorerst verabschieden. Mit Versprechungen von Lebenswissenschaftlern konfrontierte Bioethiker sind sicherlich stets gut beraten, sich auf diese nicht zu verlassen, ohne ihre Hintergründe und Realisierbarkeit kritisch geprüft zu haben. Andernfalls laufen sie Gefahr, den Metaphern und Selbstmissverständnissen der Wissenschaftler aufzusitzen, ein verzerrtes Bild der Wissenschaft und ihrer Möglichkeiten zu bekommen und infolgedessen Scheinprobleme zu diskutieren, anstatt sich mit den wesentlichen Fragen, die auch die Synthetische Biologie durchaus aufwirft, auseinanderzusetzen.

Dazu gehören neben der Diskussion um *biosafety* und *biosecurity* Fragen wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Folgen des durch die Synthetische Biologie weiter vorangetriebenen biotechnologischen Wandels. Daraus, dass die Erfolgsaussichten des *engineering*-Ansatzes in der Synthetischen Biologie aus den dargelegten Gründen für bescheiden zu halten sind, sollte nicht der Schluss gezogen werden, dass Anwendungen der Synthetischen Biologie im weiteren Sinne moderner Biotechnologie (vgl. Sauter 2011) nicht vor der Tür stünden – tatsächlich sind schon viele auf dem Markt (vgl. Wagner, Deutscher Ethikrat 2011, S. 75). *Engineering by design* mag scheitern, mit der biologischen Eigenart näher stehenden Methoden lassen sich aber tiefgreifende und in ihrer Reichweite kaum verstandene Veränderungen der Natur vornehmen, wie die Biotechnologie seit Jahren und Jahrzehnten unter Beweis stellt.

„Erstens muss eine Technologie nicht funktionieren, um einen Wandel herbeizuführen und für gewisse Leute äußerst profitabel zu sein. [...] Die Wissenschaft hat keine Ahnung, aber es werden Gewinne erzielt. Deshalb sage ich jedem, der argumentiert, die Synthetische Biologie sei zu neu, zu jung, zu ungewiss: das ist ein Irrtum! Sie entwickelt sich weiter, sie ist immens profitabel.“ (Pat Mooney, Deutscher Ethikrat 2011, S. 68f.)

„So stellt sich grundsätzlich die Frage, wie weit wir mit dem Unverstandenen hantieren sollten. Sollten wir mit folgenreichen Produktionstechniken der wissenschaftlichen Durchdringung des Gegenstandes gleichsam blind vorauslaufen?“ (Gehring 2010) Öffentlichkeit und Begleitforschung sind insbesondere gefordert, die Zwecksetzung und die treibenden Kräfte hinter biotechnologischen Neuerungen im Blick behalten, denn die gegenwärtige Wirtschaftsordnung, unter deren Rahmenbedingungen und Regeln wissenschaftlich-technische Neuerungen zum Einsatz kommen, kennt aus sich heraus keine

ökologischen, sozialen und ethischen Grenzen. Die Kurzsichtigkeit einer menschlichen (und dabei unter den Bedingungen einer weltweiten neoliberalen Wirtschaftsordnung in erster Linie profitorientierten) Zweckoptimierung der belebten Umwelt, die mangels teleologischer Naturbetrachtung Zusammenhänge innerhalb eines selbsterhaltenden biologischen Systems sowie zwischen Lebewesen untereinander und ihrer Umwelt kaum kennt und anerkennt, ist beunruhigend. Hier dürften die eigentlichen Gefahren der Synthetischen Biologie liegen und so lassen sich mit Pat Mooney von der ETC-Group auch ganz konkrete Fragen von Seiten einer kritischen Öffentlichkeit und einer gesellschaftspolitisch wachen Begleitforschung stellen: Wer besitzt und kontrolliert eine Technologie? Welche ökonomischen Folgen ergeben sich daraus weltweit? Was genau macht die Technologie? Wofür ist sie gut bzw. schlecht? (vgl. Pat Mooney, Deutscher Ethikrat 2011, S. 63)

Sowohl ihre technologisch-ontologische Zielsetzung der Schaffung neuartiger maßgeschneiderter Organismen als auch ihre wissenschaftliche Zielsetzung des Erkenntnisgewinns durch Herstellung sind der Synthetischen Biologie jedoch aus den dargelegten Gründen prinzipiell nicht erreichbar, sodass zumindest das Erscheinen eines Newtons des Grashalms weder zu hoffen noch zu fürchten ist.

Literatur

Acatech (2015): Dossier Synthetische Biologie, online unter <http://www.acatech.de/de/aktuelles-presse/dossiers/dossier-synthetische-biologie.html> [15.01.15].

Andrianantoandro, E./ Basu, S./ Karig, D. K./ Weiss, R. (2006): Synthetic biology. New engineering rules for an emerging discipline, in: *Molecular Systems Biology* 2 (1).

Billerbeck, S. & Panke, S. (2012): Synthetische Biologie. Biotechnologie als eine Ingenieurwissenschaft, in: Boldt, J./ Müller, O./ Maio, G. (Hrsg.): *Leben schaffen? Philosophische und ethische Reflexionen zur Synthetischen Biologie*. Mentis, Paderborn. 19–40.

Boldt, J. & Müller, O. (2008): Newtons of the leaves of grass, in: *Nature Biotechnology* 26 (4). 387–389.

Boldt, J./ Müller, O./ Maio, G. (2012, Hsrg.): *Leben schaffen? Philosophische und ethische Reflexionen zur Synthetischen Biologie*. Mentis, Paderborn.

Boldt, J. (2012): Synthetische Biologie und das alte Gespenst der Gentechnik. Zur Einleitung in das Thema, in: Boldt, J./ Müller, O./ Maio, G. (Hrsg.): *Leben schaffen? Philosophische und ethische Reflexionen zur Synthetischen Biologie*. Mentis, Paderborn. 9–19.

Boldt, J. (2012): „Leben“ in der Synthetischen Biologie. Zwischen gesetzesförmiger Erklärung und hermeneutischem Verstehen, in: Boldt, J./ Müller, O./ Maio, G. (Hrsg.): *Leben schaffen? Philosophische und ethische Reflexionen zur Synthetischen Biologie*. Mentis, Paderborn. 177-195.

Bölker, M. (2011): Revolution der Biologie? Ein Überblick über die Voraussetzungen, Ansätze und Ziele der Synthetischen Biologie, in: Dabrock, P./ Bölker, M./ Braun, M./

Ried, J. (Hrsg.): Was ist Leben – im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit? Verlag Karl Alber, Freiburg. 27–43.

Brenner, A. (2012): Leben leben und Leben machen. Die Synthetische Biologie als Herausforderung für den Lebensbegriff, in: Boldt, J./ Müller, O./ Maio, G. (Hrsg.): Leben schaffen? Philosophische und ethische Reflexionen zur Synthetischen Biologie. Mentis, Paderborn. 105–120.

Bruckamp, K. (2011): Lebenswelten formen. Synthetische Biologie zwischen Molekularbiologie und Ingenieurtechnologie, in: Dabrock, P./ Bölker, M./ Braun, M./ Ried, J. (Hrsg.): Was ist Leben – im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit? Verlag Karl Alber, Freiburg. 61–75.

Carr, P.A. & Church, G.M. (2009): Genome Engineering, in: Nature Biotechnology 27 (12). 1151–1162.

Dabrock, P./ Bölker, M./ Braun, M./ Ried, J. (2011, Hrsg.): Was ist Leben – im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit? Verlag Karl Alber, Freiburg.

Deplazes-Zemp, A. (2011): The conception of life in synthetic biology, in: Science and Engineering Ethics, 18 (4). 757–774.

Deplazes-Zemp, A. (2011): Leben als Werkzeugkasten. Die Auffassung von Leben in der Synthetischen Biologie, in: Dabrock, P./ Bölker, M./ Braun, M./ Ried, J. (Hrsg.): Was ist Leben – im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit? Verlag Karl Alber, Freiburg. 95–117.

Deutscher Ethikrat (2011): Tagung „Werkstatt Leben“, Mitschrift, online unter: <http://www.ethikrat.org/veranstaltungen/weitere-veranstaltungen/werkstatt-leben/> [12.01.2015].

Dupré, J. (2009): It is not possible to reduce biological explanations to explanations in chemistry and/or physics, in: Ayala, F. & Arp, R. (Hrsg.): Contemporary debates in philosophy of biology. Wiley-Blackwell. 32–47.

Eichinger, T. (2011): Biodesign. Zu möglichen Abgrenzungskriterien der synthetischen Biologie von klassischer Gentechnik, in: Dabrock, P./ Bölker, M./ Braun, M./ Ried, J. (Hrsg.): Was ist Leben – im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit? Verlag Karl Alber, Freiburg. 75–94.

Endy, D. (2005): Foundations for engineering biology, in: Nature 438. 449–453.

Endy, D. (2011): Building a new biology, in: Comptes Rendues Chimie 14. 424–428.

Engelhard, M. (2011): Die synthetische Biologie geht über die klassische Gentechnik hinaus, in: Dabrock, P./ Bölker, M./ Braun, M./ Ried, J. (Hrsg.): Was ist Leben – im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit? Verlag Karl Alber, Freiburg. 43–60.

ETC-group (2007): Extreme genetic engineering. An introduction to synthetic biology, online unter <http://www.etcgroup.org/content/extreme-genetic-engineering-introduction-synthetic-biology> [12.01.2015].

ETC-group (2010): The new biomassters. Synthetic biology and the next assault on biodiversity and livelihoods, online unter <http://www.etcgroup.org/content/new-biomassters> [12.01.2015].

ETC-group (2012): Synthetic Biology. 10 key points for delegates, online unter <http://www.etcgroup.org/content/synthetic-biology-10-key-points-delegates> [12.01.2015].

Europäische Kommission (2005, Hrsg): Synthetic biology applying engineering to biology. Report of a NEST high-level expert group. Brüssel.

European Parliamentary Technology Assessment (2011): Synthetic Biology, Briefing Note 1.

Forster, A. C. & Church, G. M. (2006): Towards synthesis of a minimal cell, in: Molecular Systems Biology 2, Article Number 45.

Gehring, P. (2010): Das Leben im Bakterium. Wenn es kein Leben ist, was ist es dann? FAZ Interview, online unter <http://www.faz.net/aktuell/feuilleton/forschung-und-lehre/das-leben-im-bakterium-wenn-es-kein-leben-ist-was-ist-es-dann-1983342.html> [15.01.2015].

Hennig, B. (2007): Der Fortbestand von Lebewesen. Aus Anlass von Marianne Scharks ‚Lebewesen versus Dinge‘, in: Allgemeine Zeitschrift für Philosophie, 32. 81–91.

Irrgang, B. (2008): Philosophie der Technik. WBG, Darmstadt.

Jonas, H. (1951): Materialism and the theory of organism, in: The University of Toronto Quarterly 21. 39–51.

Kant, I. (1790): Kritik der Urteilskraft. Ausgabe der Preußischen (später Deutschen) Akademie der Wissenschaften [=AA], Bd. V. 165–487.

Kant, I. (1800): Logik. Ausgabe der Preußischen (später Deutschen) Akademie der Wissenschaften [=AA], Bd. IX. 1–150.

Kant, I. (1795): Zum Ewigen Frieden. Ausgabe der Preußischen (später Deutschen) Akademie der Wissenschaften [=AA], Bd. VIII. 341–387.

Kant, I. (1914): Erste Einleitung in die Kritik der Urteilskraft. Ausgabe der Preußischen (später Deutschen) Akademie der Wissenschaften [=AA], XX. 193–251.

Keller, E. F. (2002): Making sense of life. Explaining biological development with models, metaphors and machines. Harvard University Press, Cambridge.

Keller, E. F. (2009): It is possible to reduce biological explanations to explanations in chemistry and/or physics. In: Ayala, F. J./ Arp, R. (Hrsg.): Contemporary debates in philosophy of biology. Wiley-Blackwell. 19–31.

Kogge, W. & Richter, M. (2013): Synthetic Biology and its alternatives. Descartes, Kant and the idea of engineering biological machines, in: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences 44. 181–189.

Lewens, T. (2013): From bricolage to BioBricks™: Synthetic biology and rational design, in: *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44. 641–648.

McLaughlin, P. (1989): *Kants Kritik der teleologischen Urteilskraft*. Bouvier, Bonn.

Müller, O. (2012): Vom Homo faber zum Homo creator? Synthetische Biologie und menschliches Selbstverständnis, in: Boldt, J./ Müller, O./ Maio, G. (Hrsg.): *Leben schaffen? Philosophische und ethische Reflexionen zur Synthetischen Biologie*. Mentis, Paderborn. 217–230.

Müller-Strahl, G. (2011): Metaphysik des Mechanismus und die Erklärung organischer Formen des Lebendigen, in: Dabrock, P./ Bölker, M./ Braun, M./ Ried, J. (Hrsg.): *Was ist Leben – im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit?* Verlag Karl Alber, Freiburg. 195–227

Nicholson, D. (2013): Organisms ≠ Machines, in: *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44. 669–678.

O'Malley, M. (2009): Making knowledge in synthetic biology: Design meets kludge, in: *Biological Theory* 4 (4). 378–389.

O'Malley, M. (2011): Exploration, iterativity and kludging in synthetic biology, in: *Comptes Rendus Chimie*, 14. 406–412.

Ohnona, L. (2012): *Leben aus dem Labor – die synthetische Biologie*. Arte Dokumentation, ausgestrahlt am 25.04.2012.

Rabinow, P. & Bennett, G. (2009): Auf dem Weg zum Synthetischen Anthropos. Re-Mediatisierende Konzepte, in: Weiß, M. G. (Hrsg.): *Bios und Zoe. Die menschliche Natur im Zeitalter ihrer technischen Reproduzierbarkeit*. Suhrkamp, Frankfurt a.M. 330–359.

Reth, M. (2012): Magie und Tragik der Synthetischen Biologie. In: Boldt, J./ Müller, O./ Maio, G. (Hrsg.): *Leben schaffen? Philosophische und ethische Reflexionen zur Synthetischen Biologie*. Mentis, Paderborn. 41–51.

Sauter, A. (2011): Synthetische Biologie: Finale Technisierung des Lebens – oder Etikettenschwindel? TAB-Brief Nr. 39.

Schark, M. (2005): *Lebewesen versus Dinge. Eine metaphysische Studie*. De Gruyter, Berlin.

Schummer, J. (2011): *Das Gotteshandwerk. Die künstliche Herstellung von Leben im Labor*. Suhrkamp Verlag, Berlin.

Schwille, P. (2011): Synthetische Biologie in biophysikalischer Perspektive. Vortrag auf der Tagung „Werkstatt Leben“ des Deutschen Ethikrates, online unter <http://www.ethikrat.org/veranstaltungen/weitere-veranstaltungen/werkstatt-leben> [12.01.2015].

Schyfter, P. (2013): How a ‚drive to make‘ shapes synthetic biology, in: *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 44. 632–640.

Toellner, R. (1980). *Leben*. VI. Der biologische Lebensbegriff, in: Ritter, J & und Karlfried Gründer. *Historisches Wörterbuch der Philosophie* Bd. 5. Basel, Stuttgart. 97–103.

Toepfer, Georg (2004): Zweckbegriff und Organismus. Über die teleologische Beurteilung biologischer Systeme. Königshausen und Neumann, Würzburg.