

Tagungsdokumentation

## Werkstatt Leben

Bedeutung der Synthetischen Biologie  
für Wissenschaft und Gesellschaft



Deutscher Ethikrat

# Werkstatt Leben

Bedeutung der Synthetischen Biologie für Wissenschaft und Gesellschaft

Vorträge der Tagung des Deutschen Ethikrates 2011

## **Herausgegeben vom Deutschen Ethikrat**

Jägerstraße 22/23 • D-10117 Berlin

Telefon: +49/30/20370-242 • Telefax: +49/30/20370-252

E-Mail: [kontakt@ethikrat.org](mailto:kontakt@ethikrat.org)

[www.ethikrat.org](http://www.ethikrat.org)

© 2013 Deutscher Ethikrat

Alle Rechte vorbehalten.

Eine Abdruckgenehmigung wird auf Anfrage gern erteilt.

Layout: Torsten Kulick

Umschlaggestaltung: BartosKersten Printmediendesign, Hamburg

Titelillustration: Dirk Biermann

ISBN 978-3-941957-41-1

# INHALT

- Seite 7 >> Vorwort
- Seite 9 >> Petra Schwillie  
Synthetische Biologie – Konstruktionsansätze für Lebensprozesse?
- Seite 21 >> Rüdiger Stegemann  
Bedeutung der Synthetischen Biologie für Wissenschaft und Gesellschaft
- Seite 25 >> Oskar Zelder  
Synthetische Biologie – ein Innovationsmotor für die industrielle Biotechnologie?
- Seite 27 >> Nils-Christian Lübke  
Synthetische Biologie aus studentischer Sicht
- Seite 33 >> Markus Schmidt  
Inszenierung der Synthetischen Biologie in Wissenschaft, Medien, Film und Kunst
- Seite 51 >> Armin Grunwald  
Synthetische Biologie zwischen Durchbruch und Hype
- Seite 67 >> Alfred Pühler  
Die Lebensfrage oder wie unterscheidet sich Synthetische Biologie vom künstlichen Leben?
- Seite 75 >> Christoph Rehmann-Sutter  
Das „Leben“ synthetischer Zellen
- Seite 89 >> Joachim Boldt  
Herstellen, verändern, erschaffen – die Synthetische Biologie als prometheische Biotechnologie
- Seite 101 >> Peter Dabrock  
Aktuelle ethische Herausforderungen der Synthetischen Biologie
- Seite 107 >> Pat Roy Mooney  
Die neuen Biomasser: Wer will die Kontrolle über die Grüne Ökonomie?
- Seite 117 >> Ralf Wagner  
Umgang mit Chancen und Risiken der Synthetischen Biologie
- Seite 123 >> Wolf-Michael Catenhusen  
Synthetische Biologie und gesellschaftliche Verantwortung

Seite 127 >> Wolf-Michael Catenhusen, Peter Dabrock, Alfred Pühler, Jochen Taupitz  
Zur gesellschaftlichen Verantwortung auf dem Gebiet der Synthetischen  
Biologie

Seite 135 >> Autorinnen und Autoren

Seite 139 >> Abbildungsnachweis

# Vorwort

In unserer Gesellschaft entwickeln sich neue Wissenschafts- und Technikfelder, auch *emerging technologies* genannt, in einem Prozess, der schon früh die Begleitung der Gesellschaft, die Einbettung in gesellschaftliche Prozesse des Lernens und der Urteilsfindung ermöglicht und erfordert. Zu diesen *emerging technologies* wird weltweit auch die Synthetische Biologie gezählt. Schon 1984 stellte die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung am Beispiel der Biotechnologie fest, dass nunmehr die Zeit zu Ende geht, in der eine Gesellschaft blind in den Umgang mit neuen Techniken und Wissenschaftsfeldern hineingegangen sei und Lernprozesse in der Gesellschaft zum Teil erst nach Störfällen technischer oder auch sozialer Art eingesetzt haben.

Die Synthetische Biologie ist ein Forschungsfeld, das noch im Entstehen begriffen ist. Wir sind in einer sehr frühen Phase, vielleicht der frühestmöglichen Phase, dabei, sowohl interdisziplinär in der Wissenschaft als auch in der Gesellschaft Maßstäbe für einen verantwortlichen Umgang mit dieser Wissenschaftsdisziplin zu entwickeln – ein sehr ehrgeiziges Ziel, das aber dem Umgang einer modernen Gesellschaft mit neuen Wissenschaftsfeldern, gemäß dem Vorsorgeprinzip (*precautionary principle*), angemessen ist.

Schon 1987 gab es in Deutschland einen Aufsatz mit dem Titel „Synthetische Biologie“. Professor Ernst-Ludwig Winnacker, der spätere Präsident der Deutschen Forschungsgemeinschaft, hat damals den Begriff Synthetische Biologie im Kontext der Gentechnik verwendet. Über Synthetische Biologie versuchte man damals das neue Potenzial der Gentechnik angemessen zu umschreiben. Heute umfasst die

Synthetische Biologie ein Feld, das über die Gentechnik hinausreicht und interdisziplinär angelegt ist.

Nach dem Ethikratgesetz hat der Deutsche Ethikrat den Auftrag, die ethischen gesellschaftlichen, naturwissenschaftlichen, medizinischen und rechtlichen Fragen sowie die voraussichtlichen Folgen für Individuum und Gesellschaft, die sich in Zusammenhang mit der Forschung und den Entwicklungen insbesondere auf dem Gebiet der Lebenswissenschaften und ihrer Anwendung auf den Menschen ergeben, zu verfolgen. Zu seinen Aufgaben gehören unter anderen die Information der Öffentlichkeit und die Förderung der Diskussion in der Gesellschaft unter Einbeziehung der verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen. Dieser Aufgabe ist der Ethikrat mit seiner öffentlichen Tagung „Werkstatt Leben. Bedeutung der Synthetischen Biologie für Wissenschaft und Gesellschaft“ am 23. November 2011 in Mannheim nachgekommen.

Bereits im Februar 2010 hat der Deutsche Ethikrat ein Forum Bioethik zu Fragen der Synthetischen Biologie durchgeführt. Damals kam der Ethikrat zu der Einschätzung, keine Stellungnahme zu erarbeiten, die weitere Entwicklung der Synthetischen Biologie aber weiter angemessen zu begleiten. Mit der Mannheimer Tagung hat der Ethikrat einen weiteren Beitrag zum gesellschaftlichen Diskurs über Fragen der Synthetischen Biologie geleistet.

Weitere Informationen sowie Materialien zur Tagung finden Sie auf der Website des Deutschen Ethikrates.

Wolf-Michael Catenhusen  
Mitglied des Deutschen Ethikrates

# Synthetische Biologie – Konstruktionsansätze für Lebensprozesse?

In meinem Beitrag möchte ich die Synthetische Biologie aus der Sicht einer der Biologie benachbarten naturwissenschaftlichen Disziplin, der Physik oder konkreter: der Biophysik, darstellen.<sup>1</sup> Insofern darf ich nicht als typische Repräsentantin der Synthetischen Biologie gelten, hoffe aber dennoch, einige grundlegende Dinge vermitteln zu können und vielleicht auch Appetit zu wecken auf die spezielle Zugangsweise, die Biophysiker oder quantitativ orientierte Biologen zu dieser neuen Forschungsrichtung haben.

Zunächst einmal: Was will eigentlich die Synthetische Biologie? Man könnte böseartig vermuten: Es handelt sich, wie oft, wenn eine neue Disziplin propagiert wird, um alten Wein in neuen Schläuchen. Denn die Ziele, zumindest in anwendungsbezogener Hinsicht, sind eigentlich die gleichen wie die der traditionellen Biotechnologie. Man erhofft sich von der Synthetischen Biologie neue Wirkstoffe beziehungsweise neue Chemikalien, die als Pharmaka dienen können. Wir erhoffen uns von der Synthetischen Biologie einen Beitrag zur Frage der zukünftigen Energieversorgung. Wichtige Aspekte sind auch, neue Materialien zu generieren oder aber Materialien leichter und effizienter recycelbar zu machen. Die Aufgaben sind somit vielfältig. Wir wissen alle, dass die Natur äußerst interessante Lösungen zu diesen Fragen anzubieten vermag: seien es Energieerzeugung aus Sonnenlicht oder Biomasse, leichte und robuste Materialien oder Naturstoffe zur Bekämpfung von Krankheitserregern.

---

<sup>1</sup> Dieser Vortrag wurde in ähnlicher Form auf der Jahrestagung der Leopoldina am 24. September 2011 mit dem Titel „Was ist Leben?“ gehalten.

Es ist somit nicht zu viel verlangt, die Biotechnologie noch einmal auf neue Ansätze und Strategien hin abzuklopfen.

Wo liegen überhaupt die Limitationen der traditionellen Biotechnologie? Es ist sicher allgemein bekannt, dass beim sogenannten Klonieren die genetische Information für biologische Stoffe, meistens Proteine oder deren Produkte, die man in großem Maßstab herstellen möchte, in einen sehr kleinen und hochreproduktiven Organismus eingebracht wird. Das ist oft ein Bakterium, *Escherichia coli* (*E. coli*) ist dabei sehr beliebt. Eine der ersten Erfolgsgeschichten dieser Technologie ist die gentechnische Herstellung des Insulins, das früher sehr viel teurer und in deutlich problematischerer Qualität aus Tieren gewonnen werden musste. Wenn man das Gen, also die genetische Information eines bestimmten Proteins, in einen anderen Organismus einschleust, wird es dort wie die eigene DNA behandelt und entsprechend in das jeweilige Protein übersetzt und zusammengesetzt. Nur ist dieser Produktionsorganismus eben ein eigenständiger Organismus und jeder Organismus hat grundsätzlich andere „Interessen“ als das, was ihm in irgendeiner Form von Fremd-DNA oktroyiert wird, einfach zu produzieren. Jedes natürliche System hat durch Jahrtausende der Evolution und durch Konkurrenz mit anderen Systemen gelernt, mit Informationen, die von außen kommen – sehr oft sind es schädliche Informationen, zum Beispiel von Krankheitserregern –, umzugehen und sie auszuschalten. Jeder Produktionsorganismus, auch ein simples Bakterium, hat also prinzipielle Mechanismen, sich gegen die Produktion ihm fremder Stoffe zu wehren.

Dabei sollte man sich auch immer vergegenwärtigen, dass die Prozesse, die in Organismen ablaufen, trotz ihrer offensichtlichen Effizienz und Funktionalität nicht ingenieurmäßig designt sind. Ein lebendes System, das in einem feindlichen Umfeld leben muss, verfügt daher über viele Redundanzen und scheinbar überflüssige Strukturen in seinem Bauplan. Diese sind aber, da sie aus dem Zellmetabolismus gespeist werden müssen, energieaufwendig und machen die Produktion eines bestimmten Stoffes, rein unter dem Kosten-Nutzen-Aspekt betrachtet, ineffizient. Egal, was wir daher in einem Bakterium produzieren wollen: Der Organismus beziehungsweise wir, die wir ihn kultivieren wollen, müssen immer eine hohe Steuer in Form von metabolischer Energie dafür bezahlen. Oder in anderen Worten: Wir müssen viel mehr Bakterien kultivieren, als wir im Idealfall bräuchten.

Die Frage, die sich im Falle der Synthetischen Biologie nun stellt, ist, ob wir diese „Steuer“ irgendwie umgehen und dadurch die Effizienz beim Klonieren dramatisch steigern können. Das eigentlich methodisch Neue dieser biologischen beziehungsweise biotechnologischen Teildisziplin ist es also, einen ingenieurwissenschaftlichen Ansatz zur Biologie durchzuspielen. Das Schlüsselwort dieses Ansatzes ist „modular“. Modularität – und damit schrittweises Zerlegen und Konstruieren – ist das Kennzeichen und Erfolgsgeheimnis ingenieurtechnischen Denkens. Alles, was als technisches Gerät designt wird, vom Auto bis zum Notebook, ist grundsätzlich modular aufgebaut.

Besonders deutlich wird das auf Schaltbildern, die wir aus der Informationstechnologie kennen; hier werden einzelne einfache Schaltelemente in großer Zahl zusammengesetzt und daraus entsteht ein neues, großes Element mit hoch komplizierter Funktion.

Letzten Endes kann man auch die Biologie als modular beschreiben. Das beginnt bei den einzelnen Genen und geht weiter mit den Domänen eines Proteins. Proteine sind die Eiweiße, deren Informationen in den Genen codiert sind; auch diese Proteine sind modular aufgebaut. Sie haben zum Beispiel Module, die diese Proteine spezifisch in verschiedene Regionen der Zelle bringen, sie zum Beispiel an eine Membran anheften; andere haben ein enzymatisch aktives Modul, ein sogenanntes reaktives Zentrum. Heute verstehen wir so viel von diesen Proteinen, dass wir die meisten dieser funktionalen Module recht gut beschreiben können. Die meisten Proteine bestehen aus vielen Modulen, von denen wir einzelne in ihrer spezifischen Funktion noch nicht und andere sehr gut verstehen. Je größer ein Protein ist, je mehr Module es hat, desto schwieriger ist es gemeinhin auch, es zu produzieren – noch dazu in einem fremden Organismus. Es spricht also viel dafür zu sagen: Wir kennen bestimmte Module, wir kennen die genetische Information speziell für diese Module – warum bringen wir nicht einfach die Module, von denen wir genau verstehen, wie sie funktionieren und wofür sie gut sind, zusammen und bauen daraus ein kleineres, weniger kompliziertes Protein, das eigentlich nur das tut, von dem wir wissen, wie es funktioniert, und mit dem wir einfacher arbeiten können? Vielleicht ist es für unseren Wirtsorganismus sehr viel einfacher, dieses „abgekürzte“ beziehungsweise mutmaßlich effizienter gemachte Protein zu produzieren. Das ist kurz gefasst die Idee hinter dem ingenieurwissenschaftlich motivierten Versuch, die Biologie zu modularisieren und letztlich dadurch zu vereinfachen.

Viele technische Probleme auf dem Schritt hin zu dieser synthetischen Darstellung der Biologie sind schon gelöst. Wir kennen die Prozessschritte der rekombinanten DNA, wir wissen, wie man DNA in großen Mengen herstellt oder wie man sie in fremde Organismen einschleust. Wir kennen eine Vielzahl von funktionalen Proteinmodulen und ihre genetische Information, die bereits im Internet zu einer allgemein zugänglichen Bibliothek („Registry“) zusammengestellt sind. Nur die Abstraktion bekannter biologischer Prozesse und die Standardisierung der relevanten Module sind unter ingenieurwissenschaftlichen Gesichtspunkten noch nicht zur Perfektion gediehen. Standardisierung heißt dabei, dass ein Modul sich nicht nur in einem bestimmten Organismus oder molekularen Zusammenhang so verhält, wie es soll, sondern in möglichst vielen. Man kann das ein wenig mit der Standardisierung von Werkzeug, wie zum Beispiel Schrauben, vergleichen. Obwohl jede Schraube im Prinzip dieselbe Funktion erfüllt, kommt es doch sehr auf ihre Größe und Gewindeart an, ob man sie dafür jeweils auch verwenden kann. Eine solche Standardisierung für biologische Module, Proteine oder ihre Untereinheiten, vorzunehmen, ist die Aufgabe eines sehr großen Teils der Synthetischen Biologie.

Man kann derzeit nicht über Synthetische Biologie sprechen, ohne Craig Venter zu erwähnen. Es wurde ja bereits davon berichtet, dass Craig Venter künstliches Leben geschaffen hat. Diese Meldung, basierend auf einer Publikation der Venter-Gruppe, ging im Jahr 2010 durch alle Medien.<sup>2</sup> Wenn man genau hinsieht, war das natürlich nicht richtig – auch das hat sich mittlerweile herumgesprochen. Er hat – und das ist eine enorme technische Leistung – das gesamte Genom eines Bakteriums synthetisch hergestellt und in ein Bakterium ohne eigene DNA eingebracht. Das heißt, er hat zunächst das natürliche Genom des Bakteriums herausgenommen, selbst eines hergestellt und dieses wieder in das „ausgehöhlte“ Bakterium hineingetan. Dieses synthetische Bakterium – in der Weise synthetisch, dass eben das neue Genom synthetisch ist – hat tatsächlich gelebt und das getan, was Bakterien normalerweise tun: Es hat sich vermehrt.

Das ist eine enorme technische Leistung. Schon tausend Basenpaare lange DNA-Stücke sind aufwendig und teuer herzustellen; aber hier geht es um tausendmal mehr, eine Million Basenpaare. Die Frage, die sich viele nun stellen werden, ist natürlich: Was soll das? Warum hat er das gemacht? Was für ein hoher technischer Aufwand für das im Grunde doch eher sinnlose Ziel, ein natürliches, nicht besonders wichtiges oder nützliches Bakterium nun plötzlich mit künstlicher DNA auszustatten. Außer dem erstaunlichen Faktum, die Komplettsynthese eines Genoms technisch zu bewältigen, ist damit tatsächlich erst einmal nichts substanziiell Neues erreicht. Interessant wird die Geschichte eigentlich erst dadurch, dass man das synthetische Genom nun auch beliebig variieren und damit möglicherweise vereinfachen kann.

Venter verfolgt damit also im Grunde genau das, was ich zu Beginn meines Beitrags angedeutet habe. Wenn wir uns fragen, wie viele Genbausteine, wie viele Informationsmodule in Form verschiedener Proteine ein Bakterium braucht, um zu leben und sich fortzupflanzen, dann sind das erstaunlicherweise deutlich weniger, als das Bakterium tatsächlich in seinem Genom hat. Dies habe ich mit Redundanz beschrieben. Die Genausstattung vieler Organismen ist umfangreicher als das, was der Organismus zum Überleben bräuchte – wobei das *Überleben* wohl auch noch einmal sehr viel größere Anforderungen stellt als einfach nur zu leben: Die Präsenz einer feindlichen Umgebung erfordert eine andere Ausrüstung, als sich einfach nur zu reproduzieren. Aber wenn es wirklich nur um Produktion und Reproduktion geht – und darum geht es, wenn wir etwas in diesem Bakterium herstellen möchten (dessen Überleben in einer feindlichen Umwelt ist uns normalerweise bestenfalls gleichgültig) –, dann kann man die Genausstattung vermutlich deutlich reduzieren.

Craig Venter versucht also letzten Endes, nicht ein gesamtes synthetisches Genom in dieses Bakterium einzubringen, sondern nur das *minimale* Genom, das heißt, nur diejenigen Teile des Genoms, die das Bakterium wirklich zum Überleben braucht

---

<sup>2</sup> Vgl. Gibson et al. 2010.

und deren es folglich bedürfte, wenn man in diesem Bakterium etwas effizient herstellen wollte. Es gibt aus sogenannten Knock-out-Studien, in denen ein Gen eines Organismus nach dem anderen ausgeschaltet wird, Schätzungen, wie klein das minimale Genom sein müsste: Gegenwärtig beläuft sich diese Zahl auf circa 480 Gene. Das ist immer noch sehr viel, aber deutlich weniger als auch die kleinsten Organismen, wie zum Beispiel der Mikroorganismus *Mykoplasma*, im Moment haben. An diesem kritischen Punkt, mithilfe eines synthetischen Genoms von nur 480 Genen ein Bakterium zum Leben zu erwecken, ist Craig Venter noch nicht angekommen. Dies wäre in der Tat ein erstaunlicher Durchbruch der Synthetischen Biologie und würde wohl ein völlig neues Kapitel in der Biotechnologie aufschlagen. Viele Wissenschaftler warten gespannt darauf. Möglicherweise wird es passieren, vielleicht schon in den nächsten Jahren. Aber vielleicht wird Venter mit seinem gesamten sogenannten Top-down-Ansatz (von oben, ausgehend vom natürlichen System mit maximaler Komplexität, nach unten), den minimalen Organismus zu konstruieren, auch daran scheitern, dass wir das Phänomen des Lebens eben doch nicht ohne Weiteres in einem reinen Kraftakt des sukzessiven Gen-Knock-outs beziehungsweise der Gensynthese dekonstruieren können, ohne fundamentale Zusammenhänge zwischen biologischen Molekülen erst in sehr viel einfacheren Systemen zu verstehen.

Ich möchte Ihnen jetzt unseren eigenen Ansatz nahebringen, der durchaus verschieden ist von dem, den ich gerade vorgestellt habe, aber im Ringen um eine Vereinfachung extrem komplexer Systeme und Phänomene der belebten Natur gewisse Gemeinsamkeiten damit hat. Es handelt sich dabei um eine biophysikalische, also durch die Physik inspirierte Herangehensweise an die Problemstellungen der Synthetischen Biologie. Die Physik verdankt ihre großen Erfolge in der quantitativen Erklärung von Naturphänomenen der systematischen Reduktion von Komplexität, der Strategie, ein komplex erscheinendes Phänomen in lösbar und mathematisierbare Einzelfragestellungen und -phänomene zu zerteilen, gemäß dem Leitsatz „Divide et impera“. Wir sind also keine Biotechnologen in der Weise, dass wir letztlich etwas herstellen oder unmittelbar drängende Probleme in den Lebenswissenschaften angehen möchten. Uns interessiert, wie Leben überhaupt funktioniert, und als Physiker haben wir aus den oben genannten Gründen eine andere Zugangsweise zum Phänomen des Lebens als die Biologen. Wenn es darum geht, ein lebendes System zu verstehen, dann möchten Biologen es so verstehen, wie es auch wirklich existiert. Dies beinhaltet üblicherweise eine möglichst detailgetreue Beschreibung, Kategorisierung, Zerlegung der Organismen, wie sie in der Natur vorkommen, bis in deren unzählige kleinste funktionale Einheiten.

Physiker hingegen sind zunächst nicht so sehr an der Vielfalt der Informationen interessiert. Sie möchten mit möglichst wenig Information, die ja auch immer Komplexität bedeutet, möglichst viel verstehen. Verstehen heißt dabei insbesondere, Theorien und Modelle abzuleiten, die mathematisch verfasst sind, und aus denen

sich Vorhersagen treffen lassen. Die Hauptfrage der Physik, auf das Phänomen des Lebens bezogen, ist daher nicht, wie Leben in seiner Vielfalt tatsächlich funktioniert, sondern wie es in seiner einfachsten Form funktionieren würde. Aus diesem Grund besteht schon immer ein besonders großes Interesse physikalisch orientierter Wissenschaftler an Fragen des Ursprungs des Lebens. Dies führt uns aber auch auf das Problem einer möglichst allgemeingültigen Definition dessen zurück, was Leben eigentlich ist. Und hier herrscht keineswegs Einigkeit, noch nicht einmal innerhalb der Biologie, welche der vielen Charakteristika uns bekannter lebendiger Systeme tatsächlich auch konstitutiv und welche vielleicht nur sekundäre Ausprägungen des Lebens sind, das wir kennen. Als Physiker ist man zunächst einmal interessiert an der Fähigkeit eines lebenden Systems zur Selbstreplikation und dem Ausbilden von Ordnungsstrukturen durch das Aufnehmen sogenannter „negativer Entropie“, ermöglicht durch den Fluss von Energie durch diese Strukturen, so wie Schrödinger es in seinem auch heute noch sehr lesenswerten Buch „Was ist Leben?“ formuliert hat.<sup>3</sup>

Wenn man in diesem Sinne an einem minimalen lebenden System interessiert ist, liegt der sogenannte Bottom-up-Ansatz nahe, also der Versuch, durch sukzessive Erweiterung notwendiger Komponenten so etwas wie einen Grundbaukasten von essenziellen Modulen, also Biomolekülen und deren Metasystemen, zusammenzustellen. Da wir in der Nano-Ära leben, in der es mittlerweile tatsächlich möglich ist, Systeme mit einzelnen Atomen und Molekülen von unten her aufzubauen, ist diese Vision nicht mehr gar so utopisch, wie sie auf den ersten Blick wirken muss. Die Frage ist also durchaus berechtigt, ob wir die essenziellen Module lebender Systeme tatsächlich so weit herunterbrechen können, dass es uns gelingt, ein Minimalsystem eines belebten Organismus von unten nach oben zu bauen.

Ich arbeite in Dresden in einem stark zell- und entwicklungsbiologisch geprägten Umfeld und beobachte, wie von meinen Biologenkollegen unter Zuhilfenahme modernster mikroskopischer Methoden mittlerweile sehr detailgetreu dargestellt wird, wie sich strukturiertes Leben eines vielzelligen Organismus aus einem zunächst ungeordnet scheinenden Embryonalsystem entwickelt. Eine Eizelle – ein scheinbar homogenes, weitgehend strukturloses, ungeordnetes System – entwickelt sich mit höchster Präzision und Vorhersagbarkeit zu einem extrem ausdifferenzierten Gebilde. Hier stellt sich schon eine grundsätzliche Frage, die mithilfe physikalischer Modelle beantwortet werden sollte: Wie können überhaupt Muster aus Unordnung entstehen? Wie kann überhaupt aus einem gemischten System ein ungemischtes System entstehen?

Zu dieser Frage hat Alan Turing schon in den 50er-Jahren eine sehr wirkungsmächtige Arbeit verfasst, die zu dieser Zeit rein theoretisch ausgerichtet war.<sup>4</sup> Turing

---

<sup>3</sup> Vgl. Schrödinger 1951.

<sup>4</sup> Vgl. Turing 1952.

hatte keinerlei praktische Erfahrung in der experimentellen Biologie (die zu seiner Zeit auch längst noch nicht so stark im öffentlichen Bewusstsein war wie heute), sondern war nur, wie wohl alle Wissenschaftler, von den enormen Strukturierungsprozessen in der belebten Natur fasziniert. Seine Erkenntnis, die Erkenntnis eines Mathematikers, ist kurz zusammengefasst diese: Um Muster auszubilden, die letztlich auch die Morphogenese von Lebewesen steuern, sind nur wenige Module und Schaltstellen erforderlich; wenige Moleküle, die in einer ganz bestimmten Weise miteinander interagieren und die durch Diffusion, also ungeordnete statistische Bewegungen, durchmischt werden. Er hat theoretisch aufgezeigt, wie sich bei bestimmten nichtlinearen Interaktionen zwischen den Molekülen spontan Muster aus der Verstärkung lokaler thermischer Fluktuationen ergeben können. Die Moleküle müssen sich einander dabei nur in ihrer Verteilung hemmen oder verstärken und unterschiedliche Reichweiten haben, also schnell respektive langsam diffundieren. Anhand der Turing'schen Modelle, die in den folgenden Jahrzehnten von vielen theoretisch interessierten Gruppen im Bereich der Selbstorganisation aufgegriffen und weiter spezifiziert wurden<sup>5</sup>, lassen sich in der Tat sehr einfach Musterbildungsprozesse in sogenannten Diffusionsreaktionssystemen simulieren, die in der Biologie eine Rolle spielen könnten. Allerdings entwickelte sich in derselben Zeit unsere Kenntnis der Biologie, insbesondere der enormen Komplexität der durch Genregulation gesteuerten Proteinnetzwerke in einem strukturierten Organismus, so rasant weiter, dass diese minimalistischen Ansätze durch die absolut nicht minimalistischen Systeme, die wir heute in der Biologie vorfinden, widerlegt oder doch zumindest in ihrer Relevanz eingeschränkt zu sein scheinen.

Dennoch ist die Frage berechtigt, ob die Strukturierung biologischer Systeme anhand einfacher nichtlinearer physikalisch-chemischer Reaktionsmechanismen denkbar ist und welche Rolle eine solche Strukturierung innerhalb einer Zelle oder eines Organismus spielen kann. Denn erstens war die belebte Natur vermutlich nicht immer so komplex, wie wir sie heute vorfinden, sondern schuldet ihre Komplexität insbesondere den Jahrmillionen evolutiver Anpassungs- und Abgrenzungsprozesse. Und zweitens wäre es seltsam, wenn lebende Systeme solche einfachen physikalischen Mechanismen, die in der Tat existieren, nicht irgendwie gewinnbringend einsetzen. Ein durch Genregulation entstehendes Muster mag stabiler und besser kontrollierbar sein, aber ist es dadurch bereits ausgeschlossen, dass biologische Muster auch einfacher zustande kommen?

Die Frage, die sich uns also stellt, ist folgende: Gibt es in bekannten biologischen Systemen Prozesse, in denen sich auf Basis nur weniger Molekülspezies so etwas wie eine spontane Symmetriebrechung, eine spontane Ausbildung von Mustern darstellt? Zu diesem Thema möchte ich ein Beispiel aus unseren aktuellen Arbeiten

---

<sup>5</sup> Vgl. Gierer/Meinhardt 1972.

anführen. Was uns grundsätzlich interessiert, ist die elementare Zellteilung. Wir wissen sehr viel über die fundamentale biologische Informationseinheit, die DNA, und ihre Vervielfältigung, die sogenannte Selbstreplikation. Was wir nicht wissen, ist, wie sich eigentlich diese DNA vor Urzeiten ihre erst identitätsstiftende Hülle, ihr Kompartiment, angeeignet hat. Dieses Kompartiment muss einerseits Schutz beziehungsweise Isolation vor der Umgebung bieten, andererseits aber während der Selbstreplikation auch zu einer Teilung fähig sein. Wie teilt sich ein Kompartiment, ein kleines Behältnis, in dem etwas enthalten ist? Hier spricht viel dafür, dass auch die Hüllen der frühesten Zellen aus ähnlichen Molekülen wie unsere heutigen Zellsysteme aufgebaut waren: aus amphipathischen Molekülen wie Lipiden, die sich in wässriger Umgebung zu Membranen und Vesikeln unterschiedlicher Größe und Morphologie zusammenlagern und sehr einfach transformierbar und dadurch auch teilbar sind. Natürlich bestehen Zellhüllen aus sehr viel mehr als nur einer Lipidmembran. Die menschlichen Zellen sind besonders kompliziert, da sie für die genetische Information zusätzlich ein eigenes Kompartiment, den Zellkern, haben.

Bakterienzellen dagegen sind noch verhältnismäßig einfach aufgebaut. Viele von ihnen, wie das „Haustierchen“ der Gentechnik, das Bakterium *E. coli*, teilen sich auf interessante und physikalisch attraktive Weise: Sie sind stäbchenförmig und wachsen immer nur entlang ihrer Längsrichtung. Wenn der Zeitpunkt der Teilung gekommen ist, sie also offenbar der Ansicht sind, sie seien lang genug, dann bilden sie einen Proteinring genau in der Mitte der Zelle. Dieser kontrahiert auf bislang noch nicht geklärte Art und Weise und teilt die beiden Tochterzellen voneinander. Das Interessante ist nun zunächst aber die Positionierung dieses Ringes. Denn die Bakterienzelle ist in ihrem Innern eher ungeordnet, die Zellmembran in ihrer Zusammensetzung einigermaßen homogen und trotzdem findet dieser Ring immer die Mitte.

Seit einigen Jahren ist bekannt, dass die Proteine, die diesen Ring positionieren, gar nicht Bestandteile des Ringes sind. Es handelt sich um eine Proteinfamilie, deren genetisches Ausschalten zu einer Fehlpositionierung des Teilungsrings abseits der geometrischen Mitte und zu der Ausbildung sogenannter (nicht überlebensfähiger) „Minizellen“ führt. Aus diesem Grund werden die für die korrekte Positionierung zuständigen Proteine „Min-Proteine“ genannt. Sie sorgen dafür, dass die Mitte für die Zellteilung mit einer Präzision von 95 Prozent gefunden wird. Fehlen sie, so teilt sich die Zelle an beliebiger Stelle.

Interessant wird die Sache, wenn wir uns nun anschauen, was die Proteine, die diesen Ring positionieren, eigentlich tun. Dies ist seit der Entwicklung des genetischen Farbstoffs GFP, eines grün fluoreszierenden Proteins, das sich an fast jedes zelluläre Protein anheften und dies dadurch in der Zelle sichtbar machen lässt, recht einfach möglich. Allerdings findet man nur selten ein ähnlich interessantes Verhalten wie bei diesen Min-Proteinen. Sie tun etwas, was zumindest wir Physiker sehr schön finden: Sie oszillieren (unter ATP-, also Energieverbrauch) hin und her, von

einem Pol zum anderen und zurück, im Minutentakt. Ein sich selbst organisierendes, dynamisches Musterbildungssystem in Reinkultur. Die Oszillation führt dazu, dass in der Mitte der Zelle immer nur wenige dieser Proteine sind. Das Faktum, dass die Proteine immer in einer Polkappe sind, sorgt dafür, dass in der Polkappe kein Ring geformt wird, sondern in der Mitte, wo sie fast nie sind.

Es gibt drei Sorten dieser Min-Proteine, MinD, MinE und MinC. Das MinD bindet ATP-abhängig an die innere Membran der Polkappen. MinE funktioniert wie ein kleiner Staubsauger: Es nimmt, durch Umsatz des ATP zu ADP, das MinD eins nach dem anderen wieder von den Polkappen ab. Diese abgelösten MinD-Moleküle diffundieren auf die andere Seite der Zelle und binden dort wieder an die Polkappe, bis sie erneut weggekratzt werden. Das klingt ziemlich sinnlos und vor allem verhältnismäßig aufwendig, aber so funktioniert offenbar die Positionierung des Teilungsrings in Bakterien. Der tatsächliche Inhibitor – also das, was diesen Ring an allen anderen Stellen als an der Mitte verhindert – ist das dritte Protein, das für die Oszillation gar nicht notwendig ist: das MinC, das sich im Grunde immer an MinD hält und ihm folgt.

Es wirkt mit Blick auf die oft propagierte Effizienzoptimierung lebender Systeme recht verblüffend, wie eine relativ einfache Funktion in der Zelle, nämlich die Mitte zu finden, mit viel Energie erkaufte wird. Die Oszillationen benötigen nämlich, wie oben schon angedeutet, viel ATP, die Energiewährung der Zelle. Vom Standpunkt eines Ingenieurs aus, den die Synthetische Biologie ja einnehmen möchte, ist es übrigens verlockend, darüber nachzudenken, dass es eine biologisch sehr viel einfachere Möglichkeit geben müsste, die Mitte einer Zelle zu definieren beziehungsweise den Teilungsring dort zu positionieren. Doch darauf möchte ich hier nicht weiter eingehen, denn wir wollten zunächst die überaus interessante Musterbildung der Oszillationen verstehen, also die Ausbildung von spontaner Inhomogenität und dynamischer räumlicher Aufkonzentration aus einem homogenen System von gelösten Proteinen. Wie funktioniert das genau? Geht das tatsächlich auf molekularer Ebene mit ganz wenigen Ingredienzen und deren Diffusion und Reaktion, so wie Turing es damals formuliert hat?

Praktischerweise sind bakterielle Proteinsysteme nun relativ einfach aufzureinigen, um sie in kontrollierter Umgebung quantitativ zu studieren. *E. coli* ist eine Produktionsmaschinerie für Moleküle; das heißt, wir haben sie aus dem Organismus in großer Zahl isoliert, haben sie fluoreszenzmarkiert und mit einem speziellen Fluoreszenzmikroskop beobachtet. Dabei haben wir die Zelle allerdings nicht als Kompartiment simuliert, sondern die Membran, die für die Selbstorganisation der Min-Proteine essenziell ist, offen auf ein Deckglas gelegt – unten auf dem Deckglas also die aus bakteriellen Lipiden hergestellte Membran, ohne jegliche weitere Strukturierung oder weitere bakterielle Proteine, darüber, in wässriger Lösung, die aufgereinigten und fluoreszenzmarkierten Proteine MinD (mit grünem Farbstoff) und MinE (mit rotem Farbstoff).

Was passiert? Wenn wir keine Energie dazugeben: gar nichts. Dieser Prozess der dynamischen Musterbildung ist, wie erwähnt, energieabhängig und braucht chemische Energie in Form von ATP. Wenn ein „falsches ATP“ hinzugegeben wird, das MinD Proteine zwar bindet und diese in eine membranbindende Form überführt, sich aber dann nicht hydrolysieren lässt, dann bindet MinD, das in der ersten Stufe der Oszillation an die Polkappen binden soll, tatsächlich auch an die Membran. Aber es entsteht bei Zugabe von MinE trotzdem keine dynamische Struktur. Erst wenn wir das ATP wirklich hydrolysierbar machen, das MinE also MinD unter ATP-Verbrauch von der Membran wieder abzulösen vermag, entstehen atemberaubende dynamische Muster auf unserer Glasmembranoberfläche – keine Oszillationen wie in der Zelle, denn dafür muss ein System in sich geschlossen sein, sondern fortschreitende Wellen mit beinahe mit dem Lineal gezogenen Wellenfronten.<sup>6</sup> Unter bestimmten Anfangsbedingungen können wir auch Spiralen beobachten, untrügliche Kennzeichen sich selbstorganisierender Systeme. Und dabei sind es lediglich zwei Proteinspezies, die miteinander wechselwirken, eine Membran als Substrat und ATP als Energie, die zugeführt wird.

Hier sehen wir also tatsächlich in Reinform, wie sich in minimalen biologischen Systemen Strukturen und Muster ausbilden, genau so, wie Turing es vor über 60 Jahren beschrieben hat, ohne diese Proteine auch nur annähernd zu kennen. Damit kann auch reduktionismusskeptischen Biowissenschaftlern vermittelt werden, dass ein solcher minimalistisch-synthetischer Ansatz das Verständnis lebender Systeme erweitern kann, wenn er auch sicherlich nie alle Details komplexer biologischer Phänomene zu erfassen vermag. Aber wir können tatsächlich zu den Ursprüngen zurückkehren und beobachten, wie Selbstorganisation durch Interaktion, Diffusion und Zufuhr chemischer Energie auf molekularer Ebene beginnen kann.

Dies ist freilich noch ganz weit entfernt von allem, was für den Kontext einer minimalen künstlichen Zelle erforderlich wäre. Der nächste essenzielle Schritt ist nun, dieses System nicht auf offenen planaren Membranen zu betrachten, sondern das Min-System zusammen mit den ringbildenden Proteinen tatsächlich in Vesikel einzuschleusen und zu rekonstituieren, wie sich in der Mitte eines solchen Kompartiments dieser Ring bildet, der dieses Kompartiment dann zu teilen vermag. Das wäre der erste Schritt hin zu einem minimalen, sich selbstorganisiert und kontrolliert teilenden System. An diesem Punkt sind wir noch lange nicht angekommen und es werden mit Sicherheit noch viele Überraschungen und Komplikationen dieses simpel scheinenden Systems zu bewältigen sein. Dennoch besteht Grund zur Hoffnung, dass eine minimale Zellteilungsmaschinerie in den nächsten Jahren definiert und unter kontrollierten biophysikalischen Bedingungen quantitativ studiert werden kann. Doch auch wenn dieses spezielle Ziel sich als Utopie erweisen sollte, bin ich

---

6 Vgl. Loose et al. 2008.

von der Sinnhaftigkeit und Nützlichkeit des Ansatzes einer synthetischen Biologie minimaler Systeme für das bessere Verständnis tatsächlicher und möglicher biologischer Phänomene überzeugt und erwarte für diese Teildisziplin der Lebenswissenschaften eine aufregende Zukunft.<sup>7</sup>

## Literatur

Gibson, D. G. et al. (2010): Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. In: *Science*, 329 (5987), 52–56.

Schrödinger, E. (1951): *Was ist Leben? Die lebende Zelle mit den Augen des Physikers betrachtet*. 2. Aufl. München.

Gierer, A.; Meinhardt, H. (1972): A theory of biological pattern formation. In: *Kybernetik*, 12 (1), 30–39.

Loose, M. et al. (2008): Spatial regulators for bacterial cell division self-organize into surface waves in vitro. In: *Science*, 320 (5877), 789–792.

Schwille, P. (2011): Bottom-up synthetic biology: engineering in a tinkerer's world. In: *Science*, 333 (6047), 1252–1254.

Turing, A. M. (1952): The chemical basis of morphogenesis. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 237 (641), 37–72.

---

<sup>7</sup> Vgl. Schwille 2011.



# Bedeutung der Synthetischen Biologie für Wissenschaft und Gesellschaft

Vielen Dank an die Organisatoren, den Deutschen Ethikrat, schon in dieser Phase der Diskussionen die Zivilgesellschaft einzubeziehen. Wir vom Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland (BUND) sprechen natürlich nicht für die gesamte Zivilgesellschaft. Es ist wichtig, dass wir uns frühzeitig einbringen können und dies auch tun.

Die Synthetische Biologie ist eine neue Technologie, die neue Fragestellungen aufwirft. Der BUND hat sich dazu bislang noch nicht detailliert geäußert. Aus unseren Erfahrungen mit anderen Risikotechnologien lassen sich jedoch bereits jetzt einige Aussagen zur Synthetischen Biologie ableiten.

Der BUND ist Teil des weltweiten Verbandes *Friends of the Earth*, dem auch zahlreiche Organisationen des globalen Südens angehören. Wegen der Globalität der neuen Technologie sei schon an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sie auch Auswirkungen auf den globalen Süden hat. Daher arbeiten wir auch mit vielen weiteren zivilgesellschaftlichen Organisationen im In- und Ausland zusammen.

Ein kurzer Rückblick: Bislang waren die Erfahrungen mit neu aufgebrachten Technologien so, dass Fakten durch Anwendung geschaffen worden waren, bevor die gesellschaftliche Diskussion begann.

Ist dies bei der Synthetischer Biologie anders? Die Zivilgesellschaft hat sich bisher eher am Rande mit diesem Thema befasst. Deshalb möchte ich die Fragen noch offenlassen, ob die erforderliche gesellschaftliche Begleitung diesmal rechtzeitig stattfindet oder ob sie anders sein muss als bei anderen Risikotechnologien.

Als BUND kümmern wir uns nicht nur um den Natur- und Umweltschutz im engeren Sinne. Unsere Kernfrage zielt auf die gesellschaftliche Verantwortbarkeit: Wie

ist diese zu beurteilen? Konkreter: Wie kann eine demokratische Willensbildung über solche technologischen Entwicklungen organisiert werden, die die Gesamtgesellschaft, die Umwelt und die Natur beeinflussen?

Dazu gehört auch die Frage: Wer entscheidet über die Erforschung, Entwicklung und Anwendung neuer Lebensformen? Ich benutze hier die Chiffre „neue Lebensformen“, ohne in den Disput über ihre Künstlichkeit einzusteigen.

Oft wird ein Abwägen von Chancen und Risiken gefordert. Lassen Sie uns genauer hinsehen:

- » Werden erwartete Chancen realistisch eingeschätzt?
- » Werden absehbare und plausible Risiken, also nicht nur bereits beobachtete oder entstandene Risiken, analysiert und ernst genommen?
- » Wem kommen die Chancen zugute und wer trägt die Risiken?
- » Wie werden angemessene Methoden der Technikfolgenabschätzung neu- oder weiterentwickelt?
- » Was ist ethisch verantwortbar? Sind ethische Fragen pflichtschuldige Anhängsel oder ein essenzieller Bestandteil der Abwägungen? Woran ist die ethische Prüfung orientiert? Beruht sie auf den Werten Gerechtigkeit, Frieden und Bewahrung der Vielfalt (insbesondere der biologischen Vielfalt, aber nicht nur dieser)? Wie steht es mit dem Umgang mit „Leben“? Letzteres frage ich vor allem vor dem Hintergrund, dass auch in diesem Kontext bereits von *human enhancement* gesprochen wird.

Bei derartig neuen Technologien ist vieles zu berücksichtigen. Dazu gehören die Auswirkungen auf:

- » Umwelt, Landnutzung, Biodiversität, Gesundheit, Arbeitswelt, Agrar-, Wirtschafts- und Gesellschaftsstrukturen;
- » traditionelles Wissen und herkömmliche Praktiken, Innovationen, Gewohnheitsrechte, nicht zuletzt auf die Menschenrechte überhaupt;
- » indigene Völker und örtliche Gemeinschaften, Bäuerinnen und Bauern, Pastoralisten, Fischer.

Nun einige Gedanken zur politisch-rechtlichen Dimension: Reichen Selbstregulierung oder freiwillige Verhaltenskodizes zur Regulierung aus? Erfahrungen aus vielen Bereichen zeigen, dass verbindliche gesetzliche Regelungen erforderlich sind – national, EU-weit und international. Diese müssen dem Vorsorgeprinzip verpflichtet sein.

Um den Blick noch einmal international und global zu weiten: Nicht wenige internationale und völkerrechtlich relevante Verträge sind tangiert. Sie müssen

abgeklöpft werden, ob sie die Synthetische Biologie adäquat berücksichtigen können oder, wo nötig, angepasst werden müssen. Gegebenenfalls müssen neue Instrumente geschaffen werden. Zu nennen sind unter anderem:

- » die Biodiversitätskonvention,
- » das Cartagena-Protokoll,
- » das Nagoya/Kuala Lumpur-Zusatzprotokoll,
- » das Nagoya-Protokoll und
- » das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen.

Unser Thema ist die Synthetische Biologie, aber ich lenke jetzt noch einmal die Aufmerksamkeit auf den Gesamtkomplex der Risikotechnologien (zum Beispiel Atomtechnologie, Informationstechnologie, Gentechnik, Geo-Engineering, Nanotechnologie, Synthetische Biologie, Neurowissenschaften). Ihnen sind einige definitorische Komponenten gemeinsam:

- » sie sind *converging*: komplex und miteinander stark verzahnt;
- » sie sind *emerging*: Nehmen wir die englische Grammatik einmal weniger wörtlich! Sind sie wirklich aufkommend oder werden sie nicht vielmehr offensiv aufgebracht?
- » sie sind *corporate driven*: Die Wirtschaft, zumeist große Konzerne, und ihre speziellen Interessen sind die treibenden Kräfte;
- » sie sind *technology driven*: Eine Technik sucht ihre Anwendung, auch wenn reale gesellschaftliche Herausforderungen nach anderen Antworten verlangen.

Im Blick auf diesen Gesamtkomplex – aber auch auf die einzelne Technologie wie die Synthetische Biologie – stellen sich Querschnittsfragen und parallele Grundfragen:

- » nach den gesetzten Zielen sowie den Kriterien der Entscheidungsfindung über „technischen Fortschritt“;
- » nach zu lösenden Problemen und Vorgehensweisen;
- » nach Frühwarnsystemen, in denen sowohl das *early warning* wie auch das *early listening* vorgesehen sind. In der Vergangenheit wurden diese oft ganz vernachlässigt oder dem *warning* folgte – wenn überhaupt – das *listening* erst mit großer Verzögerung.

Eine weitere ungelöste Frage ist: Wie kann man die erforderlichen partizipatorischen Prozesse transparent organisieren, die von den Akteuren ausgehen und von den verschiedenen Betroffenen, der Politik und der Zivilgesellschaft gestaltet werden?

Es gibt viele, sehr viele offene Fragen. „Business as usual is not an option“ – ein Weiter-so ist nicht zu verantworten.

- » Nötig ist ein Moratorium für die öffentliche Förderung und Implementierung der Synthetischen Biologie.
- » Nötig sind demokratische Zulassungsprozesse und Transparenz im Umgang mit Forschungsergebnissen.
- » Nötig ist die Diskussion und Anerkennung des sogenannten Restrisikos sowie ein verantwortlicher und vorsorgender Umgang damit.
- » Nötig ist eine gleichberechtigte Förderung alternativer Lösungs- und Technologieansätze.

Der BUND ist grundsätzlich bereit zur Teilnahme an den erforderlichen Diskussionen und dem erforderlichen gesellschaftlichen Klärungsprozess.

# Synthetische Biologie – ein Innovationsmotor für die industrielle Biotechnologie?

Unter weisser beziehungsweise industrieller Biotechnologie versteht man die Nutzung von Mikroorganismen zur Herstellung von Chemieprodukten, wie Antibiotika, Vitaminen, Aminosäuren und Enzymen aus nachwachsenden Rohstoffen.

Für ein wirtschaftliches Herstellverfahren müssen die natürlich vorkommenden Bakterien oder Pilze zu hocheffizienten Produktionsorganismen weiterentwickelt werden. Dabei kommen seit Jahrzehnten neben klassischen Verfahren, die der konventionellen Pflanzenzüchtung ähneln, auch gentechnische Methoden zum Einsatz. Hierbei wird das ganze Methodenarsenal moderner Biochemie, Bioanalytik und Bioinformatik bis hin zur Genomforschung angewendet, um Engpässe im Stoffwechsel zu identifizieren und daraus rational Ansatzpunkte für die weitere gentechnische Verbesserung der Produktionsorganismen abzuleiten. Mittlerweile wird immer öfter auch auf synthetische DNA zurückgegriffen, nicht nur weil sie sich sehr gut an den Produktionsorganismus anpassen lässt, sondern auch, weil Zeitersparnis in der Forschung und stetig sinkende Preise ihren Einsatz immer attraktiver machen. Die Nutzung synthetischer DNA ist ein wichtiger Fortschritt in der modernen Biotechnologie und wird sicherlich zur Entwicklung neuer Produkte, zum Beispiel neuer Wirkstoffe beitragen. Man sollte aber zur Kenntnis nehmen, dass synthetische DNA nur eine von vielen Innovationen ist, die die Biotechnologie vorantreiben. Daher muss die Frage erlaubt sein, ob die Einführung des Begriffes „Synthetische Biologie“ gerechtfertigt ist. Unter den Anhängern der Synthetischen Biologie glauben die einen sicherlich fest an die Geburt einer neuen Wissenschaftsdisziplin. Anderen mag es eher darum gehen, einen Trend zur Mobilisierung neuer Fördergelder

loszutreten. Momentan ist noch nicht klar, ob sich die neue Bezeichnung wirklich breit und nachhaltig durchsetzt oder ob sie wieder zugunsten eines anderen Begriffes in den Hintergrund tritt.

# Synthetische Biologie aus studentischer Sicht

Die Synthetische Biologie ist das neueste Forschungsfeld der Lebenswissenschaften. Sie vereint chemische, physikalische, informatische und molekularbiologische Methoden. Das Forschungsfeld basiert auf den „omics“-Technologien (*genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics*) zur Beschreibung der Gesamtheit eines Systems, einer Zelle oder eines Organismus. In der Synthetischen Biologie kommt die ingenieurwissenschaftliche Herangehensweise an komplexe biologische Problemstellungen hinzu, wodurch dieses Forschungsfeld an der Schwelle zur Technikwissenschaft steht.<sup>1</sup> Die Synthetische Biologie birgt das Potenzial, diverse Fragestellungen in der weißen, roten und grünen Biotechnologie beantworten zu können. Als Beispiele können hier der Wechsel auf erneuerbare Rohstoffe, verbesserte Produktausbeuten in industriellen Prozessen oder neue Wege in der Biomedizintechnik stehen.<sup>2</sup>

Die zentrale Frage in der Synthetischen Biologie ist, ob der Wissenschaftler über Modularisierung eine Vereinfachung der komplexen Biologie erreichen kann. Hier ist ein Vergleich mit den Ingenieuren aus den Technikwissenschaften denkbar. Diese erstellen vor dem Bau eines Flugzeugs oder Autos eine Blaupause beziehungsweise technische Zeichnung. In der werden die verwendeten Werkzeuge und Materialien aufgelistet und in einen sinnvollen Zusammenhang gesetzt. Der Biologe ist nun mithilfe der Synthetischen Biologie in der Lage, komplexe Probleme auf eine analoge Weise zu bearbeiten.

---

1 Vgl. Pühler/Müller-Röber/Weitze 2011.

2 Vgl. Deutsche Forschungsgemeinschaft/Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 2009.

Aus studentischer Sicht bietet der iGEM-Wettbewerb (*international Genetically Engineered Machine competition*) einen guten Einstieg in das Themenfeld der Synthetischen Biologie. Der Wettbewerb wird jährlich am renommierten *Massachusetts Institute of Technology* in Cambridge, USA, ausgetragen und richtet sich an noch nicht graduierte Studenten. Diese finden sich in Teams zusammen und erarbeiten selbstständig innerhalb von sechs Monaten ein vollständiges biologisches Projekt. Aktuelle Wettbewerbsprojekte reichen von biologischen Schaltkreisen über leuchtende Bakterien als Biosensoren für Schadstoffe oder Umweltgifte aller Art bis hin zur Produktion auf molekularen Fließbändern. Ein internationales Expertenkomitee beurteilt die geleistete Arbeit. Dabei sind die Idee und ihre Umsetzung wichtiger als ein bis zur Marktreife gebrachtes Produkt oder Verfahren. Die Nachwuchsforscher stehen vor der Herausforderung, nicht nur ihre Projektidee in die Tat umzusetzen, sondern sich auch eher fachfremden Themen wie der Akquise der notwendigen finanziellen Mittel und der Öffentlichkeitsarbeit zu stellen. Nach anfänglich fünf Teams im Jahr 2004 nahmen im Jahr 2011 bereits 160 Teams aus aller Welt an dem Wettbewerb teil. Diese Entwicklung verdeutlicht, dass in der akademischen Welt ein starkes Interesse an der Synthetischen Biologie besteht, und unterstreicht die großen Potenziale des Forschungsfeldes.

Im Wettbewerb wird die Idee der standardisierten DNA-Bausteine (BioBricks) genutzt, um ein biologisches Projekt zu realisieren. Hierbei werden die BioBricks miteinander zur Erstellung von Systemen mit neuartigen Eigenschaften kombiniert. Die so erstellten Systeme sowie die neu erzeugten BioBricks werden in eine öffentlich einsehbare Datenbank (*Registry of Standard Biological Parts*)<sup>3</sup> eingepflegt. Die Datenbankeinträge umfassen die technischen Daten der BioBricks, wie zum Beispiel die Nukleinsäuresequenz, sowie eine umfassende Charakterisierung dieser BioBricks. Zusammen mit der zu erstellenden und im Internet öffentlich abrufbaren Projektdokumentation erleichtert dieses Vorgehen nicht nur dem interessierten Anwender die Nutzung der von anderen erstellten DNA-Bausteine für sein Projekt, sondern unterstreicht zugleich die Transparenz der in den Laboratorien ausgeführten Arbeiten.

Hier kann die Verbindung zu den Technikwissenschaften hergestellt werden: BioBricks können als Werkteile oder biologische Module bezeichnet werden. Der Ingenieur kann das von ihm benötigte Werkstück in der Datenbank suchen. Er findet dort die entsprechenden technischen Daten, gekoppelt mit praktischen Erfahrungswerten. Als technisches Beispiel kann die Fertigung eines Autos stehen. Sucht der Ingenieur die passenden Reifen für sein Auto, findet er nicht nur Daten zur Gummimischung und Rillentiefe, sondern auch das Verhalten des Reifens an unterschiedlichen Automobilen und bei unterschiedlichen Straßenverhältnissen. Analog sind die Wissenschaftler in der Lage, sich in der Datenbank die benötigten biologischen

---

3 Siehe online im Internet: <http://partsregistry.org> [2.5.2012].

Module zu suchen, sie neu oder mit neuen BioBricks zu kombinieren, um neuartige biologische Systeme zu erstellen.

Die im Wettbewerb verwendeten molekularbiologischen Methoden der Synthetischen Biologie zur Herstellung der biologischen Systeme basieren auf den Methoden der Genetik. Diese sind bereits intensiv evaluiert und seit Jahren durch die Gentechnik-Sicherheitsverordnung reglementiert.<sup>4</sup> Auch die Modularisierung in der Synthetischen Biologie und einige ihrer Forschungsschwerpunkte, wie zum Beispiel die Erstellung von Minimalgenomen, tragen zur Sicherheit dieses Forschungsfeldes bei. So kann das Verhalten der erzeugten Organismen unter Verwendung von gut charakterisierten BioBricks besser simuliert und genauer abgeschätzt werden. Die genetisch veränderten Organismen sind zudem für die Kultivierung im Labor spezialisiert und bei (un)absichtlicher Freisetzung aufgrund von absichtlich eingeführten genetischen Beeinträchtigungen (Sicherheitsstämme) und der zusätzlichen „Genlast“ stark benachteiligt. Eine Ausbreitung dieser Organismen in einer ihnen lebensfeindlichen Umwelt außerhalb des Labors ist daher ausgesprochen unwahrscheinlich.

Die komplette BioBricks-Datenbank unterliegt ferner dem aus der Informatik bekannten und angewandten Open-Source-Gedanken. Alle Daten sind für die gesamte iGEM-Gemeinschaft und für registrierte Laboratorien frei zugänglich und können für wissenschaftliche Projekte genutzt werden. Ein Missbrauch beziehungsweise Problemstellungen durch Patentrechte, die vielfach mit Synthetischer Biologie in Verbindung gebracht werden, sind in diesem Zusammenhang ebenfalls minimiert.

Ein wichtiger Bestandteil des iGEM-Wettbewerbs ist die Kommunikation des wissenschaftlichen Projekts. Die Teams sollen der Öffentlichkeit ihr Wettbewerbsprojekt und die Synthetische Biologie im Allgemeinen vorstellen und darüber diskutieren. Diesem Aspekt kommt bei der Bewertung aller Teams große Bedeutung zu. Die Vielzahl der eingereichten iGEM-Projekte unterstreicht das große Potenzial der Synthetischen Biologie aus der Sicht des wissenschaftlichen Nachwuchses und die Zuversicht, auf diese Weise in der weißen, grünen oder roten Biotechnologie zu wichtigen Fortschritten beitragen zu können.

Trotz dieses Potenzials bleibt die öffentliche Wahrnehmung aber skeptisch. Aus den Erfahrungen mit der Öffentlichkeitsarbeit im Rahmen des iGEM-Wettbewerbs kann geschlossen werden, dass neben Sicherheitsvorbehalten vor allem der Begriff „künstliches Leben“ mit falschen und irreführenden Interpretationen belegt ist. In der Synthetischen Biologie wird kein künstliches Leben erschaffen, sondern es werden standardisierte Grundelemente mit biologischen Funktionen genutzt, um diese durch Neukombination zu verbinden und damit biologischen Systemen neuartige Eigenschaften zu verleihen. Aufgrund der Einfachheit dieser standardisierten Grundelemente, die oft chemisch synthetisiert werden und auf natürlichen

---

4 Vgl. Deutscher Bundestag 2011.

Komponenten basieren, kann in diesem Fall nicht der Terminus „künstliches Leben“ angewandt werden. Craig Venter, der Auslöser der medialen Betrachtung der Synthetischen Biologie, nutzte für sein synthetisches Genom ein natürliches als Grundlage, um anschließend das erzeugte Genom in eine ebenfalls natürliche Bakterienzelle zu transferieren.<sup>5</sup> Die Wissenschaft ist demnach von der Erschaffung komplett von der Natur entkoppelter und somit „künstlicher“ Lebewesen noch sehr weit entfernt. Ein Verzicht auf den Begriff „künstliches Leben“ im Zusammenhang mit der Synthetischen Biologie würde den Weg für eine größere Akzeptanz des Forschungsfeldes in der Öffentlichkeit bereiten, ohne falsche Fakten zu vermitteln.

In diesem Zusammenhang soll auch auf die ungünstige Position des Wissenschaftlers in der öffentlichen Wahrnehmung hingewiesen werden. Der molekularbiologischen Wissenschaft im Allgemeinen und der Synthetischen Biologie im Speziellen wird oft eine negative Einstellung zu beziehungsweise ein zu respektloser Umgang mit dem Leben unterstellt. Die Wissenschaftler werden als Handlanger industrieller Interessen hingestellt und ihren Bestrebungen eine unzureichende Wahrnehmung von Risiken für Mensch und Umwelt unterstellt.

Ich möchte hier gerade mit dem Beispiel des iGEM-Wettbewerbs belegen, dass Wissenschaftler nicht außerhalb der Gesellschaft stehen und sich ihrer Verantwortung durchaus bewusst sind. Entscheidend für eine gute Bewertung im Wettbewerb ist nicht nur die biotechnologische Arbeit im Labor, sondern auch die Reflexion sicherheitstechnischer und ethischer Aspekte, die mit dem bearbeiteten Thema verbunden sind sowie ihre Reflexion im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit. Dies geht so weit, dass nur Teams, die überzeugende Sicherheitskonzepte in Bezug auf die Arbeit im Labor sowie die verwendeten Organismen und Methoden entwickeln, am Wettbewerb teilnehmen dürfen. Hinzu kommt ein großes Maß an kreativer Eigeninitiative der Teams, wie sich an Beispielen wie dem des molekularen Wasserzeichens der Universität Odense 2010 zur Kenntlichmachung, dem „Eid der Synthetischen Biologie“ des Freiburger Teams 2011 oder der freiwilligen Kontrolle durch unabhängige Organisationen (das Team Bielefeld kooperierte im Wettbewerb 2011 mit dem Büro für Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages) zeigen lässt.<sup>6</sup> Daneben wird mit Nachdruck versucht, die Öffentlichkeit für das komplexe Thema Synthetische Biologie zu interessieren und zu informieren. Die im Rahmen dieser Anstrengungen gemachten Erfahrungen zeigen, dass viele fachfremde Personen nach einem direkten Kontakt in Form von Laborbesichtigungen, öffentlichen Diskussionen oder Informationsveranstaltungen dem Themengebiet positiver gegenüberstehen und so Vorbehalte abgebaut haben. Der Eindruck der öffentlichen Wahrnehmung zum Themenkomplex Synthetische Biologie nach Informationsveranstaltungen kann

<sup>5</sup> Vgl. Gibson et al. 2009.

<sup>6</sup> Ergebnisse und Dokumentation der iGEM-Wettbewerbe 2008 bis 2011 siehe online im Internet: <http://igem.org/Results> [2.5.2012].

als vorsichtig, aber weitgehend positiv eingeordnet werden. Aus Sicht eines iGEM-Wettbewerbsteilnehmers gilt es, den Dialog zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit weiter zu fördern, denn es bleibt festzuhalten, dass ein weitgehender Konsens über die Synthetische Biologie nur dann erzielt werden kann, wenn alle Akteure – Natur- und Geisteswissenschaftler, Politiker und die Öffentlichkeit – konstruktiv miteinander diskutieren.

## Literatur

Deutsche Forschungsgemeinschaft; Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (Hg.) (2009): Synthetische Biologie. Stellungnahme. Weinheim.

Deutscher Bundestag (Hg.) (2011): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten René Röspel, Dr. Ernst Dieter Rossmann, Dr. Hans-Peter Bartels, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der SPD. Stand und Perspektiven der Synthetischen Biologie. BT-Drs. 17/5165.

Gibson, D. G. et al. (2010): Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. In: *Science*, 329 (5987), 52–56.

Pühler, A.; Müller-Röber, B.; Weitze, M.-D. (Hg.) (2011): Synthetische Biologie. Die Geburt einer neuen Technikwissenschaft. Berlin; Heidelberg.



MARKUS SCHMIDT

# Inszenierung der Synthetischen Biologie in Wissenschaft, Medien, Film und Kunst

Eine Inszenierung ist die öffentliche Präsentation einer Sache oder eines Werks. Obwohl der Begriff in erster Linie der darstellenden Kunst, etwa dem Theater, zuzurechnen ist, kann man im weiteren Sinne auch jede andere Form der bewusst präsentierten Darstellung als Inszenierung bezeichnen, die über die einfache Darstellung des Werks oder der Sache hinausgeht.

In diesem Beitrag wird der Versuch unternommen, Inszenierungen, die den Bereich der Synthetischen Biologie betreffen, zu identifizieren. Vorgestellt und diskutiert werden Beispiele aus Kunst, Film, Medien und Wissenschaft.

## Bio-Kunst

Nachdem die Synthese immer schon eine Sache der Kunst gewesen ist, wundert es kaum, dass verschiedene darstellende Künstler im Bereich der Bio-Kunst beginnen, sich mit der Synthetischen Biologie zu beschäftigen. Die Bio-Kunst, also Kunst mit biologischen Medien, ist seit einiger Zeit als wachsendes Feld innerhalb der Kunstszene zu beobachten.<sup>1</sup> Mehrere Ausstellungen wie beispielsweise *L'Art Biotech* (Nantes, 2003), *Still, Living* (Perth, 2007), *sk-interfaces* (Liverpool, 2008; Luxemburg, 2009), *Article Biennale* (Stavanger, 2008), *Transbiotics* (Riga, 2010), *Visceral* (Dublin, 2011), *Fingerprints...* (Berlin, 2011; München, 2012) and *synth-ethic* (Wien, 2011)

---

<sup>1</sup> Vgl. Gessert 2012; Hauser 2008; Kac 2007; Mitchell 2010; Reichle 2009; van Mensvoort/Grievink 2011.

zeigten Kunstwerke, die teilweise oder gänzlich mit Methoden der Biowissenschaften hergestellt wurden.<sup>2</sup>

Während zunächst der Technikscherpunkt recht breit im Bereich der Biowissenschaften angesiedelt war, wurde kürzlich auch erstmals konkret die Synthetischen Biologie von Kuratoren und Künstlern aufgegriffen.<sup>3</sup> In der Ausstellung *synth-ethic*<sup>4</sup> beispielsweise zeigten, von Mai bis Juni 2011 in Wien, insgesamt zehn Künstler ihre Werke, die sich kritisch, epistemologisch und ästhetisch mit der Synthetischen Biologie auseinandersetzen:

- » Rachel Armstrong – Living Chemistry & A “Natural History” of Protocells,
- » Art Orienté objet (Marion Laval-Jeantet und Benoît Mangin) – Que le cheval vive en moi,
- » Adam Brown und Robert Root-Bernstein – Origins of Life,
- » Stephanie Chanteau und James Tour – Nanoputians,
- » Joe Davis – Bacterial Radio,
- » Andy Gracie – Autoinducer,
- » Roman Kirschner – Roots,
- » Tissue Culture and Art Project (Oron Catts und Ionat Zurr) – Semi-Living Worry Dolls,
- » Tuur van Balen – Pigeon d’Or,
- » Paul Vanouse – Latent Figure Protocol.

Weit von einer reinen Wissenschaftskommunikation entfernt, demaskieren die Künstler einerseits bestehende Inszenierungen der Synthetischen Biologie und der Biotechnologie allgemein, setzen aber auch die Synthetischen Biologie gekonnt in alternative Sinnzusammenhänge, die signifikant über die bereits bekannten Narrative der wissenschaftlichen Erzählungen hinausreichen.

Eine detaillierte Auseinandersetzung mit allen *synth-ethic*-Kunstwerken würde den Rahmen dieses Beitrags sprengen, es soll jedoch exemplarisch einige Beispiele beschrieben werden.

Tuur van Balen thematisierte in *Pigeon d’Or* einerseits potenzielle Umweltauswirkungen der Synthetischen Biologie und trägt andererseits mit seinen Kunstwerken dazu bei, komplett neue Anwendungen anzudenken, die weit über die üblichen Paradebeispiele aus Medizin und Energieproduktion hinausgehen.

---

2 Im Projekt *Synthetic Aesthetics* wird sogar aktiv versucht Künstler mit Wissenschaftlern zusammenzubringen. Siehe online im Internet: <http://www.syntheticaesthetics.org> [5.12.2012].

3 Vgl. Reardon 2011.

4 Siehe online im Internet: <http://www.biofaction.com/synth-ethic> [5.12.2012].

„In *Pigeon d'Or* werden Tauben zum Schauplatz und Interface der Anwendung von Synthetischer Biologie im urbanen Raum. Tuur van Balen's Projekt will Tauben zum Defäkieren von Seife bringen! Dazu wird der Stoffwechsel von Darmbakterien, die natürlich im Verdauungstrakt der Tauben vorkommen, verändert. Mit synthetischer Biologie werden neue Funktionen zur städtischen Desinfektion entworfen und zwar gerade für jene Tiere, die für gewöhnlich abschätzig als „fliegende Ratten“ bezeichnet werden. In Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftler James Chappell hat der Künstler Darmbakterien genetisch verändert, sodass sie, wenn sie über die Nahrung ins Verdauungssystem der Tauben gelangen deren Kot in biologische Seife verwandeln. Die Bakterien wurden mithilfe sogenannter „Biobricks“, also genetischer Bauteile aus dem Katalog der standardisierten biologischen Komponenten des MIT, erzeugt. Eines dieser „Biobricks“ verringert den pH-Wert des *Bacillus subtilis*, ein weiteres lässt es das Fett abbauende Enzym Lipase herstellen.

Dieses Kunstprojekt beleuchtet sowohl auf der Mikro- als auch auf der Makroebene ethische, politische, Umwelt- und Sicherheits-Fragen der synthetischen Biologie. Werden wir uns plötzlich sogar um die Gesundheit der Saubermach-Tauben sorgen, obwohl wir sie eben noch als Schädlinge reuelos im Park vergiften wollten? Werden wir Tauben anders behandeln wenn sie als Nützlingle unsere Autos reinigen? Und wie gefährlich ist es Produkte der Synthetischen Biologie in die Umwelt freizusetzen?

Van Balen hat zwei funktionale Objekte entwickelt: Das eine ist eine architektonische Vorrichtung, durch welche die Tauben Teil des Museumsraums werden. Der am Fenster angebrachte Taubenschlag soll die Fütterung der Tauben ermöglichen und diese damit indirekt aufwerten, sodass sie zur Säuberung der Stadt Wien beitragen können. Das zweite Objekt ist eine Vorrichtung für parkende Autos, auf der Tauben landen können um ihre reinigende Notdurft über der Windschutzscheibe zu verrichten.“<sup>5</sup>

Rachel Armstrong setzt sich in ihrem Werk *Living Chemistry & A "Natural History" of Protocells* mit dem Potenzial von Protozellen auseinander, die einerseits auf die Bedeutung der Zelle im Syntheseprozess aufmerksam machen und damit überschwängliche Begeisterung für die Genomsynthese ins rechte Licht rücken, andererseits zeigt sie damit die seit über hundert Jahren bestehende Faszination des Übergangs vom Nichtlebendigen zum Lebendigen, der nicht zuletzt als Spiegel unseres kulturellen Verständnisses vorgehalten werden kann.

„Die Installation *Living Chemistry* zeigt die Entstehung von Vorläufern oder auch Modellen von lebenden biologischen Zellen, die durch das komplexe Zusammenspiel nicht lebendiger chemischer Substanzen durch die Interaktion zwischen Öl und Wasser geformt werden. Solche sogenannten Protozellen können sich aufgrund chemischer Interaktion

---

5 Hauser/Schmidt 2011, 25.

selbst bewegen, mit der Umwelt interagieren und komplexe Verhaltensweisen entwickeln, die für den Besucher sichtbar sind. [...]

Protozellen weisen einige physikalisch-chemische Eigenschaften lebender Organismen auf, sind allerdings „noch nicht lebendig“ und werden oft als das fehlende Glied zwischen der unbelebten frühen Erde und den ersten Lebewesen im Evolutionsprozess angesehen. Solche protoplasmatischen, aus leblosen chemischen Substanzen hergestellten Strukturen, wurden bereits im 19. Jahrhundert von Otto Bütschli in seinen *Untersuchungen über Strukturen* (1898) beobachtet. Im Kontext der synthetischen Biologie rücken Protozellen heute allerdings wieder aus anderen Gründen ins Zentrum des Interesses. Während es mittlerweile möglich ist, Zellen mit einem gänzlich synthetischen Genom funktionstüchtig zu machen, bleibt die große Herausforderung dennoch, eine ganze Zelle zu synthetisieren und damit die kleinste Einheit des Lebens künstlich herzustellen, welche dann auch genetischen Schaltungen als „Chassis“ dienen könnte.

Ein chemisches Protozellensystem wird auch im Kurzfilm *A "Natural History" of Proto-cells* von Rachel Armstrong und Michael Simon Toon ästhetisch inszeniert. [...] Diese hypothetischen emotionalen Geschichten spiegeln das menschliche Verlangen wider, selbst die kleinsten Einheiten des „Lebens“ durch eine anthropomorphe Brille zu sehen.“<sup>6</sup>

Marion Laval-Jeantet und Benoît Mangin von *Art Orienté objet* thematisieren in ihrem Werk *Que le cheval vive en moi*, in welcher Art und Weise uns die Synthetische Biologie selbst verändern könnte. In einem radikalen Selbstversuch, in dem der Körper der Künstlerin selbst zum künstlerischen Medium wird, spricht *Art Orienté objet* die Folgen der Entgrenzung beziehungsweise Grenzüberschreitung an, die durch die Rekombination einzelner Bestandteile unterschiedlicher Organismen eintritt. Dem uns innewohnenden Bedürfnis nach Sicherheit liegt nicht zuletzt der Wunsch zugrunde, Dinge und Lebewesen in bestimmte Kategorien einzuteilen und Abgrenzungen vorzunehmen. Das Verschwimmen dieser Grenzen hat verstörende Effekte zu Folge, mit denen die Künstler hinterfragen, wer wir sind und was wir sein können.

„Die Performance *Que le cheval vive en moi* (Auf dass das Pferd in mir lebe) ist ein extremes medizinisches Selbstexperiment einer Blutsbrüderschaft über die biologischen Artengrenzen hinweg, mit dem das französische Duo *Art Orienté objet* mehr ökologische Verantwortung des Menschen einfordert, der durch seine Technologien zunehmend andere Tiere und Pflanzen instrumentalisiert. Dazu hat sich die Künstlerin Marion Laval-Jeantet selbst zum klinischen „Versuchskaninchen“ gemacht und sich über viele Monate hinweg Pferde-Immunoglobuline (im Blutserum zirkulierende Eiweiße) injiziert und eine progressive Toleranz gegen diese tierischen Fremdkörper entwickelt. So konnte ihr dann im Februar 2011 Pferdeblutplasma mit dem gesamten Spektrum von

---

6 Ebd., 19.

Fremd-Immunglobulinen gespritzt werden ohne einen anaphylaktischen Schock zu provozieren. Dabei sollten die Pferde-Immunglobuline die Schutzmechanismen ihres eigenen menschlichen Immunsystems passieren, sich über den Blutkreislauf mit ihren körpereigenen Proteinen verbinden und in dieser Synthese auf alle wesentlichen Körperfunktionen einwirken. Die Immunglobuline steuern als biochemische Botensubstanzen zum Beispiel Drüsen und Organe im endokrinen System. Dieses ist aber auch eng an das Nervensystem gekoppelt, sodass die Künstlerin während und in den Wochen nach der Performance nicht nur einen veränderten physiologischen Rhythmus sondern auch einen veränderten Bewusstseinszustand von gesteigerter Sensibilität und Nervosität erlebte. Nach der Transfusion vollführte Marion Laval-Jeantet auf Stelz-Prothesen ein Kommunikations-Ritual mit dem Pferd, bevor ihr Hybridblut abgenommen und gefriergetrocknet wurde. Die riskante Aktion spielt auf die Möglichkeit an, über Fremdimmunglobuline als therapeutischen „Booster“ möglicherweise Autoimmunkrankheiten zu heilen, wobei, wie die Künstler sagen, „das Tier zur Zukunft des Menschen wird.“ Als radikales Experiment, dessen Langzeitwirkungen nicht absehbar sind, hinterfragt Art Orienté objet mit *Que le cheval vive en moi* die anthropozentrische Grundhaltung, die unserem Technikverständnis innewohnt. Statt nach „Homöostase“, dem physiologischen Gleichgewicht, zu streben, hat das Duo mit dieser Performance gewollt einen Prozess einer „synthetischen Transi-stase“ angestoßen, in dem einzig die Veränderung und die Anpassung konstant sind. Die Performance schreibt auch die Mythologie des Zentauren fort, jenes Mischwesens aus Mensch und Pferd, und das als „Tier im Menschen“ die Antithese des Reiters symbolisiert der als Mensch das Tier beherrscht.“<sup>7</sup>

Oron Catts und Ionat Zurr von *Tissue Culture and Art Project* begegnen den neuen Möglichkeiten der Biotechnologie und ihren Proponenten in einer kritisch-ironischen Art und Weise. In ihrem halb lebendigem Kunstwerk, den *Semi-Living Worry Dolls*, verarbeiten die Gewebekünstler Ängste der Öffentlichkeit in Form mehrerer Sorgenpüppchen aus Hautzellen.

„Bei den *Semi-Living Worry Dolls* handelt es sich um Skulpturen aus Gewebekulturen, die hier live unter Mikrogravitation in einer Art „künstlicher Gebärmutter“, einem Bioreaktor entstehen. Sie werden gezüchtet aus McCoy-Zellen. Diese werden auf ein handgefertigtes Gerüst aus abbaubaren Polymeren aufgebracht, die durch chirurgische Nähte zusammengehalten werden. In dem Maße wie das Gewebe wächst, werden die Polymere abgebaut und die *Worry Dolls* „halb lebendig“. Sie sind moderne Variationen der legendären Sorgenpüppchen aus Guatemala: Der Überlieferung zufolge sollen Kinder abends für jede Sorge ein Püppchen mit ins Bett nehmen um ihre Sorgen mit ihnen zu teilen – am nächsten Morgen haben die Püppchen sie von allen Sorgen befreit. Die *Semi-Living*

---

<sup>7</sup> Ebd., 22.

*Worry Dolls* mögen Ängste wie jene vor der industriellen Biotech-Lobby oder vor Eugenik ansprechen. Diese Arbeit lädt das Publikum ein, den heranwachsenden Puppen seinen Kummer zuzuflüstern – werden sie vielleicht auch Ihnen die Ängste abnehmen? Die geschlechtslosen Figuren repräsentieren einen aktuellen kulturellen Schwebezustand, der sich wie kindliche Unschuld durch eine Mischung aus Verwunderung und Angst vor Technologie auszeichnet. Aber im Licht heutiger Tendenzen wie der Synthetischen Biologie thematisieren sie auch die Faszination, die jene feine Grenze zwischen Nicht-Leben und Leben, sowie seine künstliche Synthese ausübt. Die Künstler hinterfragen unser Verhältnis zu den verschiedenen Lebensstufen durch die Konstruktion/Zucht einer neuen Klasse von Objekten/Wesen, die sie *halb-lebendig* nennen. Historisch betrachtet kann man sie aber auch als eine zeitgemäße Verkörperung des in der alchemistischen Tradition stehenden Homunculus sehen. Dem liegt der Gedanke zugrunde, dass Lebewesen aus organischem Rohmaterial geschaffen werden könnten und dass die mikroskopischen „Bausteine“ bereits die Strukturen des ausgewachsenen Wesens enthalten. Auch die Kulturgeschichte von Mythen und Erzählungen wie denen von Golem, Pygmalion, Faust oder Frankenstein, welche auch als Warnungen vor den vom Menschen an den Tag gelegten technischen Allmachtsfantasien zu verstehen sind, klingt in den *Semi-Living Worry Dolls* an.<sup>8</sup>

Wie an diesen Beispielen zu erkennen ist, setzen die erwähnten Künstler immer stärker Methoden und Konzepte der Synthetischen Biologie in ihrer Arbeit ein. Dies geschieht jedoch keinesfalls unkritisch, sondern geradezu mit dem Seziermesser des kulturellen und epistemologischen Bewusstseins der Kunst. Die Künstler projizieren kritische Positionen in subtile Artefakte und Biofakte (etwa die Sorge um Umweltauswirkungen bei *Pigeon d'Or* oder die Bedenken gegenüber einer sich ausbreitenden Technologisierung des Lebens bei den halb-lebendigen Sorgenpüppchen) und sie eröffnen neue Denkfiguren und Sichtweisen die bislang in den Narrativen der Wissenschaft nicht vorgekommen sind (der Zentaur des 21. Jahrhunderts, der zu Grenzüberschreitung einlädt, oder die Umprogrammierung von fliegenden Ratten zu Saubermachern).

## Film

Im Rahmen des österreichischen GEN-AU/ELSA-Projekts *CISYNBIO: Cinema and Synthetic Biology* wird derzeit die Darstellung der Synthetischen Biologie im Film untersucht.<sup>9</sup> Zu diesem Zweck werden einerseits Hollywood-Filme analysiert und andererseits Kurzfilme unabhängiger Filmemacher, welche im Rahmen des Filmfestivals *Bio:Fiction* in Wien gezeigt wurden.

---

8 Ebd., 37.

9 Siehe online im Internet: <http://www.cisynbio.com> [5.12.2012].

## Hollywood-Filme

Die Analyse des CISYNBIO-Teams<sup>10</sup> bezieht sich auf 48 Filme, die aufgrund ihrer inhaltlichen Ausrichtung (Biotechnologie, Gentechnik, Synthetische Biologie im weitesten Sinne), des Kassenerfolgs (und damit der Reichweite) und der kulturellen Relevanz ausgewählt wurden (siehe Tabelle 1). Eine endgültige Zusammenfassung der Ergebnisse liegt zurzeit noch nicht vor, da die Filmanalyse noch nicht komplett abgeschlossen ist. Erste Ergebnisse und Eindrücke lassen sich aber trotzdem schildern.

Filmtitel	Jahr	Filmtitel	Jahr
Alien: Resurrection	1997	Repo Men	2010
Avatar	2009	Resident Evil: Afterlife	2010
Babylon A.D.	2008	Resident Evil: Extinction	2007
Bicentennial Man	1999	Spider-Man	2002
Blade 2	2002	Spider-Man 2	2004
Blade Runner	1982	Spider-Man 3	2007
Code 46	2004	Splice	2010
Deep Blue Sea	1999	Star Trek III: Search for Spock	1984
Fantastic Four	2005	Surrogates	2009
Frankenstein	1994	The 5th Element	1997
Gattaca	1997	The Fly	1986
Godsend	2004	The Fly II	1989
Godzilla	1998	The Incredible Hulk	2008
Golem	1920	The Island	2005
Hollow Man	2000	The Island of Dr. Moreau	1977
Hulk	2003	The Island of Dr. Moreau	1996
I, Robot	2004	The Species	1995
I'm Legend	2007	The Species 2	1998
Judge Dredd	1995	The Stepford Wives	2004
Jurassic Park	1993	The X-Files: Fight the Future	1998
Jurassic Park II	1997	Twins	1988
Jurassic Park III	2001	X-Men	2000
Metropolis	1927	X-Men: The Last Stand	2006
Minority Report	2002	X-Men Origins: Wolverine	2009

**Tab. 1:** Übersicht über die in CISYNBIO ausgewählten Blockbuster-Filme

<sup>10</sup> Die Filmanalyse wurde von Amelie Cserer, Angela Meyer und Markus Schmidt durchgeführt.

Eine Frage, die sich in der Analyse aufdrängt, bezieht sich auf den Grad der Darstellung und Erklärung wissenschaftlicher Inhalte und Methoden in den Filmen. Hier zeigt sich, zusammengefasst, dass, je aktueller die biotechnologische Methode im Film, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie näher erklärt wird.

In dem Film *Godzilla* (1998) zum Beispiel, in dem durch Atombombenversuche eine Riesenechse erzeugt wurde, geht es um Strahlenmutation. Wir können nach gut einem halben Jahrhundert der Nutzung nuklearer Energie davon ausgehen, dass die schädliche Wirkung der Radioaktivität auf Organismen weitgehend bekannt sind. Der Film verweist damit auf diesen allgemeinen kulturellen Wissensschatz. Im Falle der Inszenierung aktueller Biotechnologien, wie etwa im Film *Splice* (2010), werden Herstellungsprozesse bestenfalls extrem vereinfacht dargestellt. Eine Auseinandersetzung mit den komplexeren Methoden der Synthetischen Biologie hingegen fehlt völlig, was der Geschichte im Übrigen überhaupt keinen Abbruch tut. Die Geschichten sind so konstruiert, dass jeder Zuschauer den Film verstehen kann, ohne dass wissenschaftliche Inhalte vorausgesetzt oder im Film vermittelt werden müssen.

Das Fehlen der Erläuterung von Herstellungsprozessen liegt einerseits an der Komplexität der Techniken, aber auch an der Sichtbarkeit der Prozesse. Während in *Frankenstein* (1994) das Zusammensetzen verschiedener Körperteile noch sehr plastisch und makroskopisch darstellbar ist, hat man es bei der Transformation der genetischen Information, um Körper zu verändern und zu verbessern, schon mit einem ungleich abstrakteren und weitgehend bilderlosen Prozess zu tun. Als Reaktion darauf verzichten die Filme entweder gänzlich auf eine erläuternde Bildsprache oder belassen es bei simplen DNA-Computeranimationen. Eine kritische Auseinandersetzung mit den verschiedenen Technologien ist von diesen Filmen daher nicht zu erwarten.

Neben den Herstellungsprozessen haben wir uns in CISOBIO auch damit auseinandergesetzt, in welchem Kontext die biotechnologischen Konstrukte in den Filmen hergestellt werden. An erster Stelle stehen interessanterweise die Labors von Privatfirmen und an zweiter Stelle das Militär. An dritter Stelle folgen Amateurbiologen aus privaten Haushalten (*do-it-yourself biology*) und erst an vierter Stelle folgen die Labors der Universitäten. Dass der Hort der Grundlagenforschung erst an vierter Stelle auftaucht, mag überraschen; wenn man sich allerdings ansieht, wohin die Investitionen in die Synthetische Biologie in der Realität fließen, sieht man, dass die größten Investitionen von großen Energiefirmen kommen (zum Beispiel Exxon, BP, Total). Das Militär hat auch in der Realität großes Interesse an diesem Thema; beispielsweise wurde die SB.5-Konferenz in erster Linie vom US-amerikanischen Verteidigungsministerium unterstützt. Des Weiteren gab es 2011 eine größere militärrelevante Ausschreibung in den USA und Großbritannien, die auf ein gesteigertes Interesse schließen lässt.<sup>11</sup> Dass die klassische Grundlagenforschung an

---

<sup>11</sup> Vgl. Hayden 2011.

Universitäten unterrepräsentiert ist, liegt möglicherweise auch daran, dass sich hier nur wenige emotionale Anhaltspunkte anknüpfen lassen.

Eine weitere Frage zielte auf die Produkte ab, die im Film hergestellt werden. Es zeigt sich, dass besonders Viren gerne als Produkte verwendet werden – allerdings nicht nur schädliche, sondern auch positive, heilende Viren. In dem Film *Code 46* (2004) gibt es beispielsweise ein Empathievirus, mit dem infizierte Personen in der Lage sind, sich in andere Menschen hineinzuzusetzen. Bakterien als Objekt der biotechnologischen Anwendung fehlen in den Filmen interessanterweise. Pflanzen und Tiere kommen ebenfalls relativ selten in Filmen vor. Sehr häufig sind hingegen menschliche Körperteile und alles, was menschenähnlich ist, zu sehen, bis hin zu hybriden Wesen. Wir sehen hier eine Dominanz menschenähnlicher Produkte, während die Dinge, die wirklich in der Wissenschaft und in der Industrie im Labor hergestellt werden, praktisch völlig ausgeklammert werden.

In den meisten Hollywood-Filmen gibt es, wenig überraschend, ein Happy End. Man darf nicht vergessen, dass diese Filme in erster Linie Produkte sind, die sich verkaufen müssen. Das ist mit einem Happy End offensichtlich einfacher zu erreichen als mit einem Schrecken ohne Ende.

## Bio:Fiction-Filmfestival

Um der Einschränkung zu entgehen, dass jede im Film erzählte Geschichte aus ökonomischen Gründen zu einem Happy End führen muss, haben wir als Gegenpol zu den Hollywood-Filmen im Mai 2011 in Wien ein Filmfestival mit dem Titel *Bio:Fiction* veranstaltet – das erste Filmfestival zu Synthetischer Biologie. Aus den insgesamt 130 Einsendungen wurden 52 Filme ausgewählt und im Rahmen des Festivals gezeigt.<sup>12</sup>

Ein achtköpfiges Jurorenteam hat anschließend fünf Siegerfilme prämiert. Besonders gut hat den Juroren der Film *E. Chromi* aus der Kategorie Dokumentarfilme gefallen, in dem ein iGEM-Projekt dokumentiert wurde. In dem Animationsfilm *Bruce* lädt ein Mann mit einem USB-Kabel aus dem Internet eine genetische Information auf einen programmierbaren Fleischklumpen herunter. Dieser verwandelt sich in einen kleinen Bruce Willis, der ferngesteuert werden kann. Nach einem kurzen, computerspielartigen Abenteuerlauf verstirbt dieser Bruce Willis und wird wie ein defekter *consumer electronics*-Gegenstand entsorgt. Der Film wirft Fragen auf zu den Themen Patentierung, Amateurbiologie und Zugang zur Technologie, aber auch ethische Fragen zum Umgang mit geschaffenen Leben. Der Film *Invisible* erzählt von einer zweiten biotechnischen Haut, die auf Umweltreize reagiert und den Träger mal wärmt, mal kühlt und als Schnittstelle nach außen fungiert.

<sup>12</sup> Siehe online im Internet: <http://bio-fiction.com> [5.12.2012].

Interessant sind auch die beiden Filme *Die Schneider Krankheit* und *Who Are the Engineers of the Future?*, die ebenfalls prämiert wurden. In beiden Fällen wird die Synthetische Biologie im Lichte der 1950er-Jahre porträtiert, beide Male ironisch. Das deutet darauf hin, dass es in der Wissenschaft eine gewisse Melancholie zu geben scheint in Bezug auf die 1950er-Jahre. Damals hatte die Wissenschaft wohl noch einen höheren gesellschaftlichen Stellenwert, der seither kontinuierlich erodiert ist. In beiden Filmen wird mit der Idee gespielt, der Wissenschaft wieder die Rolle zuzuschreiben, die sie in den 1950er-Jahren hatte, wo wissenschaftlicher Fortschritt kritiklos als toll und erfreulich betrachtet wurde, ohne lästige Kritik und Ablehnung aus der Bevölkerung.

Zusammenfassend lässt sich (noch vor dem Ende der Filmanalyse) sagen, dass – im Unterschied zu Hollywood-Filmen – in Kurzfilmen einerseits häufiger auf den Herstellungsprozess eingegangen wurde (bis hin zu dokumentarischen Werken oder fiktiven wissenschaftlichen Prozessen) und andererseits auch unangenehmere Themen angesprochen wurden, ohne die Problematik mit einem Happy End vom Tisch zu wischen. Die Kurzfilme sind in ihrer Gesamtheit viel kritischer als die Hollywood-Filme und beschreiben das Thema viel facettenreicher und subtiler, sowohl in wissenschaftlich-technischer Hinsicht als auch in Bezug auf die gesellschaftlichen Auswirkungen.

Überlegt man, den Einsatz von Filmen um die Synthetische Biologie etwa im Rahmen einer öffentlichen Veranstaltung zu thematisieren, so eignen sich Kurzfilme bestimmt viel besser als die Hollywood-Filme.

## Printmedien

Markus Lehmkuhl hat in Deutschland bis einschließlich August 2011 Presseartikel gesucht und deren Inhalte analysiert. Mehrere spannende Ergebnisse gehen daraus hervor, wovon hier nur ein paar Highlights gezeigt werden sollen. Dem Leser sei für eine ausführliche Auseinandersetzung die Lektüre der Lehmkuhl'schen Studie angeraten.<sup>13</sup>

Die Analyse zeigt, entgegen den Vorstellungen mancher Experten, dass das mediale Interesse an der Synthetischen Biologie in Deutschland noch vergleichsweise gering ist, obwohl man immer wieder von einem Hype spricht. Für die Zeitungen, die untersucht wurden, fanden sich im Schnitt ungefähr acht Artikel pro Zeitung – in den Regionalzeitungen weniger, in überregionalen mehr. Verglichen mit dem

---

13 Der Abschnitt zu den Printmedien beruht hauptsächlich auf der aktuellen Medienanalyse von Lehmkuhl (2011). Frühere Medienanalysen im deutschsprachigen Raum finden sich bei Cserer/Seiringer (2009) und Gschmeidler/Seiringer (2012). Eine Analyse der Themen, die es in die Presse schaffen und welche nicht, findet sich bei Kronberger et al. (2009).

Thema Stammzellen oder Nanotechnologie zeigt sich, dass diese zehn- bis 15-mal häufiger in der Presse thematisiert werden als die Synthetische Biologie. De facto ist die Berichterstattung noch so gering, dass man kaum von einer erwachenden öffentlichen Wahrnehmung sprechen kann.

Bei genauerer Analyse zeigt sich, dass es in der veröffentlichten Meinung bislang überhaupt nur zwei Events gibt, über die in mehreren Medien gleichzeitig berichtet wurde. In beiden Fällen ging es um die Forschungserfolge von Craig Venter, zunächst im Zusammenhang mit der Komplettsynthese des Mykoplasma-Genoms 2008 und später mit der erfolgreichen Genomtransplantation 2010.

Ein näherer Blick auf die Deutungen und Interpretationen der Synthetischen Biologie lohnt ebenfalls. Einige der untersuchten Artikel befassen sich mit der Deutung des Lebens, mit der Frage, was Synthetische Biologie ist, was sie tut und ob sie Leben oder die Vorstellung von Leben gefährdet. Andere Artikel beschäftigen sich mit der Deutung des wissenschaftlichen Feldes: Was kann die Synthetische Biologie, was kann sie nicht? Ist sie Hybris oder wissenschaftliche Methode? Oft wird die Synthetische Biologie auch bewertet.

In der Mehrzahl finden sich auffällig wohlwollende Artikel. Es gibt aber auch eine Reihe von negativen Artikeln, die vielerorts auf das Risiko der Synthetischen Biologie hinweisen. Das Verhältnis zwischen positiver und negativer Berichterstattung liegt bei etwa fünf zu drei.

Wenn man sich bestimmte Topoi ansieht, so ist interessant, dass in der Presse eine komplette Übereinstimmung dahingehend herrscht, dass die öffentliche Debatte intensiviert werden soll. Partizipation und Mitbestimmung bei der technischen Entwicklung werden einstimmig als sehr positiv gesehen. Bei der staatlichen Regulierung ist das anders; hierzu ist die Einstellung überwiegend negativ. Die Synthetische Biologie ist durch die existierenden Gentechnikgesetze bereits stark reguliert, heißt es, und es besteht die Befürchtung, dass zusätzliche Regulierungen die Forschung erschweren. Maßnahmen zur Risikominderung sind dagegen willkommen. Bei intensiverer Forschung und damit höherer Förderquote sind zustimmende und ablehnende Positionen im Verhältnis neun zu fünf zu verzeichnen.

Kurz erwähnt werden sollen auch die dominanten Frames (kontextuelle Rahmen), welche die Berichterstattung kennzeichnen. Da wäre zum einen der „Fortschrittsframe“: Die Synthetische Biologie wird präsentiert als Teil des wissenschaftlichen Fortschritts. Dabei wird die gesellschaftliche Bedeutung hervorgehoben, dass medizinische Produkte entwickelt werden müssen, die uns helfen sollen, Krankheiten zu bekämpfen, oder solche, die die Energieprobleme lösen.

In anderen Fällen haben wir den „Runaway-Frame“: Behandelt werden Sicherheitsfragen, was zum Beispiel passiert, wenn veränderte Lebewesen ins Freie gelangen und dort nicht mehr zu kontrollieren sind. Dieser Frame findet sich etwa in jedem vierten Artikel.

Einen recht kleinen Anteil nimmt hingegen der Frame ein, der sich auf die „Öffnung der Büchse der Pandora“ bezieht. Außerhalb Deutschlands, außerhalb des christlichen, katholisch-protestantischen Kulturkreises soll dieser Frame häufiger vorkommen.<sup>14</sup>

Ein gutes Drittel der Artikel bedient sich hingegen überhaupt keines Frames. Hier zeigt sich eine relativ nüchterne und sachliche Darstellung der Synthetischen Biologie. Meistens kommen Wissenschaftler zu Wort und erklären, was sie machen, versuchen aber möglichst nicht, das in irgendeinen Frame einzubauen.

Dies scheint zunächst wenig verwunderlich, da von der nach Einsicht und Erkenntnis strebenden Wissenschaft im Allgemeinen eine nüchterne und faktenbasierte Darstellung erwartet wird. Ob sich die Wissenschaft immer so nüchtern präsentiert, wird im folgenden Abschnitt ausführlicher diskutiert.

Zusammenfassend gesagt, zeigt sich in der Presseanalyse, dass das Thema Synthetische Biologie noch lange nicht im medial vermittelten öffentlichen Bewusstsein angekommen ist. Die veröffentlichte Meinung bezieht zwar auch kritische, bislang auch negative Kommentare mit ein, trotzdem sieht man die positiven, wenn nicht sogar positivistischen, fortschrittsorientierten Interpretationen noch in der Überzahl.

## Wissenschaft

Die in der Medienberichterstattung erwähnte sachliche und nüchterne Darstellung der Synthetischen Biologie durch Wissenschaftler mag auf den ersten Blick nicht ungewöhnlich sein. Allerdings überrascht bei genauer Betrachtung, wie einzelne Vertreter der Synthetischen Biologie versuchen, diese Technikwissenschaft zu inszenieren. In weitgehender Ermangelung handfester Erfolgsstories werden Analogien und Metaphern aus anderen (erfolgreichen) Ingenieurs- und Technologiebereichen verwendet, um die Synthetische Biologie als bahnbrechende Zukunftstechnologie zu inszenieren. Im Zusammenhang mit Inszenierung neben Kunst, Film und Medien auch von Wissenschaft zu sprechen, vermag zunächst fast schon blasphemisch erscheinen. Trotzdem muss eine kritische Auseinandersetzung mit der In-Szene-Setzung dieses jungen Forschungs- und Technologiefeldes erlaubt sein. Es erscheint allgemein bekannt, dass die Erfolge (und Risiken) der Synthetischen Biologie praktisch ausschließlich Zukunftsprojektionen sind.<sup>15</sup> Für die Wissenschaftscommunity in der Synthetischen Biologie entsteht dadurch – wie bei jeder Art von Grundlagenforschung – die prekäre Situation, dass Geldmittel für die Forschung bewilligt werden sollen, ohne dass handfeste Beweise für die Nützlichkeit im Hier und Jetzt vorliegen. Niemand ist in der Lage, eindeutige Aussagen über das zukünftige Potenzial der

---

<sup>14</sup> Vgl. Schummer 2011.

<sup>15</sup> Ausnahmen von bereits eingetretenen Erfolgen sind zum Beispiel die Herstellung von Artemisininsäure, wenige Biotreibstoffherstellungsverfahren und der Industriezweig der DNA-Synthese.

Synthetischen Biologie für die Bioökonomie zu treffen. Während die Ungewissheit als ein zentraler Bestandteil der Synthetischen Biologie bei vielen Wissenschaftlern Zurückhaltung hinsichtlich der Prognosen hervorruft, übertreffen sich andere mit geradezu fantastischen Vorhersagen. Wie früher in der Nanotechnologie oder der Stammzellforschung bedienen sich diese Forscher – mangels besserer Alternativen – geeigneter Szenarien, die die Bedeutung der Synthetischen Biologie unterstreichen sollen. Gerade in den USA werden dafür vor allem Entwicklungsszenarien herangezogen, die die Synthetische Biologie mit der Halbleiterelektronik der 1950er-Jahre vergleichen<sup>16</sup> und ein enormes wirtschaftliches Wachstumspotenzial voraussagen<sup>17</sup>.

Manche Forscher haben sich sogar zu Aussagen hinreißen lassen, in der die Synthetische Biologie als neue industrielle Revolution dargestellt wird.<sup>18</sup> Trotz einer gewissen Skepsis diesen Versprechungen gegenüber<sup>19</sup>, hat die Verheißungsrhetorik auch in Europa ihre Spuren hinterlassen, wie eine Übersicht über die Förderprogramme in sechs europäischen Ländern erkennen lässt.<sup>20</sup>

Doch obwohl ein starker Anstieg bei der Förderung der Synthetischen Biologie zu erkennen ist, erreicht diese noch lange nicht die zur Verfügung gestellten Ressourcen im Bereich der Nanotechnologie. Zwar wird beiden Gebieten zugetraut, einen wesentlichen Beitrag zur wissensbasierten Ökonomie des 21. Jahrhunderts zu leisten, und beide erhalten auch hohe Fördersummen aus öffentlicher Hand – die Nanotechnologie wurde zum Beispiel mit fast 3,5 Milliarden Euro aus dem 7. Rahmenprogramm der Europäischen Gemeinschaft finanziert –, aber die jüngere Synthetische Biologie erhält mit circa 50 Millionen Euro im 6. und 7. Rahmenprogramm zusammen, also rund 1,5 Prozent der Nanotechnologieförderung, dagegen noch vergleichsweise wenig.<sup>21</sup>

Schlussendlich soll noch kurz auf einen anderen Aspekt der Inszenierung der Synthetischen Biologie eingegangen werden: die Rekontextualisierung des Forschungsbereichs oder das Forschungsbranding. Vor etwa zehn Jahren, um das Jahr 2000, begann der effektive Start der Nanotechnologiewelle. Wie in Abbildung 1 ersichtlich, stieg ab diesem Zeitpunkt die Zahl der Veröffentlichungen unter diesem Label rasant an. Öffentliche Förderung in Millionenhöhe folgte, wie bereits erwähnt, und beschleunigte die Dynamik noch weiter. Während in der Publikationsdatenbank PubMed für das Jahr 2000 ganze 50 Publikationen zu finden sind, waren es zehn Jahre später etwa 100-mal so viele. Viele Beobachter äußerten die Vermutung, dass durch die neuen Fördermöglichkeiten einerseits natürlich neue Forschungsfelder geschaffen wurden, andererseits aber auch vielerorts „alte“ Forschungsgebiete (etwa die Materialwissenschaften) in neues Gewand gehüllt wurden.

16 Vgl. Andrianantoandro et al. 2006.

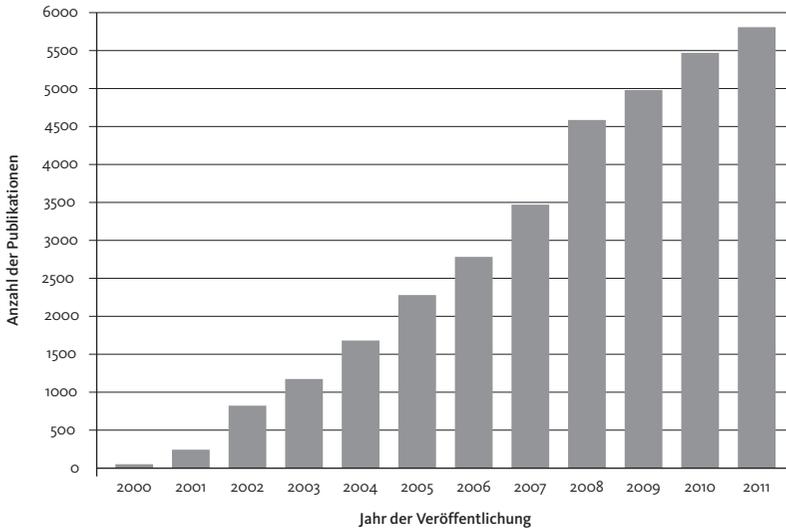
17 Vgl. Henkel/Maurer 2007; Torgersen/Schmidt 2012; Carlson 2010.

18 Vgl. zum Beispiel *Royal Society of Chemistry* 2008; Cserer/Seiringer 2009.

19 Vgl. de Lorenzo 2010.

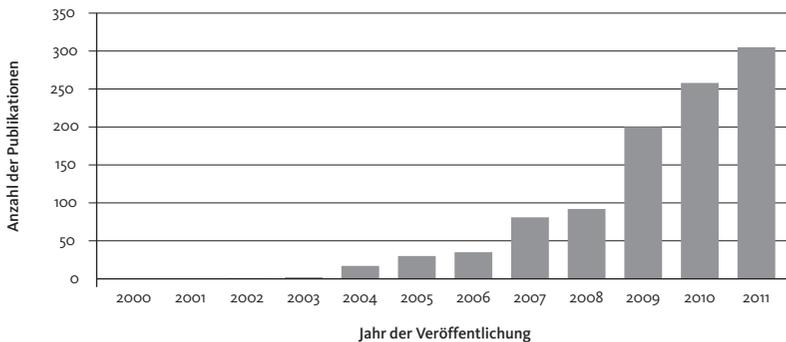
20 Vgl. Pei/Gaissner/Schmidt 2012.

21 Vgl. ebd.



**Abb. 1:** Zeitlicher Verlauf der in PubMed registrierten Peer-review-Veröffentlichungen im Bereich Nanotechnologie (Suchbegriff: „nanotechnology“).<sup>22</sup>

Ein ähnliches Schicksal könnte mit etwa zehnjähriger Zeitverschiebung auch auf die Synthetische Biologie zukommen (vgl. Abbildung 2).<sup>23</sup> Die Zuordnung biotechnologischer Forschung zur Synthetischen Biologie und damit die Inszenierung der eigenen Forschungstätigkeit als Synthetische Biologie könnte mit immer höher dotierten Forschungsprogrammen wahrscheinlicher werden.



**Abb. 2:** Zeitlicher Verlauf der in PubMed registrierten Peer-review-Veröffentlichungen im Bereich Synthetische Biologie (Suchbegriff: „synthetic biology“). Man beachte die im Vergleich zur Nanotechnologie zehnmal kleinere Skalierung.<sup>24</sup>

<sup>22</sup> Die Daten wurden mittels GoPubMed ermittelt.

<sup>23</sup> Vgl. zum Beispiel de Lorenzo/Danchin 2008; Keller 2009; de Lorenzo 2010.

<sup>24</sup> Die Daten wurden mittels GoPubMed ermittelt.

## Zusammenfassung

Als inhärent interdisziplinäres Unterfangen eignet sich die Synthetische Biologie ganz besonders, um aus unterschiedlichen Sinnzusammenhängen betrachtet zu werden. Mit der prophezeiten gesellschaftlichen Auswirkung der Synthetischen Biologie ergeben sich weitere transdisziplinäre Betrachtungsweisen und Anknüpfungspunkte auch außerhalb der Wissenschaft. Die Abwesenheit gesicherter Erkenntnisse über zukünftige Erfolge und Auswirkungen der Synthetischen Biologie, also die faktische Ungewissheit über ihre eigentliche Bedeutung – bei gleichzeitiger Deklaration ungeheuren potenziellen Nutzens –, eröffnet der Auseinandersetzung mit der Synthetischen Biologie enormen Schwung und kreativen Elan. Fast scheint es, als handle es sich bei der Synthetischen Biologie um eine Art Rorschachtest, der sich für allerlei Projektionen und Deutungsmuster eignet.

Innerhalb der Wissenschaft wird das Potenzial der Synthetischen Biologie anhand mehrerer Vergleiche und Metaphern beschrieben. Präsentiert wird die Synthetische Biologie insbesondere als eine Art neue IT-Revolution. Das soll Erfolg suggerieren, Investitionen anziehen und helfen, sich den radikalen technologischen Umbruch vorzustellen. Die öffentliche Darstellung der Synthetischen Biologie als „biologische Elektronik“ wird durch die Metaphernschlacht rund um BioParts, BioBricks, Bioschaltkreise und so weiter perpetuiert. Die der Synthetischen Biologie innewohnende Beschwörung des Ingenieurmantras (Standardisierung, Orthogonalität, Modularität, Entkopplung von Design und Fertigung) gibt dieser Assoziation weiteren Zündstoff.

Freilich finden sich nach wie vor genug besonnene Stimmen aus der Wissenschaft, die eine nüchterne und sachliche Analyse der Synthetischen Biologie vornehmen. Erfreulicherweise schaffen es diese Stimmen immer noch in die Presse, wie die Medienanalyse von Markus Lehmkuhl gezeigt hat.<sup>25</sup> Die deutsche Presse hat die Synthetische Biologie bislang kaum in konzertierter Art und Weise aufbereitet. Nur zwei Erfolgsmeldungen im Zusammenhang mit dem Venter-Institut wurden landesweit gebracht. Im Großen und Ganzen überwiegen in der deutschen Presse die positiven Stimmen zur Synthetischen Biologie, obwohl die kritischen bis negativen Kommentare dazu in deutlicher Opposition stehen. Die positive Darstellung hat wohl auch mit dem Fortschrittsframe zu tun, welcher in der Berichterstattung in erster Linie zum Tragen kommt. In den Medien wird die Synthetische Biologie, vereinfachend gesagt, als eine Zukunftstechnologie beschreiben, in die man die Hoffnung setzt, künftig damit zum Beispiel Krankheiten zu heilen oder das Energieproblem zu lösen, also einen breiten gesellschaftlichen Nutzen zu erzielen. Die erzählten Geschichten – Synthetische Biologie gegen Krebs, Biotreibstoff und so weiter – spiegeln damit

25 Kronberger et al. (2009) gehen, zumindest für Österreich, eher vom Gegenteil aus.

die narrativen Muster der Wissenschaftler und Geldgeber wider, insbesondere wenn es darum geht, Forschungsgelder zu begründen.

Ähnliche Narrative finden sich auch in Hollywood-Filmen, wobei allerdings weniger das Allgemeingut im Vordergrund steht als vielmehr die private Motivation dahinter, also Geld und Macht. Beispielsweise finden biotechnologische Forschungen in den untersuchten Filmen überwiegend in privaten Firmenlabors und nicht an Universitäten statt, auch das Militär wird als Hauptakteur in Szene gesetzt. Damit ist der Bezug zur Realität allerdings auch schon wieder abgehandelt, denn bei der Zusammenstellung der Produkte der Synthetischen Biologie finden sich neben Viren häufig höhere Lebensformen bis hin zum Menschen und Kunstwesen, während Bakterien kaum thematisiert werden. Offensichtlich lässt sich mit Viren und Wirbeltieren ein größeres Maß an Betroffenheit erzeugen, auch wenn man sich damit weit von der Realität entfernt. Zwar sind in den Kurzfilmen unabhängiger Filmemacher ebenfalls Wirbeltiere und Menschen als Objekte des biotechnischen Eingriffs zu finden, dort geht die Beschreibung der zur Anwendung kommenden Technik jedoch weit über deren oberflächliche Darstellung in den Hollywood-Filmen hinaus. Ein weiterer Unterschied zu den Kurzfilmen ist das oftmals fehlende (und beruhigende) Happy End, wollen doch die Kurzfilmautoren viel stärker zum Nachdenken über die Technologie, deren Auswirkungen auf die Gesellschaft und die Motivation hinter der Anwendung anregen.

Anregend sind definitiv auch die Arte- und Biofakte im Bereich der Bio-Kunst. Gerade die Ausstellung *synth-ethic* zeigte eine eindrucksvolle Schau aktueller Werke, die von der Transformation fliegender Ratten zu Saubermachern, von Artgrenzen überschreitenden Blutsbrüderschaften zwischen Mensch und Pferd, von halb lebendigen Sorgenpüppchen als Projektionsflächen der Angst vor der Synthetischen Biologie oder von Protozellen, die an der Grenze vom Nichtlebendigen zum Lebendigen herumschwimmen und uns dabei ihre scheinbar anthropogenen Eigenschaften oktroyieren.

Die Künstler verstehen sich dabei nicht als Handlanger der Wissenschaft und nicht als reine Wissenschaftskommunikatoren. Sie wollen uns zum Nachdenken anregen, zeigen uns Wege, die ausgetretenen narrativen Pfade zu verlassen und in einen breiteren Interpretations- und Aktionsraum vorzudringen.<sup>26</sup>

Im Unterschied zu den Inszenierungen in den Medien und der Wissenschaft gehen die Künstler weit über die etablierten Inszenierungen hinaus – oder, um es mit den Worten von Joe Davis, Bio-Künstler an der Harvard-Universität und am *Massachusetts Institute of Technology*, zu sagen: “Since all of our dreams are gonna come true, somebody has to have some good dreams!”<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Vgl. Reardon 2011.

<sup>27</sup> Aus dem Dokumentarfilm „Heaven + Earth + Joe Davis“ von Peter Sasowsky (Serious Motion Pictures, 2011).

## Literatur

- Andrianantoandro, E. et al. (2006): Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline. In: *Molecular Systems Biology*, 2:2006.0028.
- Armstrong R. (2012): *Living Architecture. How Synthetic Biology Can Remake Our Cities and Reshape our Lives*. TED Books, #12 [eBook].
- Carlson, R. H. (2010): *Biology Is Technology. The Promise, Peril, and New Business of Engineering Life*. Cambridge; London.
- Cserer, A.; Seiringer, A. (2009): Pictures of synthetic biology. A reflective discussion of the representation of synthetic biology (SB) in the German-language media and by SB experts. In: *Systems and Synthetic Biology*, 3:27–35.
- De Lorenzo V. (2010): Synthetic biology: something old, something new... In: *BioEssays*, 32 (4), 267–270.
- De Lorenzo, V.; Danchin, A. (2008): Synthetic biology: discovering new worlds and new words. The new and not so new aspects of this emerging research field. In: *EMBO Reports*, 9 (9), 822–827.
- Keller, E. F. (2009): What does synthetic biology have to do with biology? In: *Biosocieties*, 4 (2–3), 291–302.
- Gessert, G. (2012): *Green Light. Toward an Art of Evolution*. Cambridge.
- Gschmeidler, B.; Seiringer, A. (2012): “Knight in shining armour” or “Frankenstein’s creation”? The coverage of synthetic biology in German-language media. In: *Public Understanding of Science*, 21 (2), 163–173.
- Hauser, J. (Hg.) (2008): *Sk-Interfaces. Exploding Borders – Creating Membranes in Art, Technology and Society*. Liverpool.
- Hauser, J.; Schmidt, M. (2011): Synth-ethic. 14. Mai bis 26. Juni 2011 [Gallery Guide]. Online im Internet: [http://www.markusschmidt.eu/pdf/gallery\\_guide\\_web.pdf](http://www.markusschmidt.eu/pdf/gallery_guide_web.pdf) [5.12.2012].
- Hayden, E. C. (2011): Bioengineers debate use of military money. In: *Nature*, 479 (7374), 458.
- Henkel, J.; Maurer, S. M. (2007): The economics of synthetic biology. In: *Molecular Systems Biology*, 3:117.
- Kac, E. (Hg.) (2007): *Signs of Life. Bio Art and Beyond*. Cambridge; London.
- Kronberger, N. et al. (2009): Communicating synthetic biology: from the lab via the media to the broader public. In: *Systems and Synthetic Biology*, 3:19–26.
- Lehmkuhl, M. (2011): Die Repräsentation der synthetischen Biologie in der deutschen Presse. Abschlussbericht einer Inhaltsanalyse von 23 deutschen Pressetiteln. Online im Internet: <http://www.ethikrat.org/dateien/pdf/lehmkuhl-studie-synthetische-biologie.pdf> [5.12.2012].
- Mitchell, R. (2010): *Bioart and the Vitality of Media*. Seattle.
- Pei, L.; Gaisser, S.; Schmidt, M. (2012): Synthetic biology in the view of European public funding organisations. In: *Public Understanding of Science*, 21 (2), 149–162.
- Reardon, S. (2011): Visions of synthetic biology. In: *Science*, 333 (6047), 1242–1243.
- Reichle, I. (2009): *Art in the Age of Technoscience. Genetic Engineering, Robotics, and Artificial Life in Contemporary Art*. Wien; New York.
- Royal Society of Chemistry (Hg.) (2008): *Engineering Life. The Emerging Field of Synthetic Biology*. Online im Internet: [http://www.rsc.org/images/SyntheticbiologyReport\\_tcm18-128741.pdf](http://www.rsc.org/images/SyntheticbiologyReport_tcm18-128741.pdf) [5.12.2012].
- Schummer, J. (2011): *Das Gotteshandwerk. Die künstliche Herstellung von Leben im Labor*. Berlin.

Torgersen, H.; Schmidt, M. (2012): Perspektiven der Kommunikation für die Synthetische Biologie. In: Weitze, M.-D. et al. (Hg.): Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen, Analysen, Aktivitäten. Berlin, 113–154.

Van Mensvoort, K.; Grievink, H.-J. (Hg.) (2011): Next Nature. Nature Changes Along with Us. Barcelona; New York.

# Synthetische Biologie zwischen Durchbruch und Hype

## Fragestellung und Hypothese

Charakteristisch ist in allen Definitionen der Synthetischen Biologie die Hinwendung zu technisch modifizierten oder hergestellten Formen des Lebens, entweder neu konstruiert oder durch Umgestaltung existierenden Lebens erzeugt, verbunden mit teils noch sehr diffusen Hoffnungen auf eine technologische Nutzbarkeit. Biologie wird dann *synthetisch*, wenn das analytisch gewonnene Wissen um einzelne Vorgänge des Lebens so kombiniert und genutzt wird, dass im Ergebnis bestimmte erwünschte Eigenschaften an lebenden Systemen gezielt realisiert werden können.

Dass es angesichts weitreichender Visionen der Synthetischen Biologie zu einer wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Debatte gekommen ist, in der neben den Hoffnungen auch die Befürchtungen und möglichen Risiken thematisiert werden, überrascht in unserer Gesellschaftsform nicht, in der wir Erfahrungen mit positiven wie negativen Folgen von Wissenschaft und Technik gemacht haben. Fragen nach der Verantwortung und Verantwortbarkeit<sup>1</sup> sowie nach ethischen Aspekten<sup>2</sup> werden gestellt. Die Verantwortungsfrage zur Synthetischen Biologie ist angesichts ihres frühen Entwicklungsstandes zum einen eine Frage nach der Verantwortung und Verantwortbarkeit des weiteren Forschungsprozesses, vor allem in Bezug auf Sicherheitsfragen und Sicherheitsstrategien, wie sie im Prinzip aus der Gentechnik

---

<sup>1</sup> Vgl. Grunwald 2011.

<sup>2</sup> Vgl. Boldt/Müller/Maio 2009.

vertraut sind. Zum anderen jedoch dürfen auch die weiter entfernten und visionären Erwartungen und Befürchtungen bezüglich der Synthetischen Biologie nicht ignoriert werden, wie sie sich zwar unspezifisch, aber rhetorisch mächtig in dem folgenden Zitat aus einem Manifest von Wissenschaftlern aus dem Bereich der Synthetischen Biologie erkennen lassen:

“Fifty years from now, synthetic biology will be as pervasive and transformative as is electronics today. And as with that technology, the applications and impacts are impossible to predict in the field’s nascent stages. Nevertheless, the decisions we make now will have enormous impact on the shape of this future.”<sup>3</sup>

Beide Typen von Verantwortungsfragen erfordern Deutungen des gegenwärtigen Standes der Synthetischen Biologie und ihrer Entwicklungsgeschwindigkeit und -richtung. Diese Deutungen, also ob und wann zum Beispiel welche Durchbrüche zu erwarten sind oder ob die aktuelle Debatte zur Synthetischen Biologie nicht ein bloßer „Hype“ ist, sind wichtig, um ethische und Verantwortungsfragen auf den heutigen Stand überhaupt beziehen zu können. Der vorliegende Beitrag widmet sich in diesem Sinne nicht der Synthetischen Biologie als solcher, sondern der Art und Weise, wie über Synthetische Biologie wissenschaftlich und öffentlich kommuniziert wird.

Zu diesem Zweck werde ich zunächst die zentralen Begriffe aus der Überschrift des Beitrags erläutern. Sodann beschreibe ich anhand bisheriger Technikdebatten das Kommunikationsmuster „Hype“, welches stark auf Technovisionen beruht. Diese sind keineswegs bloß „heiße Luft“, sondern haben oft reale Folgen und zeigen ihre eigenen Ambivalenzen. Der Einordnung der Synthetischen Biologie in dieses Schema und der Deutung ihres aktuellen Standes folgen kurze praktische Schlussfolgerungen.

## Durchbruch und Hype – zu den Begriffen

Das Wort „Durchbruch“ wird vielfach in der massenmedialen Kommunikation über den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt verwendet. Durchbrüche dieser Art werden in der Berichterstattung meistens sehr positiv dargestellt. Ein Durchbruch heißt: Es ist etwas gelungen, was vorher nicht möglich war, es wurde eine Grenze überwunden, die vorher den Handlungsmöglichkeiten des Menschen entgegenstanden hat. Gemeinsam ist wissenschaftlich-technischen Durchbrüchen die Zurückdrängung des „Unverfügbaren“. Das, was menschlichem Zugriff entzogen

---

3 Ilulissat Statement 2007.

war, was als unbeeinflussbare Natur akzeptiert werden musste, wird zum Gegenstand wissenschaftlicher Erkenntnis und technischer Manipulation oder Gestaltung, zum Beispiel durch gentechnische Veränderungen des Erbgutes oder durch Eingriffe in Reproduktionsvorgänge. Wissenschaftlich-technischer Fortschritt führt zu einer Erweiterung der menschlichen Handlungsmöglichkeiten und dies wird im Falle großer Fortschritte oft als Durchbruch bezeichnet.

Wissenschaftliche Durchbrüche sind zahlreich und besonders die Biologie hatte in den letzten Jahrzehnten eine Fülle von Durchbrüchen zu verzeichnen. Den wissenschaftlichen Durchbrüchen folgen dann mehr oder weniger oft und meist mit deutlicher Zeitverzögerung technische Durchbrüche, wie dies etwa die Wege von der Kernphysik zur Kerntechnik oder von der Genforschung zur Gentechnik zeigen. Erst die technischen Durchbrüche bilden die Basis, dass reale Folgen für Mensch und Gesellschaft entstehen können. Das Wissen allein, zum Beispiel über Funktionsmechanismen subzellulärer Einheiten, ändert noch nichts in der „realen Welt“. Ein Durchbruch nach Maßgabe des Wissenschaftssystems und des Erkenntnisfortschritts bedeutet für sich genommen noch nichts für die gesellschaftliche Wirklichkeit. Und auch wenn der *technische* Durchbruch erfolgt ist, ist es oft noch ein langer Weg bis zu marktfähigen Produkten und Dienstleistungen. In der Materialforschung beispielsweise wird geschätzt, dass der Weg aus dem Forschungslabor bis zum fertigen Produkt circa zehn bis 20 Jahre dauert. Es nimmt oft viel Zeit in Anspruch, bis wissenschaftliche Durchbrüche in der Gesellschaft „ankommen“, zum Beispiel in Form neuer Produkte oder Dienstleistungen. Man kann damit in diesem Prozess zwischen drei Typen von Durchbrüchen unterscheiden: wissenschaftliche Durchbrüche, technische Durchbrüche und Durchbrüche auf den Märkten und beim Anwender.

Die häufig lange Zeit zwischen wissenschaftlichem Durchbruch und den Folgen für das „reale Leben“ wird, wenn über wissenschaftliche Durchbrüche in den Medien berichtet wird, mit Visionen und Erwartungen überbrückt. Dann heißt es oft: Mit diesem Durchbruch könnte es sein, dass in zehn, 20 oder 30 Jahren ein Beitrag zur Lösung des Energieproblems oder zur Heilung von Krankheiten wie Alzheimer oder Parkinson geleistet wird. Diese Kommunikationsform, die Verwendung weitreichender Erwartungen und Versprechungen, ist gerade das Medium, in dem „Hypes“ entstehen.

Das Wort „Hype“ bedeutet, dass etwas nur ein Kommunikationseffekt ohne reale Grundlage ist. Begeisterung – zum Beispiel vom wissenschaftlichen Fortschritt und von Durchbrüchen – schaukelt sich hoch, die Akteure übertreffen einander im Aufbau immer neuer Erwartungen und Visionen. Man kann sich dies wie eine Spekulationsblase vorstellen, in der die Akteure einander zu übertreffen versuchen, der aber die reale Basis fehlt. Irgendwann platzt diese Blase oder – dies ist bei wissenschaftlichen Hypes häufig der Fall – man wird ihrer müde, es kommt zu Enttäuschungen und sie verebbt allmählich. Hypes begleiten die öffentliche Kommunikation über

Wissenschaft und gerade in den letzten zehn Jahren sind sie zum dominierenden Kommunikationsmuster geworden. Daher sei diese Kommunikationsform im Folgenden etwas näher erläutert.

## Der Hype als Kommunikationsmuster – Technovisionen

Wissenschaftliche Hypes enthalten als zentrale Inhalte in der Regel weitreichende, teils spekulative Visionen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts und seiner erwarteten positiven Folgen für die Gesellschaft. Diese Visionen seien im Folgenden als *Technovisionen* bezeichnet. Sie stellen ein wichtiges Medium der gesellschaftlichen Technikdiskussion dar und sind keine Erfindung der letzten zehn Jahre. Die Tatsache, dass von Zukunftstechnologien eine Faszination ausgeht, reicht mindestens bis ins 19. Jahrhundert zurück, vielleicht noch weiter. Möglicherweise hat Technologie „schon immer“ gewisse Personen und Gruppen angesprochen und fasziniert. Seit etwa zehn bis 15 Jahren werden solche Visionen verstärkt diskutiert, bis hinein in die Feuilletons von Tageszeitungen. Vor allem im Umfeld der Nanotechnologie und ihrer Schnittstellen zu Informationstechnologie und Biotechnologie hat sich eine rege Kommunikation über teils recht spekulative und weit in die Zukunft reichende Visionen eingestellt.

*Visionen* stellen längerfristige, zumeist einige Jahrzehnte umfassende Zukunftsbilder dar. Sie sind eine Mischung aus Fakten und Fiktionen<sup>4</sup>, aus Prognosen und Erwartungen, aus Gewünschtem, Befürchtetem, Erwartetem oder Erhofftem. Sie liegen zeitlich und im Konkretheitsgrad zwischen den relativ konkreten Zielsetzungen für die nähere Zukunft und utopischen, oft sehr unbestimmten Hoffnungen für die ferne Zukunft.

Technovisionen sind charakterisiert durch eine „Technology Push“-Perspektive. In ihnen wird die wissenschaftlich-technische Entwicklung als wesentlicher Antrieb der gesellschaftlichen Entwicklung verstanden. Die Dynamik des technischen Fortschritts dominiert in ihnen alle anderen Faktoren – ganz im Gegensatz zum Beispiel zu gesellschaftlichen Visionen einer gerechten Weltordnung oder einer nachhaltigen Gesellschaft, in denen Technik immer nur eine instrumentelle Funktion übernehmen kann.

Technovisionen verbinden langfristige Zukunftsbetrachtungen mit dem Anspruch der Realisierbarkeit durch wissenschaftlich-technischen Fortschritt sowie utopische Ideen mit der Erwartung ihres Eintretens. Es gibt eine wissenschaftliche Agenda, die die Realisierung der technikbasierten Visionen als Fernziel verfolgt. Roadmaps und Meilensteine stellen die Verbindung zwischen heutiger Forschung

---

4 Vgl. Schmidt 2003.

und den visionären Zukünften her.<sup>5</sup> In diesem Sinne zeigen die Visionen bereits Spuren im heutigen Wissenschaftsbetrieb. Sie decken den Zeitraum von circa zehn bis 50 Jahren in die Zukunft hinein ab und stellen dabei ihr *revolutionäres Potenzial* – in technischer wie in gesellschaftlicher Hinsicht – in den Vordergrund. Offenkundig enthalten sie dabei – trotz vorhandener wissenschaftlicher Bekundungen ihrer Realisierbarkeit – Elemente der Spekulation und der Unsicherheit, nicht nur in Bezug auf den Zeitraum ihrer wahrscheinlichen Realisierung, sondern auch im Hinblick auf die prinzipielle Machbarkeit.

Kurz seien einige Beispiele älterer Technovisionen angesprochen. Wernher von Braun hat mit seinen Visionen zur Raumfahrt viel bewegt, Faszination geweckt und Politiker – im Dritten Reich wie auch in den USA – überzeugt, viel Geld zu investieren. Die Mondlandung war wohl der bekannteste Erfolg, in dem eine damals für viele utopisch erscheinende Technovision Wirklichkeit wurde. Anderes befindet sich nach wie vor im Stadium der Vision, zum Beispiel Ressourcen aus dem Weltraum auf die Erde zu schaffen oder bemannte Vorstöße zum Mars oder noch weiter in den Weltraum hinein zu unternehmen. Gleichwohl, um die Raumfahrt ist es vergleichsweise still geworden. Die großen Raumfahrtvisionen bewegen die Menschen nicht mehr so stark.

Die Kernenergie ist ein Beispiel für eine „alt gewordene“ Technovision. Literatur und Zeitungsberichte der 1950er-Jahre zeigen, dass damals wahre Wunder von der Kernenergie erwartet wurden. Es gibt ein schönes Zitat des Philosophen Ernst Bloch, der gesagt hat: Einige hundert Pfund Thorium oder Uranium würden ausreichen, um aus der Wüste Sahara eine blühende Landschaft zu machen. Man hat von Atomautos, Atomzügen und Atomheizungen geschwärmt. Atom war damals das Synonym für eine Technikgläubigkeit, für eine Erwartung an eine paradiesartige Zukunft mit ebendieser Technik. Heute sind diese Visionen fremd geworden, sogar den Befürwortern der Kernenergie.

Die Nanotechnologie ist vielleicht das Paradebeispiel aller Hypes. Sie ist in den 1980er-Jahren in den USA aufgekommen als eine neue Technologie, mit der man auf der Ebene von Atomen und Molekülen operieren konnte. Lange Zeit wurde von ihr die Lösung praktisch aller Probleme der Welt erwartet: Ob Entwicklungsproblematik, Armutsproblematik, Gesundheit, Verlangsamung oder sogar Abschaffung des Alterns – alle Menschheitsprobleme sollten mit Nanotechnologie gelöst werden können.<sup>6</sup> Das hat seinen Ausdruck gefunden in einem faszinierenden Titel, den Bill Clinton und Al Gore der ersten großen Fördermaßnahme gegeben haben: „Shaping the World Atom by Atom“. Die Welt gestalten, Atom für Atom, also die Welt so gestalten, dass wir die Atome so zusammensetzen, wie es am besten zu unseren Zielen

---

<sup>5</sup> Vgl. Roco/Bainbridge 2002, 4 ff.

<sup>6</sup> Vgl. Drexler 1986.

und Zwecken passt. Dieser Hype hat seinen Höhepunkt wohl überschritten<sup>7</sup>, ist aber noch teilweise präsent.

Ein weiteres Beispiel ist das *human enhancement*, die „technische Verbesserung des Menschen“. Ausgangspunkt war eine Publikation der amerikanischen *National Science Foundation*<sup>8</sup>, die ein zukünftiges Zusammenwirken von Nanotechnologie, Biotechnologie, Informationstechnik und Hirnforschung diagnostizierte, mit der Folge, dass wir Menschen uns selbst „verbessern“ könnten, zum Beispiel

- » durch die *Erweiterung der sensorischen Fähigkeiten*: Die Fähigkeiten des menschlichen Auges könnten erweitert werden, zum Beispiel im Hinblick auf die Sehschärfe („Adlerauge“) oder im Hinblick auf eine Nachtsichtfähigkeit durch die Erweiterung des erfassbaren elektromagnetischen Spektrums in Richtung auf das Infrarot;
- » durch die *Erweiterung des Gedächtnisses mit technischer Hilfe*: Durch einen Chip, der direkt am Sehnerv angeschlossen werden könnte, wäre es möglicherweise denkbar, alle visuellen Eindrücke in Echtzeit aufzuzeichnen und extern abzuspeichern. Auf diese Weise könnten alle visuellen Eindrücke, die im Laufe eines Lebens anfallen, jederzeit wieder abgerufen werden. Oder ein Chip im Gehirn könnte jeden Abend eine „Sicherheitskopie“ unseres Gedächtnisses speichern. Angesichts unserer Vergesslichkeit wären dies für viele möglicherweise attraktive Vorstellungen;
- » durch die *Verlangsamung des Alterns*: Wenn Altern eine Form der Degradation auf zellulärer Ebene ist und es gelänge, jegliche Formen solcher Degradation sofort zu entdecken und zu reparieren, zum Beispiel durch Nanoroboter, könnte das Altern erheblich verlangsamt oder sogar abgeschafft werden.

Diese Technovisionen im Umfeld des *human enhancement* haben weltweit zu Debatten über ethische Fragen geführt, die weiterhin andauern<sup>9</sup>.

## Technovisionen als folgenreiche Interventionen

Was sagen uns diese Hypes? Man könnte zunächst meinen, das seien ja bloß Kommunikationsmuster und Spekulationsblasen. Dann könnten wir sie ignorieren und bräuchten uns nicht darum zu kümmern. Dem möchte ich jedoch entgegenhalten, dass diese Hypes etwas bewirken. Sie sind *Interventionen* in die reale Welt, sie

---

7 Vgl. Lösch 2010.

8 Rocco/Bainbridge 2002.

9 Vgl. Grunwald 2008, 227 ff.; Schöne-Seifert/Talbot/Opolka 2009.

verändern Wahrnehmungen, können Forschungsgeld mobilisieren, Technikgläubigkeit fördern, aber auch Ängste schüren.

Technovisionen sind zunächst ein Medium der Selbstverständigung von Wissenschaftlern und Ingenieuren. Häufig werden konkurrierende Zukunftserwartungen aus den verschiedenen Disziplinen und wissenschaftlichen Schulen heraus intern kommuniziert und debattiert. In diesen Prozessen kristallisieren sich häufig längerfristige Visionen heraus, welche als Leitbild für eine ganze Forschungsrichtung dienen können. Sie drücken die Motivationen mancher Wissenschaftler und ihre Vorstellungen von zukünftiger Wissenschaft und Technik (und teils von zukünftiger Gesellschaft) aus.

In diesem Beitrag interessieren darüber hinaus aber vor allem die Folgen von Technovisionen als Medium der öffentlichen Debatten über Wissenschaft und Technik. Technovisionen können erheblichen Einfluss auf Erfolg, Langlebigkeit und Durchsetzungskraft von Forschungsrichtungen haben. Hypes, die auf Technovisionen aufbauen, sind dann mehr als nur Kommunikationsblasen, sie können etwas bewegen und bewirken. Folgen der öffentlichen Kommunikation von Technovisionen können sein:

- » *Öffentliche Aufmerksamkeit auf Forschungsfelder lenken und eine positive Wahrnehmung erzeugen.* Dies ist der Nanotechnologie jahrelang in hohem Maße gelungen. Ein anderes Beispiel ist die bemannte Raumfahrt in den sechziger Jahren.
- » *Wissenschaftlich-technischen Nachwuchs motivieren.* Die öffentliche Präsenz und Attraktivität einer Forschungsrichtung entscheidet mit über die Anziehungskraft auf wissenschaftlichen Nachwuchs.
- » *Politiker und Forschungsförderer von der Förderungswürdigkeit des Gebietes überzeugen.* Gerade Versprechen, wichtige Menschheitsprobleme zu lösen, sind für die politische Förderwürdigkeit neuer Gebiete zentral.

Hypes prägen auch die gesellschaftliche „Stimmung“, zum Beispiel für eine neue Entwicklung oder gegen eine neue Entwicklung; sie beeinflussen unser Bewusstsein und unsere Weltwahrnehmung, im Fall der Synthetischen Biologie möglicherweise sogar unser Bild von Leben; sie beeinflussen unser Bild von uns Menschen selbst, wenn wir über technische Verbesserungen des Menschen nachdenken und uns selbst immer stärker als ein Mangelwesen ansehen, das der Natur vielleicht nicht so gut gelungen ist. Diese Visionen, diese Hypes haben Einfluss auf die Art und Weise, wie wir denken, sie haben Einfluss auf die Agenda der Wissenschaft, auf die Themen, die sich die Forschung vornimmt, haben also reale Folgen in der realen Welt. Deswegen ist es wichtig, dass Ethik und Technikfolgenabschätzung sich damit kritisch befassen, auch wenn die Technovisionen vielleicht zu einem guten Teil Spekulationsblase sind und manche es immer bleiben werden.

## Wenn Technovisionen die Puste ausgeht

Diese Hypes sind jedoch – das ist ihrer Natur als Kommunikationsmuster geschuldet – nicht sehr langlebig. Hypes kann man nicht über Jahrzehnte aufrechterhalten. Es gibt mehrere Effekte, mit denen Hypes zum Erliegen kommen können: Ambivalenz, Frustration durch Enttäuschung, Frustration durch Erfolg und Ermüdung.<sup>10</sup>

### Ambivalenz

Technovisionen müssen in Politik und Öffentlichkeit mit vielen anderen Themen um die begrenzte Ressource „Aufmerksamkeit“ konkurrieren. Öffentliche Aufmerksamkeit in einer massenmedial geprägten Welt erzeugen nicht allmähliche technische Veränderungen, wie die Verbesserung des Wirkungsgrades eines Kraftwerks um einige Prozent, sondern motivierend und faszinierend wirken die ganz neuen, die revolutionären Möglichkeiten. In Technovisionen wird daher das ganz Neue in den Vordergrund gestellt. Dieser Mechanismus führt zu einer Inflation der wissenschaftlichen Versprechungen. Das Revolutionäre und das „wirklich“ Neue sind jedoch keineswegs nur faszinierend, sondern erwecken auch Angst, Sorgen und Ablehnung. Das Neue passt per definitionem nicht zu den etablierten Wahrnehmungsmustern, sondern ist zunächst fremd in der vertrauten Welt. Das Neue entzieht sich den üblichen selbstverständlichen Beurteilungskriterien und stellt sie vielleicht gar infrage. Revolutionen erzeugen nicht nur Begeisterung, sondern auch Angst. Denn Revolutionen haben Gewinner und Verlierer zur Folge, die Lebensumstände werden sich radikal ändern, Werte geraten in Gefahr und traditionelle Strukturen werden zerbrechen. Die Metaphern des radikal und revolutionär Neuen in Technovisionen zu verwenden, kann ins Gegenteil umschlagen: Der Versuch, durch positive Utopien zu faszinieren und zu motivieren, kann gerade zu Ablehnung und Widerspruch führen. Das Neue kommt häufig nicht unter Begeisterungstürmen in die Welt, sondern unter Opfern, gesellschaftlichen Erschütterungen, Traditionsverlusten und Orientierungsproblemen. Das visionäre Pathos in vielen Technovisionen ist extrem anfällig gegenüber der einfachen Frage, ob nicht alles ganz anders sein könnte – und es ist so gut wie sicher, dass diese Frage in einer offenen Gesellschaft auch gestellt wird. Die Kernenergie ist ein Beispiel, wie der positiven Technovision der 1950er-Jahre dystopische Visionen gegenübergestellt wurden. Auch die Nanotechnologie bietet ein Beispiel, wurde doch durch den bekannten Beitrag „Warum die Zukunft uns nicht braucht“<sup>11</sup> die bis dahin dominierende

---

<sup>10</sup> Vgl. Grunwald 2006.

<sup>11</sup> Joy 2000.

Erzählung über Nanotechnologie als Verheißung in ihr Gegenteil verkehrt – mit der Folge einer weltweiten Risikodebatte zur Nanotechnologie<sup>12</sup>. In diesen Fällen kommt die Dynamik der Technovision dadurch zum Erliegen, dass sie angesichts konkurrierender Erzählungen ihre Überzeugungskraft in der öffentlichen Debatte verliert.

### Frustration durch Enttäuschung

Je größer die Erwartungen und Visionen sind, umso größer ist auch das Risiko der Enttäuschung. Enttäuschte Erwartungen jedoch können ins Gegenteil umschlagen und zum Beispiel das Interesse der Politik und die Bereitschaft zur Forschungsförderung in diesem Bereich vermindern. Beispiele aus der Forschung gibt es dazu genug. Wurde noch Anfang der 1990er-Jahre von Fabriken im Weltraum oder von *solar power satellites* zur Energieversorgung der Erde geträumt, ganz zu schweigen von dauerhaft bewohnten Stationen auf dem Mond oder dem Mars, würden diese Träume heute nur Befremden auslösen. Dass mit bemannter Raumfahrt und der Eroberung des Weltraums einmal weitreichende Visionen verbunden waren, trägt zur heutigen gesellschaftlichen Beurteilung bemannter Raumfahrt eher in negativer Weise bei. Ein anderes Beispiel bildete die industrielle Nutzung der Mikrosystemtechnik, von der in den 1990er-Jahren weitreichende Technologiedurchbrüche erwartet wurden, die bei Weitem nicht eingetreten sind. Frustrationen dieser Art können den zum Erfolg einer Entwicklungslinie erforderlichen „langen Atem“ verhindern. Übermäßige Erwartungen können auf diese Weise zwar vielleicht ein Strohfeuer öffentlicher Förderung entfachen, sich aber – eine typische Ausprägung von Ambivalenz – mittel- und langfristig zum Negativen auswirken.

### Frustration durch Erfolg

Aber auch wenn technische Visionen Realität werden, besteht die Gefahr der Frustration. Die Vision der menschlichen Mondexpedition wurde 1969 Realität – sogar im von Anfang an geplanten Zeitrahmen. Allerdings kam es nach den ersten, euphorisch begrüßten Apollo-Missionen zu einer dramatischen Phase der Ernüchterung, welche rasch zum vorzeitigen Abbruch des Apollo-Programms führte. Der Grund für diese Frustration dürfte darin liegen, dass die Realisierung dieser Vision im Kalten Krieg im Wesentlichen ein Selbstzweck war, der auf nichts anderes bezogen war, als die Mondlandung vor den konkurrierenden Sowjets zu schaffen. War nun das

---

<sup>12</sup> Vgl. Grunwald 2008.

Ziel erreicht, war die Technovision hinfällig, um weitere Aktivitäten in dieser Richtung zu unternehmen, und es wurde allzu offenkundig, dass die Probleme der Welt nach der Mondlandung die gleichen waren wie vorher. Auch diese Erkenntnis stellt eine Form der Frustration dar.

## Ermüdung

Die lapidarste Art, wie Technovisionen und Hypes verebben, ist die reine Ermüdung. Hypes benötigen einen gewissen Erregungszustand, der nicht auf Dauer aufrechtzuerhalten ist. Wenn es zwar keine Enttäuschung gibt, aber auch keinen Erfolg, wird das öffentliche und mediale Interesse nachlassen und die betreffende Entwicklungsrichtung wird normalisiert. Es kann gut sein, dass dies der Weg ist, den der Hype zum *human enhancement* gehen wird. Das Feld wird nicht von der Tagesordnung verschwinden, aber da vermutlich die Fortschritte klein sind und sich nur langsam abzeichnen, wird der Zustand einer angespannten Erregung und intensiven Diskussion, wie in den letzten ungefähr acht Jahren zu beobachten ist, einem Normalmaß der Aufmerksamkeit weichen.

## Synthetische Biologie – Hype oder Durchbruch?

Wo steht die Synthetische Biologie heute in Bezug auf Durchbruch oder Hype? Meine These ist, dass Anzeichen für einen Hype sichtbar sind, auch wenn das Thema in den Massenmedien noch nicht recht präsent ist. Einige Indikatoren belegen diese These. Zunächst einmal ist im wissenschaftlichen Bereich festzustellen, dass die Zahl der Publikationen zur Synthetischen Biologie stark gestiegen ist. Das heißt nicht automatisch, dass auch viel mehr zur Synthetischen Biologie geforscht wird, da es keine genaue Definition gibt. Aber zumindest bedeutet es, dass viel mehr Biologen das Wort „Synthetische Biologie“ in ihren Publikationen verwenden. Konferenzen, Weltkonferenzen, aber auch Workshops und kleinere Tagungen, all das hat in den letzten Jahren stark zugenommen. Es entstehen Netzwerke, es gibt den iGEM-Wettbewerb, der eine hohe Popularität und Sichtbarkeit für die Synthetische Biologie schafft, auch über die Biologie hinaus.

Auch außerhalb der Wissenschaften hat das Interesse an Synthetischer Biologie stark zugenommen, insbesondere im Hinblick auf Fragen der Verantwortung. Auf der zweiten weltweiten Konferenz der Synthetischen Biologie im Jahre 2006 wurde, dies quasi vorausahnend, der Vergleich mit der Konferenz von Asilomar bemüht, wo sich 1975 die Genforscher der Verantwortungsfrage in Form von Selbstverpflichtungen gestellt haben, und es wurde eine Erklärung zur Verantwortung der

Synthetischen Biologen verabschiedet.<sup>13</sup> Diese bezieht sich allerdings nur auf den möglichen Missbrauch Synthetischer Biologie, vor allem durch Terroristen, und stellt für diesbezügliche Möglichkeiten eine Reihe von Regeln auf, die vor allem der Sicherstellung, der Vertrauenswürdigkeit, der Weitergabe von Wissen und biotischen Materialien gewidmet sind.

35 Nichtregierungsorganisationen (darunter die *ETC-Group*, *Greenpeace*, *Third World Network*) haben als Reaktion einen gemeinsamen Brief verfasst, in dem sie sich gegen diese Beschränkung der Verantwortungsfrage auf die Verhinderung möglichen Missbrauchs von Ergebnissen der Synthetischen Biologie wenden.<sup>14</sup> Sie argumentieren, die freiwillige Verantwortungsübernahme durch Wissenschaftler sei undemokratisch und paternalistisch, da Wissenschaftler in derart weitreichenden Fragen nicht „in eigener Sache“ entscheiden dürften. Die Organisationen fordern statt einer Beschränkung auf Missbrauchsszenarien zum Beispiel durch Terroristen eine breite Untersuchung und Debatte der gesellschaftlichen Folgen der Synthetischen Biologie durch Einbeziehung gesellschaftlicher Gruppen.

In dieser laufenden Debatte haben auch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina Position bezogen. Sie bemühen ebenfalls die Parallele zur Gentechnik und kommen zum Schluss: Es sei noch eine offene Frage, ob die Risiken der Synthetischen Biologie anders gelagert oder in ihrer Größenordnung anders einzuschätzen sind als die Risiken der bisherigen Genforschung. Zunächst sei aber davon auszugehen, dass die bestehenden Regelungen und Regulierungen ausreichen, um die Risiken zu vermeiden oder abzumildern.<sup>15</sup>

Auch im politischen Bereich ist das Interesse an Synthetischer Biologie groß. Der Deutsche Bundestag hat das Büro für Technikfolgenabschätzung beauftragt, eine Studie zur Synthetischen Biologie für das Parlament zu erstellen. Das Europäische Parlament hat das Projekt „Making Perfect Life“ in Auftrag gegeben.<sup>16</sup> Erste EU-Projekte, die sich mit ethischen, rechtlichen und sozialen Fragen der Synthetischen Biologie befassen, sind bereits abgeschlossen.<sup>17</sup> Auch das deutsche Forschungsministerium fördert Projekte, in denen die gesellschaftlichen Aspekte der Synthetischen Biologie und Fragen der Regulierung und Governance untersucht werden.<sup>18</sup>

Dieses große und in sehr kurzer Zeit entstandene Interesse ist ein starkes Indiz, dass zur Synthetischen Biologie ein Hype im Entstehen begriffen ist. Die Frage stellt sich dann, welches die Technovisionen und Erwartungen sind, die diesen

<sup>13</sup> Maurer/Lucas/Terrel 2006.

<sup>14</sup> ETC-Group 2006.

<sup>15</sup> Deutsche Forschungsgemeinschaft/Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 2009, 9.

<sup>16</sup> Siehe online im Internet: <http://www.oeaw.ac.at/ita/ebene4/e2-2c26.htm> [4.12.2012].

<sup>17</sup> Zum Beispiel „Synth-Ethics“, siehe online im Internet: <http://synthethics.eu> [4.12.2012].

<sup>18</sup> Siehe online im Internet: [http://www.itas.kit.edu/iut\\_lp\\_coenio\\_eli.php](http://www.itas.kit.edu/iut_lp_coenio_eli.php) [4.12.2012].

Hype tragen. Ein Hype entsteht nicht, weil ein paar Enzyme verbessert werden können oder weil man hier und da Materialeigenschaften verbessern kann. Ein Hype braucht eine große Erzählung, ein Narrativ, möglichst anknüpfend an die großen Erzählungen und Wünsche aus der Menschheitsgeschichte, an alte Erfahrungen und Traditionen.<sup>19</sup>

Craig Venter hat die Lösung des Energieproblems als eine der Visionen der Synthetischen Biologie stark gemacht. Das passt natürlich zur aktuellen Diagnose, dass die zukünftige und eine möglichst nachhaltige Energieversorgung ein großes Problem darstellt, und hat damit das Potenzial, einen Hype zu tragen. Fragen von Gesundheit und Krankheit begleiten die Menschheit von ihrem Anfang an und so, wie diese in der Nanotechnologierzählung eine große Rolle gespielt haben, werden auch Erwartungen an neue Medikamente und medizinische Verfahren mit der Synthetischen Biologie verbunden.

Aber das Hauptfaszinosum der Synthetischen Biologie in der politischen und öffentlichen Wahrnehmung ist, denke ich, die Möglichkeit, künstliches Leben zu schaffen. Zwar weisen viele Forscher aus dem Bereich der Synthetischen Biologie weit von sich, dass sie mit der Idee von künstlichem Leben zu tun haben. Trotzdem ist die Wahrnehmung in der Öffentlichkeit und auch in den Medien, soweit man das bisher sagen kann, dass hinter der Synthetischen Biologie der Traum vom künstlichen Leben steht. Diese Diskrepanz war (und ist) ganz ähnlich in der Nanotechnologie zu finden. Die meisten Wissenschaftler würden abstreiten, dass sie das erwähnte „Shaping the World Atom by Atom“ wirklich umsetzen wollen oder können. Trotzdem steht diese Idee im Hintergrund, zwar diffus und nicht richtig fassbar, ist aber auch nicht wegzudiskutieren. Die Idee künstlichen Lebens gehört, eben weil sie ein alter Menschheitstraum ist, zu den Hintergründen eines solchen Hypes und sie ist auch besonders befähigt dazu, denn die Idee, künstliches Leben zu erschaffen, hat beide Seiten der Medaille: Sie ist faszinierend und zugleich erweckt sie einen Schauder. Beide Facetten sind darin enthalten und das ist es, was einen Hype auszeichnet: Paradies und Apokalypse lassen sich simultan erahnen.

Daher glaube ich, dass wir uns in der Tat in einem entstehenden Hype der Synthetischen Biologie befinden. Dieser Hype bewegt schon jetzt etwas, er hat Auswirkungen in der realen Welt. So hat er auch den Deutschen Ethikrat bewogen, sich mit diesem Thema zu befassen. Geldströme und Forschungsgelder werden bereits bewegt und eine Risikodebatte ist entstanden.

Wie ist es mit den Durchbrüchen bestellt? Alle Biologen und Biologinnen sind sich wohl darin einig, dass die Synthetische Biologie ein sehr großes Potenzial hat. Nur ist dies erst einmal ein *wissenschaftliches* Potenzial. Die Geschichte der Biologie der letzten Jahrzehnte – zum Beispiel seit Watson/Crick – ist eine Geschichte

---

<sup>19</sup> Vgl. DEEPEN 2009.

der großen Durchbrüche. Es ist atemberaubend, was in den letzten Jahrzehnten alles wissenschaftlich gelungen ist. Dennoch handelt es sich nur um ein *Potenzial* für Durchbrüche in der realen Welt, für technische und wirtschaftliche Durchbrüche. Die biologischen Durchbrüche implizieren nicht unbedingt, dass es auch in der Lebenswelt und im Alltag, in der Wirtschaft Durchbrüche geben wird, die unser Leben verändern. In dem Moment – nur als Beispiel –, als das menschliche Genom erforscht war, hat sich zunächst in der Behandlung von neurophysiologischen Krankheiten überhaupt nichts verändert. Meistens liegt viel Zeit zwischen dem wissenschaftlichen Durchbruch und der wirtschaftlichen Innovation, die man in Form von Systemen, Produkten oder Dienstleistungen kaufen, nutzen oder installieren kann. Dazwischen liegen viele Entscheidungen, die getroffen werden, und auch viel Raum zum Beispiel für Partizipation, für Regulierung und für gesellschaftliche Debatten.

Diese Zeiträume ermöglichen, Technikfolgen, Risiken und Missbrauchsgefahren zu erforschen und uns nach Maßgabe des Vorsorgeprinzips Schritt für Schritt diesen neuen Möglichkeiten zu nähern. Wir brauchen die Zeitspanne zwischen dem wissenschaftlichen Durchbruch und dem Gang in die Innovation, um Schritt für Schritt zu lernen, die neue Technologie einzuschätzen, zu bewerten und zu entscheiden, ob und in welcher Form wir sie wollen oder auch nicht wollen. Die Synthetische Biologie ist zu einem großen Teil im Stadium der Laborforschung. Sie wird unsere Gesellschaft und unser Leben nicht in wenigen Jahren umkrempeln. Gleichwohl ist es wichtig, sich früh mit Chancen und Risiken zu befassen, um Möglichkeiten der Gestaltung und Steuerung zu nutzen.

Die faktische Relevanz von Technovisionen wie zur Synthetischen Biologie ist es, die sie trotz vieler spekulativer Elemente zu einem hoch relevanten Analysegegenstand der Ethik und Technikfolgenabschätzung werden lässt. Denn bei aller Unklarheit über die Realisierungswahrscheinlichkeit von Technovisionen haben sie ohne Zweifel weitreichende Folgen in den gesellschaftlichen Diskussionen über wissenschaftlich-technischen Fortschritt und seine Ausgestaltung. Die hohen Erwartungen sind zu einem guten Teil Spekulation, ebenso die großen Befürchtungen. Wer recht hat, lässt sich im Moment nicht entscheiden. In der ethischen Analyse von Zukunftstechnologien ist darauf zu achten, dass wir uns nicht an bloßen Spekulationen festbeißen und diese bloßen Spekulationen zum Maßstab einer Ethikdebatte machen. Wir müssen die Plausibilität erforschen, mit der gewisse Spekulationen und Visionen vorgebracht werden. Sie müssen einen gewissen Realitätsgehalt aufweisen.

Ein „Vision Assessment“<sup>20</sup> in Erweiterung zu etablierten Ansätzen der Technikfolgenabschätzung würde Visionen als Kommunikationsmedium in ihren kognitiven und evaluativen Gehalten und Folgen untersuchen, um eine transparente und rationale Diskussion zu ermöglichen. Es wäre Baustein eines offenen, kognitiv

---

20 Vgl. Grunwald 2009.

informierten und normativ orientierten Dialoges, zum Beispiel zwischen Experten und Öffentlichkeit oder zwischen Naturwissenschaften, Forschungsförderung und Regulierung, der erforderlich ist, um die Innovationspotenziale moderner Technologien ausschöpfen zu können, ohne in eine fundamentalistisch verhärtete Risikodiskussion zu münden.

## Literatur

Boldt, J.; Müller, O.; Maio, G. (2009): Synthetische Biologie. Eine ethisch-philosophische Analyse. Bern.

DEEPEN (2009): Reconfiguring Responsibility. Deepening Debate on Nanotechnology. Online im Internet: <http://www.geography.dur.ac.uk/projects/deepen> [4.12.2012].

Deutsche Forschungsgemeinschaft; Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (Hg.) (2009): Synthetische Biologie. Stellungnahme. Weinheim.

Drexler, K. E. (1986): Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology. Oxford.

ETC-Group (2006): Open Letter: Global Coalition Sounds the Alarm on Synthetic Biology. Online im Internet: <http://www.etcgroup.org> [4.12.2012].

Grunwald, A. (2011): Synthetische Biologie. Verantwortungszuschreibung und Demokratie. In: Information Philosophie, 5/2011, 8–18.

Grunwald, A. (2009): Vision assessment supporting the governance of knowledge – the case of futuristic nanotechnology. In: Bechmann, G.; Gorokhov, V.; Stehr, N. (Hg.): The Social Integration of Science. Berlin, 147–170.

Grunwald, A. (2008): Auf dem Weg in eine nanotechnologische Zukunft. Philosophisch-ethische Fragen. Freiburg.

Grunwald, A. (2006): Die Ambivalenz technikzentrierter Visionen als Herausforderung für die Technikfolgenabschätzung. In: Petsche, H.-J.; Bartíková, M.; Kiepas, A. (Hg.): Erdacht, gemacht und in die Welt gestellt: Technik-Konzeptionen zwischen Risiko und Utopie. Berlin, 287–304.

Ilulissat Statement (2007): Synthesizing the Future. A Vision for the Convergence of Synthetic Biology and Nanotechnology. Online im Internet: [http://www.research.cornell.edu/KIC/images/pdfs/ilulissat\\_statement.pdf](http://www.research.cornell.edu/KIC/images/pdfs/ilulissat_statement.pdf) [4.12.2012].

Joy, B. (2000): Why the future does not need us. In: Wired, April 2000, 238–263.

Lösch, A. (2010): Visual dynamics: the defuturization of the popular “nano-discourse” as an effect of increasing economization. In: Kaiser, M. et al. (Hg.): Governing Future Technologies. Nanotechnology and the Rise of an Assessment Regime. Dordrecht et al., 89–108.

Maurer, S. M.; Lucas, K. V.; Terrel, S. (2006): From Understanding to Action: Community Based Options for Improving Safety and Security in Synthetic Biology. Berkeley.

Roco, M. C.; Bainbridge, W. S. (2002) (Hg.): Converging Technologies for Improving Human Performance. Arlington.

Schmidt, J. (2003): Zwischen Fakten und Fiktionen: NanoTechnoScience als Anfrage an prospektive Wissenschaftsbewertung und Technikfolgenabschätzung. In: Bender, W. (Hg.): Zukunftsorientierte Wissenschaft. Darmstadt, 207–220.

Schöne-Seifert, B.; Talbot, D.; Opolka, U. (Hg.) (2009): Neuro-Enhancement. Ethik vor neuen Herausforderungen. Paderborn.

Torgersen, H. (2009): Synthetic biology in society: learning from past experience? In: *Systems and Synthetic Biology*, 3 (1–4), 9–17.

von Schomberg, R.; Davies, S. (Hg.) (2010): *Understanding Public Debate on Nanotechnologies*.  
Brüssel.



ALFRED PÜHLER

# **Die Lebensfrage oder wie unterscheidet sich Synthetische Biologie vom künstlichen Leben?**

Die öffentliche Tagung des Deutschen Ethikrates mit dem Titel „Werkstatt Leben“ beschäftigte sich unter anderem mit der Lebensfrage. In dem vorliegenden Artikel greife ich diese Thematik auf und werde insbesondere die Unterschiede herausarbeiten, die die Synthetische Biologie vom künstlichen Leben trennen. Dazu soll zunächst die Entwicklung der Molekularbiologie bis hin zur Synthetischen Biologie aufgezeigt und der Beitrag der Synthetischen Biologie beim Start einer neuen Technikwissenschaft dargestellt werden. Schließlich wird auch der gesellschaftspolitische Umgang mit der Synthetischen Biologie erläutert.

## **Entwicklung der Molekularbiologie bis hin zur Synthetischen Biologie**

Die Molekularbiologie hat seit Aufklärung der DNA-Struktur durch James Watson und Francis Crick im Jahre 1953 einen ungeahnten Siegeszug angetreten. Bereits 1967 gelang es, den genetischen Code zu entziffern und ein Jahrzehnt später wurden Methoden beschrieben, die es ermöglichten, die Basensequenz beliebiger DNA-Fragmente zu bestimmen. Bis zur Genomsequenzierung dauerte es dann aber weitere zwei Jahrzehnte, da DNA-Sequenziermethoden erst automatisiert werden mussten. Ab dem Jahr 1995 konnten dann die ersten bakteriellen Genomsequenzen publiziert werden und 2003 wurde schließlich die erste menschliche Genomsequenz offengelegt. Damit war aber kein Schlusspunkt gesetzt, vielmehr wurde die

Sequenzieretechnologie im Weiteren sprunghaft verbessert, sodass zurzeit mit den Methoden des *next generation sequencing* individuelle menschliche Genome in einem Zuge mit vertretbarem finanziellen Aufwand sequenziert werden können. Auf dem molekulargenetischen Sektor hat es aber noch weitere Schlüsseltechnologien gegeben, die zum Siegeszug der Molekularbiologie beitrugen. Hier ist zunächst die chemische DNA-Synthese zu nennen, mit der es gelingt, kurze DNA-Fragmente vorgegebener Basensequenz mittels Schutzgruppenchemie im Reagenzglas zu synthetisieren, ein Verfahren, das in der Zwischenzeit vollautomatisch mit Synthesemaschinen betrieben wird. Man lernte auch, geeignete DNA-Einzelstränge zu längeren doppelsträngigen DNA-Molekülen zusammensetzen. Als weitere Schlüsseltechnologie ist die Gentechnik zu nennen, die erstmals 1972 an Bakterien demonstriert wurde. Bakterien konnten zunächst mit DNA-Fragmenten aus artverwandten, dann aber auch aus weit entfernten Organismen ausgestattet werden, wobei die eingeführte Fremd-DNA nicht nur stabil vererbt, sondern auch exprimiert wurde. In der Zwischenzeit wurden die gentechnischen Methoden variiert und heute kann ein Großteil aller lebenden Organismen gentechnisch verändert werden.

Die Etablierung der Genomforschung war nun für das umfangreiche Forschungsfeld der „omics“-Techniken von ausschlaggebender Bedeutung. Die „omics“-Techniken umfassen Genomik, Transkriptomik, Proteomik und Metabolomik, wobei diese Techniken – wie im Weiteren gezeigt werden soll – eine ganzheitliche Sichtweise der Molekularbiologie ermöglichen. Bei der Entwicklung der Molekularbiologie konzentrierte man sich zunächst auf einzelne Komponenten einer Zelle, zum Beispiel auf ein Gen, ein Transkript, ein Protein und ein Metabolit. Seit der Einführung der „omics“-Techniken gehört diese Einzelkomponentenanalyse der Vergangenheit an. Mittels Genomik können heute alle Gene eines Organismus parallel erfasst werden. Die Transkriptomik liefert Transkripte und identifiziert somit die aktiven Gene des analysierten Organismus. Im Weiteren können mit der Proteomik die meisten Proteine einer Zelle parallel nachgewiesen werden und schließlich liefert die Metabolomik Informationen über viele der in einer Zelle vorhandenen Metabolite oder Stoffwechselprodukte. Damit kommt man der ganzheitlichen Beschreibung der analysierten Zelle schon ziemlich nahe. An dieser Stelle ist noch zu vermerken, dass mit der Entwicklung der „omics“-Techniken die Bioinformatik an Bedeutung gewann. All die von den „omics“-Technologien gelieferten Daten lassen sich ohne Bioinformatik nicht mehr aufbereiten, speichern oder interpretieren. Die Bioinformatik hat sich damit zu einer Basistechnologie der Molekularbiologie entwickelt.

Die Entwicklung der Systembiologie kann nun als logische Folge der „omics“-Technologien gesehen werden. Es ist offensichtlich, dass die durch Genomik, Transkriptomik, Proteomik und Metabolomik gewonnenen Daten miteinander vernetzt sind und das System „lebende Zelle“ in vielen Einzelheiten abbilden. Diesen Zusammenhang aufzuklären und systematisch zu erfassen, ist nun die Aufgabe der

Systembiologie. Sie unternimmt den Versuch, das zelluläre Geschehen modellhaft zu beschreiben, um so experimentell erstellte „omics“-Daten miteinander in Beziehung zu setzen. Ein nächster logischer Schritt nach der Systembiologie ist dann der Synthetischen Biologie vorbehalten. Bisher wurden mit den „omics“-Technologien und der sich anschließenden Systembiologie Zellen beschrieben, wie man sie in der Natur vorfindet. Nun kommt die Synthetische Biologie ins Spiel, die durch genomisches Programmieren vorgegebene Zellen mit neuen Eigenschaften ausrüstet und damit synthetische Zellen schafft, die in der Natur so noch nicht existieren. Mittels „omics“-Technologien und Systembiologie wird dabei sichergestellt, dass synthetische Zellen den gewünschten Anforderungen gerecht werden.

## Synthetische Biologie auf dem Weg zur Technikwissenschaft

Zur Synthetischen Biologie haben bereits im Jahr 2009 die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die beiden Akademien acatech und Leopoldina eine gemeinsame Stellungnahme publiziert. Dieser Stellungnahme kann man eine Definition für das neue Forschungsgebiet Synthetische Biologie entnehmen, deren zentraler Satz wie folgt lautet:

„Sie [die Synthetische Biologie] führt ein weites Spektrum an naturwissenschaftlichen Disziplinen zusammen und verfolgt dabei ingenieurwissenschaftliche Prinzipien.“<sup>1</sup>

Biologie, Chemie, Physik und Mathematik gehören bekanntermaßen zu den naturwissenschaftlichen Disziplinen. Zu erläutern bleiben aber die ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien. Diese sind dafür verantwortlich, dass man der Synthetischen Biologie den Beginn einer neuen Technikwissenschaft zuschreibt. Diese Sichtweise setzt bei der Systembiologie an, die das zelluläre Geschehen durch mathematische Modelle beschreibt, die mittels Simulationsverfahren Vorhersagen ermöglichen. Dieses Modellieren und Simulieren stellt nun die charakteristischen Merkmale einer Technikwissenschaft dar. Man wird ein neu zu bauendes Auto oder Flugzeug auch zuerst als Computermodell entwerfen und dieses Modell dann über Simulationsvorgänge weiterentwickeln. Erst wenn der Entwicklungsstand den gewünschten Anforderungen entspricht, wird man daran gehen, einen Prototyp zu bauen, um diesen auf Fahr- beziehungsweise auf Flugeigenschaften zu testen. Vollständig analog verhält es sich mit der Synthetischen Biologie. Will man in einer synthetischen Zelle Eigenschaften aus unterschiedlichen Organismen vereinen, so entwirft man zunächst

---

<sup>1</sup> Deutsche Forschungsgemeinschaft/Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 2009, 8.

den genetischen Bauplan, der mittels Systembiologie modelliert werden kann. Das Modell der synthetischen Zelle erlaubt anschließend über Simulation das Austesten des neu zu schaffenden zellulären Geschehens. Ist das Ergebnis der Vorhersage zufriedenstellend, wird man die Blaupause in die Realität umsetzen und über genomisches Programmieren im Labor einen Prototyp herstellen. Ein solcher Prototyp erlaubt postwendend das experimentelle Überprüfen des neu geschaffenen zellulären Geschehens. Diese Vorgehensweise nutzt also das Repertoire der Ingenieurwissenschaften, sodass die Aussage berechtigt ist, dass mit der Synthetischen Biologie eine neue Technikwissenschaft aus der Taufe gehoben wird. Diese Sichtweise zeigt auch auf, welche Unterschiede zwischen Synthetischer Biologie und der früher etablierten Gentechnik bestehen. In der Gentechnik hat man zunächst Fremdgene in neue Wirtszellen geschleust und dann experimentell untersucht, welchen Einfluss diese Gene auf das zelluläre Geschehen der Wirtszelle haben. Die Synthetische Biologie geht hier wesentlich systematischer vor und untersucht im Vorfeld mittels Modellbildung und Simulation die Eigenschaften einer zu konstruierenden synthetischen Zelle erst im Detail, bevor diese als Prototyp verwirklicht wird.

Für die zukünftige Biotechnologie ist die Synthetische Biologie von ausschlaggebender Bedeutung, denn sie gibt den Entwicklungsgang vor, der in Zukunft bei der Konstruktion von Produktionsorganismen industrieller Produkte beschritten werden sollte. Dabei wird in der Biotechnologie das Konzept der Minimalzelle als Chassis für die Aufnahme von Genkassetten diskutiert. Eine Minimalzelle ist dabei mit einem deutlich reduzierten Genom ausgestattet, das ein zuverlässiges Wachstum im Fermenter erlaubt. Eine solche Minimalzelle kann dann mittels geeigneter Genkassetten zur Produktion von gewünschten industriellen Produkten genutzt werden. Da eine Minimalzelle im Fermenter unter stets gleichbleibenden Bedingungen kultiviert wird, benötigt sie keine genetische Ausstattung, um sich in Stresssituationen behaupten zu können. Eine Minimalzelle kann also auf die genetische Ausstattung zur Bewältigung von Stresssituationen verzichten, was gleichzeitig ein biologisches Sicherheitskonzept darstellt, da eine solche genetisch reduzierte Zelle unter Freilandbedingungen kaum überleben kann. Die Synthetische Biologie stellt damit für die industrielle Biotechnologie einen bedeutenden Entwicklungsschritt dar.

## Synthetische Biologie schafft kein künstliches Leben

Nach dieser umfangreichen Charakterisierung der Synthetischen Biologie können die Unterschiede zum künstlichen Leben aufgezeigt werden. Als Ansatzpunkt hierzu soll die mediale Geburtsstunde der Synthetischen Biologie herangezogen werden. Hierbei handelt es sich um die Publikation der Craig-Venter-Gruppe in der Zeitschrift *Science* vom Mai 2010 mit dem Titel „Creation of a Bacterial Cell Controlled

by a Chemically Synthesized Genome“.<sup>2</sup> Die Publikation spricht von der „Erschaffung einer Bakterienzelle“, eine Formulierung, die wahrscheinlich bewusst in die Nähe eines Schöpfungsaktes gerückt wurde. Der Craig-Venter-Gruppe ist ohne Zweifel ein aufsehenerregendes Experiment gelungen. Sie hat über chemische Synthese das Genom eines Bakteriums im Reagenzglas synthetisiert und dieses nach Transplantation in eine Zelle zum Leben erweckt. Die Craig-Venter-Gruppe hat damit eine synthetische Zelle erschaffen, die von einem chemisch synthetisierten Genom gesteuert wird. Handelt es sich dabei aber nun um künstliches Leben? Diese Frage muss man wohl verneinen, denn die Experimente greifen auf existierende biologische Gegebenheiten zurück. Zunächst verwendet die Gruppe praktisch die gesamte Genomsequenz eines Bakteriums, so wie diese über Genomsequenzierung bestimmt wurde. Die eingeführten Sequenzveränderungen sind marginal. Damit nutzt die Gruppe die vier Milliarden Jahre an Evolution, die das Bakterium bis zu seiner heutigen Erscheinungsform durchlaufen hat. Man könnte auch kurz konstatieren, dass die Craig-Venter-Gruppe von der Natur abgeschrieben hat. Auch bei der Transplantation greift die Gruppe auf eine biologische Struktur zurück, und zwar auf eine lebende Zelle, in der sich das chemisch synthetisierte Genom etablieren kann. Erneut spielt also eine der Natur entnommene biologische Struktur die entscheidende Rolle. Die Craig-Venter-Gruppe bedient sich also erneut eines Konstrukts der biologischen Evolution. Damit ist das Craig-Venter-Experiment aber weit vom künstlichen Leben entfernt, denn „künstliches Leben“ sollte nicht auf lebende Zellen zurückgreifen.

Was versteht man aber nun unter „künstlichem Leben“? In der anfangs bereits genannten Studie zur Synthetischen Biologie wird ausgeführt, dass sich die Protozellforschung mit „künstlichem Leben“ beschäftigt. Protozellen werden dabei wie folgt definiert:

„Sie sind im Labor konstruierte, selbst replizierende Nanosysteme, die viele Eigenschaften von lebenden Zellen aufweisen wie zum Beispiel das Vorhandensein eines mutierbaren Informationsspeichers, eines Stoffwechselsystems und einer umhüllenden Membran, die das System abgrenzt, dennoch für den Austausch von Energie und Materie mit der Umgebung selektiv offen ist.“<sup>3</sup>

Die Betonung in dieser Definition liegt in dem Begriff „im Labor konstruiert“, wobei ich noch einfügen würde: und nicht der lebendigen Natur entnommen. Aus den bis heute vorliegenden Publikationen über Protozellforschung wird deutlich, dass die Untersuchungsobjekte noch weit von der oben genannten Definition entfernt sind,

---

2 Gibson et al. 2009.

3 Deutsche Forschungsgemeinschaft/Deutsche Akademie der Technikwissenschaften/Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina 2009, 20.

sodass man zu der Aussage gelangt, dass künstliches Leben auch im Ansatzpunkt zurzeit nicht verwirklicht ist und sicher in absehbarer Zukunft auch nicht verwirklicht werden kann.

## Gesellschaftlicher Umgang mit Synthetischer Biologie

Aus der bisherigen Abhandlung wird deutlich, dass die Synthetische Biologie einen logischen Entwicklungsschritt im Bereich der Molekularbiologie darstellt. Es werden insbesondere Eigenschaften aus verschiedenen in der Natur vorhandenen Organismen zusammengebracht, um auf diese Weise neuartige synthetische Zellen zu konstruieren. Aufgrund des großen Anwendungspotenzials in der Biotechnologie ist es gerechtfertigt, nach Kontrollmaßnahmen zu fragen, die synthetische Zellen einer Risikoanalyse unterziehen. Vorbild hierfür sind Risikoanalysen, die für gentechnisch veränderte Organismen im deutschen Gentechnikgesetz verankert sind. Insbesondere ist die Frage zu klären, ob zunächst ein Forschungsmoratorium vereinbart werden muss, um über geeignete Maßnahmen nachzudenken, so wie es während der Asilomar-Konferenz im Jahre 1975 bei der Diskussion von gentechnisch veränderten Organismen geschehen ist. Die für die Synthetische Biologie relevanten Fragen werden in der bereits genannten Studie über die Synthetische Biologie beleuchtet. Die Einrichtung eines Moratoriums wird verneint, stattdessen wird die Schaffung einer Monitoringstelle gefordert, die die Entwicklung der Synthetischen Biologie im Auge behält.<sup>4</sup> Die Gründe hierfür ergeben sich aus den Konstrukten der Synthetischen Biologie. Wie in diesem Artikel dargestellt, werden in synthetischen Organismen im Wesentlichen Eigenschaften aus natürlich vorkommenden Organismen vereinigt. Ein synthetischer Organismus hat damit jeweils nahe natürliche Verwandte, die im Hinblick auf ihr Risikopotenzial bekannt sind. Synthetische Organismen können daher in Anlehnung an diese natürlich vorkommenden Verwandten einer Risikoanalyse unterzogen werden. Das deutsche Gentechnikgesetz ist hierfür zuständig, da es gentechnisch veränderte Organismen bewertet und damit auch synthetische Organismen handhaben kann. Im Gegensatz dazu kann das Gentechnikgesetz nicht für Organismen aus der Sparte „künstliches Leben“ herangezogen werden. Für künstliche Lebewesen gibt es laut Definition keine nahen Verwandten, sodass eine Risikoanalyse nicht durchgeführt werden kann und daher, dem Vorsorgeprinzip folgend, ein Forschungsmoratorium gerechtfertigt erscheint. Es ist deshalb angebracht, streng zwischen „Synthetischer Biologie“ und „künstlichem Leben“ zu unterscheiden.

Ich will noch anmerken, dass die Forderung aus der deutschen Studie „Synthetische Biologie“ zur Einrichtung einer Monitoringstelle von der Politik umgesetzt

---

4 Vgl. ebd., 38.

wurde. Die Stelle wurde im Herbst 2010 bei der Zentralen Kommission für die Biologische Sicherheit am Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz angesiedelt.

## Literatur

Deutsche Forschungsgemeinschaft; Deutsche Akademie der Technikwissenschaften; Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina (Hg.) (2009): Synthetische Biologie. Stellungnahme. Weinheim.

Gibson, D. G. et al. (2009): Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. In: Science, 329 (5987), 52–56.



## Das „Leben“ synthetischer Zellen

Der Titel „Synthetische Biologie“ steht für eine neue technowissenschaftliche Forschungsrichtung, die schon mit ihrem Namen zwei Gruppen von Fragen aufwirft. Eine Problematik wird gegenwärtig in den Medien viel debattiert. Sie bezieht sich auf den unüberhörbar provokativen Unterton in der Wortbildung: Können Biotechnologen tatsächlich Lebewesen künstlich herstellen? Können sie Leben schaffen, das ganze Leben eines Lebewesen, das heißt Lebendiges aus Leblosem nach ihren eigenen Plänen entstehen lassen? Und dann folgen meistens die unvermeidlichen moralischen Fragen: Dürfen die Menschen das? Und: Wie könnte man diese neue Form von Biotechnologie gesellschaftlich so kontrollieren, dass sie unschädlich bleibt, dass sie das Gute schafft und nicht vielmehr das Böse?

Eine zweite Problematik ist unschwer zu erkennen und ebenso wichtig. Sie kommt in den Blick, wenn wir uns daran erinnern, dass es doch zwischen Wissenschaft und Technik trotz ihrer unvermeidlichen Nähe einen Unterschied in der intentionalen Ausrichtung gibt. Wissenschaft will wissen, Technologie will können. Die Biologie hat sich darum bemüht, die Phänomene des Lebens auf der Erde zu beschreiben, im Hinblick auf Strukturen und Funktionen zu analysieren, die versteckten Strukturen zu entdecken, die Lebewesen in ihrer phylogenetischen Vielfalt zu systematisieren, die naturgeschichtliche Entstehung und die individuelle Entwicklung von lebendigen Körpern zu erklären. Dabei benutzt sie mannigfach Techniken im Labor, das heißt, sie experimentiert, misst, baut etwas, gebärdet sich im Labor wie die Biotechnologie oder sogar als Biotechnologie, aber ihre Zielrichtung bleibt dennoch darstellend, nicht herstellend. Erfolg hat in der Biologie als Wissenschaft, wer etwas

erkannt, entdeckt, gültig erklärt hat und so weiter. Die Biotechnologie auf der anderen Seite ist darum bemüht, in, mit und an Lebendigem nützliche Systeme zu schaffen (zum Beispiel Bioreaktoren für die Synthese von komplexen Chemikalien) und rationale Methoden zu entwickeln, wie man bestimmte Ziele (zum Beispiel die Heilung von Krankheiten) erreichen kann. Die Fortschritte der Biotechnologie, der Technik überhaupt, und die Erfahrungen mit der technologischen Umsetzung von Wissen wirken wiederum auf die Bereiche des Wissens zurück, weil sie zum Beispiel mit Elektronenmikroskopen neue Sichtbarkeiten schaffen, neue Experimentalsysteme erschließen, neue Formen von Experimenten möglich machen und so weiter. Erfolg mit den Biotechnologien hat aber gleichwohl derjenige, der etwas *kann*.<sup>1</sup> Die Biologie wäre deshalb, wenn sie nun „synthetisch“ arbeitet, wie dies der neue Name sagt, zu einer Technologie geworden. Sie würde ihr biologisches Wissensideal direkt *in Gestalt* von Technik verfolgen. Sie würde so das Leben nicht nur technikförmig<sup>2</sup> erklären, was sie schon länger tut, sondern sie würde nun selbst zur Technologie und würde Lebensprozesse gleichsam im Zuge ihrer technischen Herstellung erkennen. Sie würde die natürliche Programmierung durch die „Umprogrammierung“ von biologischen Systemen erlernen, wie es Haseloff und Ajioka in ihrem Definitionsversuch der Synthetischen Biologie von 2009 ausdrückten.<sup>3</sup> Die Plausibilität dieses Ansatzes gewinnt sich aus den Ingenieurwissenschaften, wo man die Funktionsprinzipien von Maschinen versteht, *indem* man diese baut und in ihrer Funktion beobachtet.

Die erste Problematik provoziert die öffentliche Wahrnehmung, weil sie auf die Sorge anspielt, dass Leben „machen“ bedeute, ihm die Aura der Lebendigkeit als natürlicher Unverfügbarkeit und Eigenständigkeit zu entreißen, das Leben gleichsam zu entzaubern und die technische Beherrschung der Biosphäre zu totalisieren. Die zweite Problematik provoziert, weil eine Naturwissenschaft nun öffentlich deklariert, dass sie zur Ingenieurskunst mutiert ist, und verspricht, neues Leben *als Maschinen* zu schaffen.

Ich möchte in diesem Beitrag aus den vielen Fragen, die damit aufgeworfen werden, einige herausgreifen und das Vorhaben der Synthetischen Biologie aus der Sicht

---

1 Ich bestreite damit keineswegs die Perspektive der *science and technology studies*, in der Wissenschaft und Technologie in ihren Interaktionen untersucht werden. Die Trennung von *science* und *technology* wäre deshalb künstlich, weil beide im Forschungsprozess und auch in der gesellschaftlichen Organisation der *life sciences* so stark ineinandergreifen. Das ist richtig. Insofern bietet sich der Begriff der „*technosciences*“ an (Wajcman 2008). Etwas nicht voneinander Trennbares muss deshalb aber noch nicht miteinander identisch sein, und darum geht es mir hier. Die in jüngerer Zeit häufig anzutreffenden wissenschaftlichen Publikationen nach dem Muster „Wissenschaftler haben mit Erfolg XY hergestellt“ (wobei XY etwa eine Stammzelllinie, ein Mensch-Tier-Mischembryo oder eine billigere Genomsequenzierungstechnik sein kann) bleiben von da aus betrachtet immer ein Amalgam aus zwei einander unterstützenden Komponenten: Wissen und Können. Dass sich Biowissenschaftler selbst, diesem Trend folgend, zunehmend an technischen (oder sogar wirtschaftlichen) Erfolgskriterien messen und messen lassen müssen, ist ein Phänomen, das ich hier nicht behandeln will.

2 Vgl. Maier/Zoglauer 1994.

3 Vgl. Haseloff/Ajioka 2009.

der philosophischen Biologie diskutieren. Es geht dabei um einige Fragen, die auch für die ethische Debatte wichtig sind.

## Welche ethischen Fragen stellen sich?

In der Ethik geht es nicht nur darum, menschliches Handeln zu verstehen und Verhalten zu beschreiben, sondern auch darum, es zu regulieren.<sup>4</sup> Es interessiert, was gut ist zu tun, was man besser bleiben lassen sollte, welche Pflichten bestehen, welche Rechte jemand mit guten Gründen vorbringen kann und so weiter. Aber wie kann man diese Fragen an eine neue, zukunftsweisende Entwicklung stellen, über die keine praktischen Erfahrungen vorliegen und die man nicht einmal in Umrissen kennt? In dieser Situation stehen wir stets vor der Versuchung, bereits im Voraus feststehende moralische Sinnrahmungen (*moral frames*) zu benutzen, also Fragen so zu stellen, wie man sie vermuten kann. In Bezug auf die Synthetische Biologie bieten sich dazu Geschichten an wie die vom Zauberlehrling, von Frankenstein oder die Legende des Golem. Diese Geschichten sind Repositorien für antizipierte moralische Problemverständnisse.

Dann wird die ethische Diskussion gemäß folgenden Linien geführt: Die synthetischen Wesen könnten gefährliche Monster werden, die man nicht mehr kontrollieren kann und die aus ihren Gefängnissen ausbrechen. Die Gesellschaft muss deshalb frühzeitig gewisse Verbote und Eingrenzungen schaffen und Kontrolle etablieren. Ich will die Bedeutung dieser Art von moralisierenden Fragen keineswegs herunterspielen, ganz im Gegenteil. Ich glaube auch, dass es eminent wichtig ist, nicht unbeachtet Gefahren zu schaffen, die Risiken, seien es ökologische oder soziale Risiken, frühzeitig zu erkennen. Zum Beispiel geht es um die Auswirkungen von klein- oder großflächigen Freisetzungen neuartiger, umprogrammierter, selbstreproduzierender Organismen oder um die Gefahr eines gezielten Missbrauchs der Synthetischen Biologie zu kriegerischen, kriminellen und anderen destruktiven Zwecken (*dual use*) oder auch um die schlichten Kumulierungseffekte der Nebenwirkungen an und für sich freundlicher Techniknutzung, wenn sie in großer Zahl weltweit erfolgt. Die Fragen, wie synthetische Zellen biotechnologisch, gesellschaftlich und ökologisch eingesetzt werden, sind für die Menschheit vielleicht sogar wichtiger (ich meine konsequenzenreicher) als die Frage, ob es erlaubt sei, Gott zu spielen. Es geht daher darum, gute *Governance*-Prozesse einzuleiten, die eine Synthetische Biologie kultivieren, welche für Menschen und für die Biosphäre zuträglich und vor allem nicht schädlich ist. Dafür ist frühzeitige Aufmerksamkeit und eine breite, interdisziplinäre und kritische Diskussion in der Öffentlichkeit nötig. Es braucht Aufsichts- und

---

4 Vgl. Sidgwick 1907, 1 f.

Kontrollstrukturen und es braucht sorgfältige, engagiert und qualitativ hochstehende, kulturell reflexive Begleitforschung über *ethical, legal, and social aspects* (ELSA).<sup>5</sup> Das ist unverzichtbar, weil nämlich die Selbstregulierung des Marktes diese Steuerung im Sinn der menschlichen und ökologischen Zuträglichkeit, das heißt im Sinn der allgemeinen Interessen, kaum von alleine leisten können. So etwas zu erwarten, wäre aufgrund der Erfahrungen mit bisherigen Techniken (zum Beispiel der Nutzung fossiler Energien) naiv.

Es ist instruktiv, bezüglich der ethischen Fragestellungen die Erfahrungen mit anderen emergenten Technologielinien, speziell aus der Gentechnologie und später der Nanotechnologie, auszuwerten. Die jeweils in der Kultur vorliegenden moralischen *frames* öffnen und strukturieren ein Feld *möglicher* ethischer Fragen, engen aber gleichzeitig den Fokus ein. Es gibt auch Fragen, die innerhalb dieser *frames* nicht gestellt werden. Welche ethischen Probleme aber entstehen werden, wenn die Synthetische Biologie in der Realität ankommt, wenn sie Einzug hält in die Lebenswelten, wenn sie vermarktet und vergesellschaftet wird, ist, von heute aus gesehen, sehr schwer abschätzbar. Wir können diese Probleme jedenfalls nicht erkennen, solange wir nur enthusiastische Visionen oder propagierte Ziele einer neuen Technikform kennen. Darauf hat Alfred Nordmann in Bezug auf die Nanowissenschaften aufmerksam gemacht<sup>6</sup>, wo frühzeitig spekulative Szenarien von fantastischen Mensch-Maschine-Hybriden und abenteuerliche Ideen zum *enhancement* der menschlichen Natur entworfen wurden, welche erwartungsgemäß über den Reflex der Entrüstung die moralische Debatte festlegten und die knappen Ressourcen der ethischen Arbeit in der Gesellschaft absorbierten.

Daraus ergibt sich ein Argument der Vorsicht gegenüber vorschnellen Moralisierungen in der Ethik. Moral ist der Bestand von Normen und Werten, die in der Gesellschaft vorliegen. Ethik ist nicht Moral, sondern die systematische Auseinandersetzung mit Moral. Es geht in der Ethik gerade darum, die richtigen, wichtigsten, relevanten Fragen zu finden, um sie adäquat stellen zu können. Wir sollten deshalb nicht so tun, als ob wir schon wüssten, welches die möglichen ethischen Probleme der Synthetischen Biologie sind, wenn wir nur ihren Namen kennen oder ein paar spekulative Visionen hören, sondern wir sollten aufmerksam bleiben dafür, welche Konflikte und Probleme sich in der Wirklichkeit ergeben werden. Das künstliche Leben wird ein gesellschaftliches Eigenleben entfalten, sowohl was die weiteren Innovationsprozesse betrifft als auch in Bezug auf seine Integration in die historischen Lebenswelten.

Wenn wir aus der Ethik heraus diese Freiheit und Autonomie in der Problemerkennung aufgeben oder verlieren, so wird sich die Ethik letztendlich im biotechnologischen Innovationsprozess vereinnahmen und benutzen lassen. Sie wird dann zur

---

<sup>5</sup> Vgl. Rehmann-Sutter 2011; Rehmann-Sutter/Scully 2010.

<sup>6</sup> Vgl. Nordmann 2007.

„Ethik vom Dienst“ für die Technologie, frei nach dem Muster: „Die Ethiker sollen sagen, was gegen die neue Technologie einzuwenden ist. Darauf muss man eine Antwort finden, dann ist die Ethikübung erledigt.“ Eine der Problematik angemessene Ethik der Biotechnologie kann keine solche Filterethik sein, die die schlechten Projekte herausfischt, zurückhält und die guten durchlässt. Dies wäre eine Ethik als Add-on-Technologie, keine Ethik als reflexive Auseinandersetzung und als kultureller Prozess.

Diese Filterethik ist nicht möglich, weil wir für die Herstellung des Ethikfilters die Prüfkriterien heute schon kennen müssten. Wenn man nicht weiß, wie man unterscheiden muss, kann man keinen Filter einsetzen. Ich gehe aber davon aus, dass wir angesichts einer emergenten Technologie *noch nicht wissen können*, welches die ethischen Fragen sind, die sich innerhalb der komplexen gesellschaftlichen, technischen und ökologischen Systeme und in den verschiedenen historischen und kulturellen Kontexten stellen werden. *Einige* können wir uns vielleicht schon vorstellen.

Es geht jedenfalls sicher nicht nur um die heute reichlich debattierte Frage, ob es dem Menschen erlaubt sein soll, künstliche Lebewesen zu schaffen. Das Gott-spielen-Argument wird schon deshalb nicht verfangen, weil die staatliche Regulierung in Demokratien an säkulare Argumente gebunden bleiben muss. Das Verbot, Gott zu spielen, im Zusammenhang von Synthetischer Biologie ist aber auch historisch naiv, weil es, wie Joachim Schummer gezeigt hat<sup>7</sup>, in früheren Jahrhunderten fast selbstverständlich war, dass „niedereres“ Leben (Würmer, Pilze und so weiter) jederzeit bei günstigen Bedingungen neu entstehen kann. Bakterien und Einzeller kannte man zwar noch nicht, bediente sich ihrer aber trotzdem. Entsprechende Rezepte, wie geeignete Bedingungen gestaltet werden können, um die gewünschten Wesen heranzuziehen und andere auszuschließen, waren weithin bekannt. Man nutzt heute noch solche Hausrezepte, etwa zur Herstellung von Essig aus Wein, Sauerteig aus Mehl oder von Alkohol aus Fruchtsäften – Prozesse, die auch ohne „Impfung“ stattfinden können. Wenn Speisen verderben, ist lästiges Leben im Spiel, das im Vorratsschrank scheinbar wie aus dem Nichts entsteht, zum Beispiel Schimmelpilze oder Mehlwürmer. Erst als die Vorstellung Fuß fasste, dass alles Leben auf der Erde in einen einzigen umfassenden und kontinuierlichen stammesgeschichtlichen Zusammenhang eingebunden ist und sich normalerweise nicht spontan bilden kann, konnten die Versuche von Wissenschaftlern, Leben künstlich herzustellen, als Problem wahrgenommen werden. Denn es wäre möglich, dass sich aus künstlichem niederen Leben auch wiederum höhere Formen entwickeln könnten. Damit würde eine zweite Schöpfung von Leben neben die erste, göttliche Schöpfung gestellt und dies wäre für den Menschen ungemütlich. Es wäre *Hybris*, Selbstüberschätzung, und als das eine gefährliche Angelegenheit.

---

7 Vgl. Schummer 2011.

## Zündstoff in der Definition

Einigen Zündstoff für eine vertiefende Diskussion findet man in den Definitionen von Synthetischer Biologie.

1) Betrachten wir die schon erwähnte Definition von Haseloff und Ajioka. Sie definieren die Synthetische Biologie so, dass in ihr ingenieurwissenschaftliche Prinzipien dazu verwendet werden, lebendige Systeme für nützliche Zwecke neu zu programmieren:

“Synthetic biology [...] seeks to employ engineering principles to reprogramme living systems.”<sup>8</sup>

Dies sei grundsätzlich auf zwei Arten möglich, indem entweder versucht wird, Zellen *de novo* zu synthetisieren oder indem natürlich vorkommende Zellen im Labor mehr oder weniger radikal umgebaut werden.

Diese Definition arbeitet mit dem Begriff der Reprogrammierung. Dieser Begriff mag vielleicht selbstverständlich scheinen; er ist es aber bei näherem Hinsehen nicht. Programmierung, das genetische Programm, Software, Hardware, genetische Instruktionen und ähnliche Begriffe fügen sich ein in eine Familie von Metaphern, die aus der Computerwelt stammen und seit den 1960er-Jahren übertragen wurden auf die Funktion der DNA im Organismus. Mit einem synthetischen (oder veränderten) Genom soll nun die Zelle dazu gebracht werden, gewünschte Eigenschaften auszubilden, so wie der Computer mit der eingesetzten Software dazu gebracht wird, das von den Nutzern gewünschte Verhalten an den Tag zu legen. Die DNA ist die Software, die Zellen sind die Hardware.

Metaphern wie diese sind keine neutralen didaktischen Hilfsmittel, um komplexe Zusammenhänge einfach zu erklären. Sie transportieren Bedeutungen zwischen verschiedenen Kontexten. Sie *deuten* den betrachteten Zusammenhang (den biotechnologischen Eingriff) mithilfe eines importierten Sinnzusammenhangs. Der Import von Metaphern verändert so das Verständnis der Zusammenhänge von Leben und Mensch. Die Metapher des Programmierens deutet diese Zusammenhänge und verändert sie auf der Sinnebene letztlich genauso, wie eine eingeführte Genomsequenz den Organismus auf der materiellen Ebene verändert.

Dieser Sinntransfer durch die Metapher der Programmierung ist hier deshalb nicht unproblematisch, weil die Idee, dass das Genom im Organismus wie ein genetisches Programm funktionierte, eine nicht selbstverständliche ontologische These, nämlich einen genetizistischen Reduktionismus, beinhaltet. Alles Wesentliche am Leben sei demnach die Information im Genom, während der Rest der Zelle nur ein

---

8 Vgl. Haseloff/Ajioka 2009, S389.

Instrument, eine Maschine sei, um die Serien von Instruktionen, die das genetische Programm ausmachen, in 4-D zu realisieren.<sup>9</sup> Craig Venter verwendete diese Metaphorik übrigens extensiv, als er kürzlich im Zusammenhang mit seinen bekannten Forschungen an synthetischen Mykoplasma-Bakterien erklärte:

„Wir haben herausgefunden, dass wir ganz eindeutig durch DNA-Software betriebene Informationsmaschinen sind. Diese Software wird ununterbrochen gelesen. Wenn man sie entfernt, stirbt die Zelle, und wenn man in sie neue Software einfügt, wie wir es mit dem synthetischen Chromosom getan haben, wird die Zelle sie sofort lesen und neue Proteine nach dem Code des neuen Chromosoms erzeugen. Die Zelle verwandelt sich so in eine neue Lebensform. Wir sehen also Leben als dynamischen Prozess, voll und ganz gesteuert vom Informationssystem.“<sup>10</sup>

Das stimmt so nicht. Wir haben keineswegs „herausgefunden“, dass wir durch DNA-Software betriebene Informationsmaschinen sind. Venter verwendet hier bewusst oder unbewusst eine Metapher als Interpretationsmuster, um seine eigenen Experimente sinnhaft zu deuten, unterschlägt aber, dass es sich um eine Interpretation handelt.

Wie die unüberhörbar polemische Spitze im Zitat leicht zu erkennen gibt, dass Menschen nur Informationsmaschinen seien und dass genau dies die Molekularbiologie ganz eindeutig herausgefunden habe, impliziert eine Abwertung der Körperlichkeit des Lebens zu einem bloßen Mittel zum Zweck. Was wir alltäglich naiv *meinen*, was wir seien, dass es uns nämlich ausmache, als bewegter und durchfühler Körper zu existieren, mit unseren mentalen Fähigkeiten die Welt wahrzunehmen und so weiter, alles, was biologisch zum Phänotyp gezählt wird, sei in Wirklichkeit nichts anderes als die Maschine, die mit ihren angeborenen genetischen Programmen funktioniert und durch diese angeleitet ist.

Die Genomforschung selbst ist aber gedanklich weiter gekommen und deutet heute das Zustandekommen und die Bedeutung von genetischer Information nicht mehr nach dem Modell des genetischen Programms, sondern ganz deutlich *kontextuell*.<sup>11</sup> Zum kontextuellen Ansatz ist sie durch eine Reihe von zuerst überraschenden Entdeckungen gedrängt worden, die dem Modell des genetischen Programms widersprechen oder sich nur mit aufwendigen theoretischen Hilfskonstruktionen in dieses einbauen ließen. Ein Beispiel ist das alternative Spleißen von Genen, das einem Abschnitt der DNA je nach Kontext eine andere Funktion gibt und es uns Menschen erlaubt, mit etwa fünfmal weniger Genen auszukommen, als es in unserem Körper Proteine gibt. Dieselben Proteine bekommen zudem manchmal in unterschiedlichen

9 Vgl. dazu kritisch Keller 1995; Rehmann-Sutter 2005; Neumann-Held/Rehmann-Sutter 2006; Rehmann-Sutter 2010.

10 Venter 2010.

11 Vgl. Kaneko 2006; Oyama 2000; Keller 1995; Neumann-Held/Rehmann-Sutter 2006; Rehmann-Sutter 2005.

Entwicklungsstadien, an unterschiedlichen Orten im sich entwickelnden, multizellulären Organismus unterschiedliche Signalfunktionen. Zum Teil wird sogar die mRNA nach ihrer Synthese im Zytoplasma nochmals in ihrer Sequenz verändert (*mRNA editing*). Die Regulierung der Genaktivität ist zudem viel komplizierter, als man zunächst gedacht hatte, und bezieht eine Vielzahl intra- und extragenetischer und andere zelluläre Faktoren mit ein. Was ein Steuergen ist (etwa ein *master control gene*)<sup>12</sup>, ist nicht in der Sequenzinformation schon festgelegt, sondern diese Rolle *ergibt sich* im Rahmen von interaktiven Prozessen. Entwicklungs- und Systembiologen beschreiben heute die Rolle von Steuergenen eher so wie die Rolle eines Präsidenten in einer Versammlung: nämlich durch Interaktion und Kommunikation innerhalb dieser Versammlung und mit der Umgebung, durch die diese Person und keine andere ihre leitende Rolle erhält und behalten kann. Es liegt nicht in ihrem vorausgesetzten Menschsein, dass zum Beispiel Elisabeth Königin von England wurde und die mit ihrem Amt gegebene, verfassungsmäßig begrenzte Steuerungsrolle hat. Es ist vielmehr ein Ergebnis dieser gesellschaftlichen Vorgaben und Interaktionen, *dass* dies so funktioniert. Das genetische Programm ist heute eine überholte Theorie der Genetik, eher ein Mythos als eine unvoreingenommene Explikation ihrer Bedeutung. Die Definition der Synthetischen Biologie als das „Reprogrammieren von Zellen“ holt nun diese wissenschaftlich überholte, aber nach wie vor populäre Vorstellung wieder aus der Mottenkiste. Wenn ich die Bedeutung des Genoms im Kontext des Organismus „systemisch“ deute, bestreite ich natürlich nicht, dass das Umschreiben der Genomsequenz die Eigenschaften einer Zelle radikal verändern kann. Die Beobachter können sogar den *Eindruck* gewinnen, man habe damit die Zelle reprogrammiert. Dabei sehen sie aber bloß einen *Effekt* der veränderten DNA. Der beobachtete Effekt in den Zellen deutet sich nicht von selbst als deren Umprogrammierung.

2) Ein weiteres Problem, den Begriff der Synthetischen Biologie zu erklären, bezieht sich auf den *Umfang* der Definition. Die Ethiker Douglas und Savulescu behaupteten, allerdings ohne dafür überzeugende Gründe angeben zu können, dass die *De-novo*-Strategie offensichtlich wesentlich mehr gesellschaftliche Kontroversen entfachen und größere Risiken beinhalten könne als die Umbau-Strategie, die sich doch eher an die bisherige Biotechnologiedebatte fügt. Sie schlagen deshalb für die ethische Analyse eine auf die *De-novo*-Strategie eingeschränkte Definition des neuen Feldes der Synthetischen Biologie vor:

“Synthetic biology is that branch of research and development that applies rational design principles to produce novel biological systems, organisms, or components de novo, or that contributes in a direct and significant way to their production through the novel development of materials, technologies or processes.”<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Vgl. Gehring 1998.

<sup>13</sup> Douglas/Savulescu 2010, 687.

Ich stimme dieser Intuition in einem Punkt zu. Nämlich darin, dass die *De-novo*-Ansätze das Feld möglicher Anwendungen noch einmal wesentlich erweitern können und dass sie deshalb in der Fantasie des Publikums mehr Faszination ausstrahlen als die Umbauansätze. Denn bei Letzteren wird „Leben“ lediglich aus der Natur genommen und durch Umkonstruktion dazu gebracht, eine gewünschte technologische Funktion zu erfüllen, die sie von selbst nicht erfüllt. Die *De-novo*-Ansätze hingegen wecken die Vorstellung, dass Leben ganz neu erschaffen wird, das vorher in der Natur nicht vorhanden war. Abgesehen von dieser wahrlich atemberaubenden Vorstellung, auf die ich in diesem Beitrag sogleich näher eingehen möchte, kann ich aber nicht *sehen*, weshalb für die ethische Diskussion die *De-novo*-Ansätze so sehr in den Vordergrund gestellt werden müssen. Denn wie können wir wissen, wie *a priori* entscheiden, ob die Missbrauchsmöglichkeiten und die ökologischen Risiken bei *De-novo*-Organismen größer sind? Es kommt auf die konkreten Eigenschaften der hergestellten Systeme an und nicht auf deren Konstruktionsmethoden. *Wenn* es darum geht, Technikfolgenforschung und -bewertung zu betreiben und gute Formen der Techniksteuerung (*governance*) zu finden, ergibt es deshalb wenig Sinn, die Synthetische Biologie eng als „völlig neues“ Feld zu definieren und damit die Zusammenhänge mit bisherigen biotechnologischen Erfahrungen auszublenden.

## Venters „synthetische“ Mykoplasma-Zellen

Art Caplan, Bioethiker in Philadelphia, stellte nach Craig Venters Erfolg von 2010 in einem Kommentar in der Zeitschrift *Nature* fest, jetzt sei der Vitalismus endgültig widerlegt. Endlich sei nun klar geworden, dass es in den Lebewesen zwischen den molekularen Strukturen und den biochemischen Prozessen keine unauflösbaren Mysterien gibt. Es gibt keinen *élan vital* Henri Bergsons, keine *Entelechie* Hans Drieschs und keine im Körper residierende *Seele* der Religionen, ja gar nichts physikalisch-chemisch Unerklärliches. Wenn man ein Lebewesen künstlich erschaffen kann, sei nun bewiesen, dass es restlos materialistisch erklärbar ist:

“Venter and his colleagues have shown that the material world can be manipulated to produce what we recognize as life. [...] Venter’s achievement would seem to extinguish the argument that life requires a special force or power to exist. In my view, this makes it one of the most important scientific achievements in the history of mankind.”<sup>14</sup>

Es gibt zwei Ebenen, auf denen diese Diagnose überprüft werden muss. Die erste Ebene ist die Darstellung des betreffenden Experiments. Die Interpretation, die

---

<sup>14</sup> Caplan 2010.

Caplan gibt („shown that the material world can be manipulated to produce what we recognize as life“), steht im Kontrast zur Beschreibung des Experiments, wie sie Venters Gruppe selbst veröffentlichte.<sup>15</sup> Die Synthese des neuen Bakteriums beinhaltet nämlich nach eigenen Aussagen der Forschungsgruppe (i) eine aus der Natur genommene Genomsequenz von *Mycoplasma mycoides*, die sequenziert, modifiziert und synthetisch kopiert wurde, (ii) eine entkernte, natürlich-lebendige Zelle von *Mycoplasma capriolum*, in die hinein das synthetische Chromosom transplantiert wurde, und (iii) natürlich-lebendige Hefezellen, um synthetisierte Oligonucleotide zusammenzufügen. Das „Künstliche“ in Venters Experiment beschränkt sich darauf, dass die Sequenz des Genoms auf einem Computer rekonstruiert und verändert wurde. DNA-Synthesizer haben sodann Oligonucleotide produziert, worauf diese unter Verwendung der Hefezellen zusammengefügt wurden. Das synthetische Genom wurde künstlich in ein entkerntes Bakterium eingebracht und es funktionierte in diesem Kontext. Die Zellen teilten sich.

Es ist deshalb nicht ganz leicht, überzeugende Kriterien von „Künstlichkeit“ für solche Experimente der Synthetischen Biologie anzugeben. Ist künstliches Leben

- » kopiertes Leben (nach natürlichem Vorbild einer lebenden Zelle),
- » abgeleitetes Leben (durch Veränderung einer lebenden Zelle) oder
- » spontan entstehendes Leben (wenn man im Labor die Bedingungen für Leben, das heißt die Strukturen einer Zelle, günstig genug bauen kann)?

In allen drei Fällen wäre das Leben nicht wirklich künstlich. Oder reicht es sogar aus, dass die Komponenten durch Labormanipulation nach fast ausschließlich natürlichem Vorbild zusammengesetzt worden sind, wenn auch natürlich lebendige Zellen verwendet werden? Diese Idee entspricht der Definition von „synthetisch“ in der Publikation der Venter-Gruppe: Wenn das Genom synthetisch ist, ist die ganze Zelle synthetisch, auch wenn die anderen Komponenten der Zelle nicht synthetisch hergestellt sind.<sup>16</sup> Diese Definition von „synthetisch“ wird durch Venters Mykoplasma-Zellen von 2010 erfüllt. Die Definition ist aber angreifbar, weil sie auf einem reduktionistischen Genetizismus beruht. Deshalb erscheint sie mir unplausibel. Sie setzt voraus: Sofern nur das Genom künstlich ist, ist nach wenigen Generationen auch die gesamte Zelle künstlich, weil alle Zellbestandteile durch das synthetische Genom gebildet wurden. Der Rest zählt nicht. Der *zelluläre Lebensprozess* (Form, Struktur, Bewegung), der kontinuierlich weiterläuft und nicht neu erschaffen wird, würde dabei einfach ignoriert.

Die zweite Ebene, auf der Caplans Aussage geprüft werden muss, ist die philosophische. Gesetzt, dieses Experiment, das sich Caplan offenbar vorstellt (das aber die

---

<sup>15</sup> Vgl. Gibson et al. 2010.

<sup>16</sup> Vgl. ebd.

Venter-Gruppe tatsächlich gar nicht durchführte), würde tatsächlich einmal gelingen. Dann wäre gezeigt, dass es möglich ist, aus unbelebter Materie durch eine geschickte Anordnung die Bedingungen zu schaffen, aus denen ein materielles System zu leben beginnt. Dies müsste dann als eine hinreichend vollständige *De-novo*-Synthese von Leben gelten. Welche Situation wäre dann für die philosophische Biologie eingetreten?

Diese Frage ist komplexer, als Caplan in seiner These zugibt. Er hat in einem Punkt recht, dass nämlich ein Vitalismus im Sinne der These, dass Leben durch eine physikalisch nicht erklärbare Lebenskraft geschaffen wird, dann ziemlich unplausibel würde. Es wäre zwar *im Prinzip* immer noch möglich zu postulieren, dass ein kleiner unsichtbarer, durch alle Messanordnungen unerkennbarer Dämon eine solche Lebenskraft in die Petrischalen eingeführt hätte. Aber dies wäre dann nur noch eine bloße Geisterhypothese, um den Glauben an die Lebenskraft zu retten, und eben genauso plausibel, wie es Geisterhypothesen sein können.

In einem anderen Punkt muss man Caplans These aber eingrenzen, selbst wenn „sein“ Experiment tatsächlich gelungen wäre. Die Lebendigkeit *kann* immer noch eine eigenständige Qualität sein: eine qualitative Differenz zum Nichtlebendigen, die *entsteht*, wenn ein Organismus materiell geeignet zusammengesetzt wird. Um dies anzunehmen, brauchen wir nicht im Detail zu verstehen, wie die Emergenz von Leben zustande kommt. Die Lebendigkeit als Besonderheit der lebendigen Systeme ist durch die Möglichkeit der Synthese von lebendigen Systemen aus nicht lebendigen Bestandteilen nicht wegerklärt. Es *kann* damit nicht wegerklärt werden.

## Leben ist ein Anerkennungsbegriff

Was beinhaltet dann aber dieser Begriff „Leben“, der im Rahmen des naturwissenschaftlichen Objektivitätsideals als emergente Eigenschaft materieller Systeme zu verteidigen wäre? Das ist eine grundlegende und theoretisch anspruchsvolle Frage. Hier nur ein paar Andeutungen.

1) „Leben“ ist kein streng naturwissenschaftlicher Begriff. Deshalb kommt er in der heutigen Biologie eigentlich nur noch zur Abgrenzung des Gegenstandsfeldes der Biologie und der *life sciences* vor. Ansonsten spricht man lieber von der Funktion biologischer Systeme, von Organismen, Zellen und dergleichen. Damit etwas zum Lebendigen zählt, muss es bestimmte Bedingungen erfüllen. Meistens gibt man Listen von objektiv testbaren Kriterien an, zum Beispiel Metabolismus, selbstständige Replikation, Reproduktion der Struktur mit gewissen Variationen, Irritabilität.<sup>17</sup> Daraus resultieren verschiedene Varianten einer extensionalen Definition von Leben,

<sup>17</sup> Vgl. Luisi 1998.

das heißt einer Definition, die den Umfang des Bereichs des Lebendigen bestimmt. Sie sagt aber nicht, was „Leben“ *ist*. Dazu müsste keine extensionale, sondern eine *intensionale* Definition angegeben werden. Das beinhaltet zu sagen, was wir *meinen*, wenn wir sagen, dass etwas „lebt“.

Eine intensionale Definition muss mit einbeziehen, wie wir als wahrnehmende Subjekte in die Gegenwart von Lebewesen geraten können. Wir können mit anderen Worten eine intensionale Definition von Leben nur finden, wenn wir davon ausgehen, dass wir als selbst lebende Wesen am Leben immer schon teilnehmen und aus der Mitte der Biosphäre als teilnehmende Beobachter von Leben sprechen. Wenn wir die Lebendigkeit mit den von uns beobachteten Lebewesen nicht teilen würden, kämen wir kaum auf die Idee, etwas als „Leben“ zu beschreiben. Die Vorstellung, als rein geistige Wesen zu beobachten, ist allerdings absurd, weil es fragwürdig ist, was wir dann überhaupt sein könnten. Wir sind eben selbst lebende Wesen, die das Phänomen Leben am eigenen Leib kennen. Und das ist philosophisch genau unsere Chance: *Deshalb* stellen wir die Frage nach dem Leben.

2) Das Leben ist deshalb eigentlich kein naturwissenschaftlicher, sondern ein *lebensweltlicher* Begriff. Wir orientieren uns selbst in unserer Welt mithilfe eines Begriffs von Leben und Nichtlebendigem. Wir benötigen diesen Begriff und gebrauchen ihn alltäglich, wenn wir etwa Hunde und Haushaltsmaschinen voneinander unterscheiden. Wir kennen Leben als Phänomen in doppelter Gestalt, einerseits als unser leibliches Eigenleben und andererseits als anderes Leben. Das Leben von Mikroben gehört zum anderen Leben. Die Aufgabe ist damit für die Philosophie anders gestellt, als sie für die Biologie gestellt ist. Die Philosophie muss untersuchen, was das Phänomen der Lebendigkeit ausmacht als uns erscheinende, besondere Seinsqualität, in der doppelten Stellung des Selbstseins und des Seins von anderen Wesen.<sup>18</sup> Die Philosophie muss klären, was es ausmacht, dass uns Leben überhaupt erscheinen kann. Diesen phänomenologischen Begriff des Lebens kann man dann auf die biologisch als „lebendig“ definierten Systeme beziehen.

3) Weil es eine andere *Beziehung* ist, die uns mit einer Maschine oder mit einem Lebewesen verbindet, ist Leben nicht nur ein Begriff, der einen Gegenstand beschreibt, sondern ein Begriff, der eine Anerkennung zum Ausdruck bringt: die Anerkennung, die darin steckt, dass in dem Wesen, das wir als „lebendig“ sehen, Lebendigkeit ist. Das Lebewesen ist *mehr* als tot oder inert. Diese Anerkennung hat auch eine Dimension der Wertigkeit. Lebewesen sind für uns in einem bestimmten Sinn etwas Wertvolles. Leben ist deshalb als Anerkennungsbegriff ein ethischer Begriff. Er räumt dem anderen Leben einen Raum eigener Sinnzusammenhänge ein, in dem seine Prozesse nicht nur Funktionen sind, sondern in sich selbst sinnvolle gelebte Gegenwart.

---

<sup>18</sup> Thesen dazu sind ausgearbeitet in Rehmann-Sutter 1996; 2009 und 2013.

Die entscheidende Frage für die Ethik der Beziehung zu anderem Leben ist deshalb nicht die seiner Natürlichkeit oder Künstlichkeit, sondern die der Anerkennung des anderen Lebens als ein anderes Zentrum von Spontaneität, als Sphäre, die eine eigene Gegenwart hat und als in sich selbst sinnhafter Prozess einen eigenen Sinnraum entfaltet. Ich habe diese Struktur „organische Praxis“ genannt. Mit „Lebendigkeit“ meinen wir solche Erfahrungen: Etwas ist da, das als sein eigenes Zentrum in der Welt präsent ist, eine eigene (Um-)Welt hat, innerhalb eines Lebenszyklus altert, für das die Zeit „dauert“. Die Wahrnehmung, mit der wir diesem Leben gegenüberstehen, ist dabei selbst ein Teil unseres eigenen Lebens. Wir müssen dieses eigene Leben für die Wahrnehmung von anderem Leben deshalb immer voraussetzen.

Eine Maschine lebt nicht. Wenn etwas lebt, *ist* es keine Maschine. Lebewesen, auch wir Menschen, können aber *wie* Maschinen analysiert und erklärt werden, nämlich so, wie dies die Lebenswissenschaften seit dem 19. Jahrhundert tun: als Struktur und Funktion von physikalisch-chemisch bestimmbareren Teilen und ineinander verschachtelten Prozessen. Eine erfolgreiche Synthese von lebenden Systemen würde an dieser Grundsituation nichts verändern.

## Literatur

- Caplan, A. (2010): The end of vitalism. In: *Nature*, 465 (7297), 423.
- Douglas, T.; Savulescu, J. (2010): Synthetic biology and the ethics of knowledge. In: *Journal of Medical Ethics*, 36 (11), 687–693.
- Gehring, W. (1998): *Master Control Genes in Development and Evolution. The Homeobox Story*. New Haven.
- Gibson, D. G. et al. (2010): Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. In: *Science*, 329 (5987), 52–56.
- Haseloff, J.; Ajioka, J. (2009): Synthetic biology: history, challenges and prospects. In: *Journal of the Royal Society Interface*, 6 (Supplement 4), S389–S391.
- Kaneko, K. (2006): *An Introduction to Complex Systems Biology*. Berlin; Heidelberg.
- Keller, E. F. (1995): *Refiguring Life. Metaphors of Twentieth-Century Biology*. New York.
- Luisi, P. L. (1998): About various definitions of life. In: *Origins of Life and the Evolution of the Biosphere*, 28 (4–6), 613–622.
- Maier, W.; Zoglauer, T. (Hg.) (1994): *Technomorphe Organismuskonzepte. Modellübertragungen zwischen Biologie und Technik*. Stuttgart.
- Neumann-Held, E. M.; Rehmann-Sutter, C. (Hg.) (2006): *Genes in Development. Re-Reading the Molecular Paradigm*. Durham.
- Nordmann, A. (2007): If and then. A critique of speculative nano-ethics. In: *Nanoethics*, 1 (1), 31–46.
- Oyama, S. (2000): *The Ontogeny of Information. Developmental Systems and Evolution*. Durham.
- Rehmann-Sutter, C. (2013): How do we see that something is living? Synthetic creatures and phenomenology of perception. In: *Worldviews*, 17 (1), 9–24.

Rehmann-Sutter, C. (2011): Gesellschaftliche, rechtliche und ethische Implikationen der Biomedizin. Zu der Rolle und den Aufgaben von ELSI-Begleitforschung. In: Dickel, S.; Franzen, M.; Kehl, C. (Hg.): Herausforderung Biomedizin. Gesellschaftliche Deutung und soziale Praxis. Bielefeld, 49–66.

Rehmann-Sutter, C. (2010): Genes – cells – interpretations. What hermeneutics can add to genetics and to bioethics. In: Pfeleiderer, G.; Brahier, G.; Lindpaintner, K. (Hg.): Genethics and Religion. Basel, 12–27.

Rehmann-Sutter, C. (2009): Lebewesen als Sphären der Aktivität. Thesen zur Interpretation der molekularen Genetik in einer praxisorientierten Naturphilosophie. In: Kummer, C. (Hg.): Was ist Naturphilosophie und was kann sie leisten? Freiburg; München, 127–150.

Rehmann-Sutter, C. (2005): Zwischen den Molekülen. Beiträge zur Philosophie der Genetik. Tübingen.

Rehmann-Sutter, C. (1996): Leben beschreiben. Über Handlungszusammenhänge in der Biologie. Würzburg.

Rehmann-Sutter, C.; Scully, J. L. (2010): Which ethics for (of) the nanotechnologies? In: Kaiser, M. et al. (Hg.): Governing Future Technologies. Nanotechnologies and the Rise of an Assessment Regime. Berlin, 233–253.

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

Sidgwick, H. (1907): The Methods of Ethics. London.

Venter, C. (2010): Wir wollen die Grippe beherrschen. Praktische Folgen des synthetischen Chromosoms: Ein Gespräch mit Craig Venter. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 25.5.2010, Nr. 118, S. 31.

Wajcman, J. (2008): Emergent technosciences. In: Edward, J. et al. (Hg.): The Handbook of Science and Technology Studies. Cambridge, 813–816.

JOACHIM BOLDT

# Herstellen, verändern, erschaffen – die Synthetische Biologie als prometheische Biotechnologie

Vor kaum zehn Jahren erst begann der Begriff „Synthetische Biologie“ bei der Beschreibung aktueller molekularbiologischer und biotechnologischer Forschungsansätze eine größere Rolle zu spielen. 2004 fand am *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) in den USA die Fachkonferenz „Synthetic Biology 1.0“ statt, ein Jahr später erschienen in *Nature* und anderen wissenschaftlichen Zeitschriften programmatische Aufsätze zu diesem Begriff.<sup>1</sup> Inzwischen ist unter diesem Label eine neue Disziplin entstanden, die vielfältige eigene Konferenzen veranstaltet, die Biologiestudierenden in Lehrmodulen vorgestellt und nahegebracht wird und auf die hin Förderprogramme ausgeschrieben werden.

Begleitet wird diese junge Disziplin seit ihren Anfängen von einer Diskussion darüber, ob und in welcher Hinsicht sie sich von anderen Forschungsansätzen in der molekularen Biologie und der Biotechnologie unterscheidet. Denjenigen Stimmen zum Trotz, die vermuten, dass hier lediglich ein neues Label erfunden wurde, um Forschungsgelder einwerben und Forschungsergebnisse vermarkten zu können, lassen sich einige zentrale Charakteristika des Forschungsfeldes benennen, die es signifikant von bisher bekannten Ansätzen unterscheiden. Diese Charakteristika sind nicht nur für die Bestandsaufnahme dessen, woran geforscht wird, von Interesse, sondern von ihnen ausgehend ergibt sich auch ein Bild der ethischen Herausforderungen, die mit der Synthetischen Biologie einhergehen.

---

<sup>1</sup> Vgl. Endy 2005; Knight 2005.

## Top-down: Ingenieurwissenschaft in der Biotechnologie

An erster Stelle der zentralen Charakteristika steht bei der Synthetischen Biologie die Übertragung ingenieurwissenschaftlicher Paradigmen auf das Gebiet der Biotechnologie, die sich nicht nur an den Zielsetzungen und der Methodik der Forschungsgruppen zeigt, sondern auch am fachlichen Hintergrund vieler der beteiligten Forschenden. Standardisierung und Modularisierung sind die Schlagworte, die für diese Tendenz stehen. Das Ziel ist, DNA-Abschnitte in Bezug auf die von ihnen codierten Eigenschaften zu modularisieren, die Module standardisiert zu beschreiben und diese Informationen in Datenbanken abzulegen, so dass mithilfe der Informationen aus dieser BioBricks-Datenbank Wunschorganismen frei zusammengesetzt werden können. „Rationales Design“ ist das Stichwort, unter dem dieser Ansatz steht.

Der bekannte, vom MIT veranstaltete Wettbewerb mit dem Namen „international Genetically Engineered Machine Competition“ (iGEM) lebt von dieser Idee. Studentische Teams aus Nord- und Südamerika, Asien und Europa entwickeln Module für die BioBricks-Datenbank und nutzen sie, um Bakterien mit neuen und überraschenden Eigenschaften, wie zum Beispiel der Fähigkeit, bei Lichteinfall grün zu fluoreszieren oder nach Banane zu riechen, auszustatten.

Mit großer Aufmerksamkeit verfolgt wird daneben das Forschungsprogramm des *J. Craig Venter Institute* (JCVI) in den USA, vorangetrieben von Craig Venter, der sich nach seinem Einsatz bei der Sequenzierung des menschlichen Genoms der Synthetischen Biologie zugewandt hat. Ziel der Gruppe am JCVI ist es, das Genom eines Bakteriums so zu verkürzen, dass nur die Gene zurückbleiben, die für das Überleben und die Fortpflanzung des Organismus zwingend notwendig sind. Ein solcher Organismus mit „Minimalgenom“ könne dann als „Plattform“ dienen, auf die beliebige andere DNA-Sequenzen nach Wunsch aufgesetzt werden sollen, so die Forschungsvision. Im Jahr 2010 gelang es der Gruppe im Rahmen dieser Bemühungen, ein komplettes bakterielles Genom zu synthetisieren (also in einer Synthetisiermaschine aus den Grundchemikalien der DNA herzustellen), dieses synthetische Genom in eine bakterielle Zelle zu implantieren und zu dokumentieren, dass die implantierte DNA den Stoffwechsel des Bakteriums bestimmte.<sup>2</sup> Dieses Ergebnis ist als *proof of principle* für die Durchführbarkeit des Forschungsprogramms des JCVI verstanden worden. Mit den Metaphern der Informationstechnologie ausgedrückt, ist gezeigt worden, dass es prinzipiell möglich ist, einfache Lebensformen frei zu reprogrammieren.<sup>3</sup>

Beide Forschungsprogramme, Minimalzelle und BioBricks, werden auch als „Top-down-Ansätze“ bezeichnet, weil sie an und in lebenden Zellen arbeiten. Bei diesen Ansätzen geht es, zusammenfassend gesagt, darum, einzellige Organismen als

<sup>2</sup> Vgl. Gibson et al. 2010.

<sup>3</sup> „[...] the JCVI team demonstrated they could *arbitrarily reprogram* simple forms of life“ (Bedau 2011, 30).

Produkte mit genau solchen Eigenschaften herstellen zu können, wie sie für die Umsetzung menschlicher Zwecke erforderlich sind. Das Ideal ist die softwarebasierte Planung eines Wunschorganismus inklusive der Auswahl und Synthese geeigneter DNA-Module und die Implantierung der DNA-Sequenzen beziehungsweise des Genoms in einen geeigneten Basisorganismus.

Zwei Kennzeichen unterscheiden die Synthetische Biologie so zum Beispiel von der klassischen Gentechnik: Die Synthetische Biologie ist im Unterschied zur Gentechnik am Paradigma des ingenieurwissenschaftlich-technischen Herstellens orientiert und sie verfügt im Vergleich zur Gentechnik über eine wesentlich erhöhte Eingriffstiefe in den zu gestaltenden Organismus. Dies resultiert in der Möglichkeit, einzellige Organismen zu konstruieren, bei denen nicht mehr ein einzelner Spender- und ein Wirtsorganismus identifiziert werden können, weil erstens der Wirtsorganismus durch die implantierte DNA so weitgehend verändert werden kann, dass er nach der Implantierung kaum noch genetische Gemeinsamkeiten mit der ursprünglichen Wirts-DNA hat, und weil zweitens die implantierten DNA-Sequenzen selbst von ganz unterschiedlichen Organismen stammen und für den anvisierten Zweck umfassend angepasst und verändert worden sein können.

Auffällig ist schließlich drittens auch, dass die Produkte der Synthetischen Biologie in der Forschung und der Forschungsliteratur häufig als „Maschinen“ bezeichnet werden. Die *genetically engineered machines* des iGEM-Wettbewerbs sind ein typisches Beispiel dafür. Man kann darin die konsequente Fortschreibung des ingenieurwissenschaftlichen Ansatzes über den Bereich der Methodik hinaus auf den Bereich der Produkte sehen. Was wie ein technisches Produkt zusammengesetzt werden kann, das muss auch selbst als technisches Produkt gelten, so könnte die unausgesprochene – und inhaltlich nicht zwingende, wohl aber naheliegende – gedankliche Linie sein.

## Bottom-up: Leben aus Unbelebtem

In Methodik und Zielsetzung etwas quer zu diesen Kernbereichen der Synthetischen Biologie stehen Forschungsansätze, die zum Ziel haben, eine lebende Zelle aus Molekülen aufzubauen, die selbst noch nicht die Kriterien des Lebens erfüllen. Diese Forschungen werden auch als „Bottom-up-Ansätze“ bezeichnet. Auch eine auf diese Weise konstruierte „Protozelle“ und das bei ihrer Synthese erworbene Wissen könnten, wie die Produkte der Top-down-Forschung, ein Nutzenpotenzial haben. Neben dem Interesse an Anwendungen ist die treibende Kraft dieser Forschungsansätze oft aber auch das theoretische Interesse an der Frage, wie Leben entstanden ist. Man möchte mögliche Wege der Entstehung des Lebens im Labor nachbilden.<sup>4</sup>

4 Vgl. Bedau et al. 2010; Benner/Sismour 2005; Luisi 2002.

Die Bottom-up-Ansätze orientieren sich zwar nicht an ingenieurwissenschaftlichen Paradigmen; im Hinblick auf die Eingriffstiefe, mit der die Veränderung und Herstellung eines Organismus in der Synthetischen Biologie erfolgt, kann man sie aber als Erweiterung der auf lebenden Zellen basierenden Forschungsprogramme verstehen. Während die BioBricks- und Minimalzellansätze zwar zur Generierung von DNA-Sequenzen bis hin zu ganzen Genomen führen, aber dabei doch weiterhin auf das Vorhandensein einer lebenden Zelle angewiesen sind, um ein funktionsfähiges Produkt zu erhalten, lassen die Protozellansätze auch diese Begrenzung hinter sich. Ihre Idee ist die Herstellung eines ganzen, funktionsfähigen Zelläquivalents aus unbelebten Bausteinen. Ob und wann diese Forschungen erfolgreich sein werden, ist allerdings – im Unterschied zu den viel weiter vorangeschrittenen Arbeiten der Top-down-Forschung – bisher nicht abzusehen. Wenn es gelingen sollte, eine Protozelle herzustellen, dann wäre allerdings auch denkbar, dass dieser Prozess anhand der Ideale des planenden Designs und Entwerfens und des zielgerichteten Zusammensetzens von Modulen zu einem neuartigen, nützlichen Produkt führt und so Top-down- und Bottom-up-Forschung vereinigt.

## Herstellen, verändern, erschaffen

So beschrieben, geht es in der Synthetischen Biologie in erster Linie um die Verwirklichung des Ideals technischer Herstellung im Bereich des Lebens. Wie eng die Synthetische Biologie an diesem Ideal orientiert ist, kann ein Abgleich mit der dichten Beschreibung, die Hannah Arendt zum Herstellungsbegriff liefert, zeigen.

Hannah Arendt schreibt: „Die eigentliche Herstellung vollzieht sich stets unter Leitung eines Modells, dem gemäß das herzustellende Ding angefertigt wird.“<sup>5</sup> Dieses Modell geht dem Herstellungsprozess nicht nur voraus, sondern „[verschwindet] auch nach Fertigstellung des Gegenstandes nicht wieder [...] und hält sich so in einer Gegenwärtigkeit [...], welche die weitere Herstellung identischer Gegenstände ermöglicht“.<sup>6</sup>

Im Fall der Synthetischen Biologie entsprechen diesem Modell beispielsweise die softwaregestützte Entwicklung der Wunsch-DNA und der Aufbau und die Nutzung einer BioBricks-Datenbank, die zur Herstellung beliebig vieler der gewünschten Organismen genutzt werden können.

Weiter gilt nach Arendt für den Herstellungsprozess: „Was nun den Herstellungsprozess selbst anlangt, so ist er wesentlich von der Zweck-Mittel-Kategorie bestimmt. Das hergestellte Ding ist ein Endprodukt, weil der Herstellungsprozess in

---

<sup>5</sup> Arendt 2008, 166 f.

<sup>6</sup> Ebd., 167 f.

ihm an ein Ende kommt [...], und es ist ein Zweck, zu dem der Herstellungsprozess selbst nur ein Mittel war.“<sup>7</sup>

Dieses Zweck-Mittel-Gefüge zeigt sich in der Synthetischen Biologie als das selbstverständliche Kriterium für den Erfolg oder Misserfolg der Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung eines Organismus. Wenn der erzeugte Organismus (als Zweck) das kann, was von ihm laut Modell gefordert wird, dann sind die Forschung und die Herstellung (als Mittel) an ein erfolgreiches Ende gekommen, andernfalls nicht.

Schließlich bemerkt Arendt zur Kategorie der Zweckdienlichkeit im Hinblick auf das hergestellte Produkt: „Der gleiche Maßstab der Zweckdienlichkeit wird an das Produkt dieses Vorgangs, den hergestellten Gegenstand, angelegt. Zwar ist das Fertigfabrikat ein Zweck mit Bezug auf die Mittel, durch die es hergestellt wurde, und so der Endzweck des Herstellens selbst; dennoch wird es, wenn es fertig ist, kein ‚Zweck an sich‘[...]“

Diese Annahme ist für die Synthetische Biologie von besonderer Bedeutung, weil die Produkte hier Organismen sind, denen man mit zunehmender Entwicklungsstufe auch eine zunehmende Fähigkeit zur Selbsterhaltung und Selbstentfaltung und damit auch eine zunehmende „Selbstzweckhaftigkeit“ zuzuschreiben geneigt sein könnte.<sup>8</sup> Unabhängig von dieser philosophisch umstrittenen Frage ist aber festzuhalten, dass viele Formulierungen aus der Synthetischen Biologie selbst zeigen, dass man der Diagnose Arendts in Bezug auf den Status des hergestellten Produkts nicht widerspricht. Die *genetically engineered machines* des iGEM-Wettbewerbs werden – als Maschinen – mit Abschluss des Herstellungsvorgangs sicherlich nicht zu einem „Zweck an sich“ werden können.

Die Synthetische Biologie gehört also, so viel kann bei diesem Abgleich des Herstellungsbegriffs mit der Forschungsprogrammatik der Synthetischen Biologie gesagt werden, zum Handlungstypus des technischen Herstellens. Nun kann das Herstellen, so wie es von Arendt beschrieben wird, ein weites Spektrum von Vorgehensweisen abdecken, zu denen zum Beispiel auch die Forschungen und Verfahren der klassischen Gentechnik gehören. Will man die Synthetische Biologie in diesem Spektrum genauer verorten, dann lässt sich feststellen, dass sie – zumindest dem Ideal nach – die Charakteristika des Herstellens in besonders systematischer und umfassender Weise zu erfüllen versucht. Mit der durchgehenden Standardisierung und Modularisierung von DNA-Abschnitten zum Beispiel wird erstens die Planbarkeit des Herstellungsprozesses weit vorangetrieben und zweitens wird so die Möglichkeit geschaffen, ein Produkt zu produzieren, das, weil es ein beliebig reprogrammierter Organismus sein kann, als *neu* erscheint.

---

7 Ebd., 168 f.

8 Ebd., 182.

Hanna Arendt spricht in diesem Zusammenhang vom „Prometheischen“, das jedem Herstellen in verschiedenem Maß zu eigen ist.<sup>9</sup> Wenn man mit Arendt sprechen will, dann ist die Synthetische Biologie also die am deutlichsten prometheische Biotechnologie, die Spitze des Herstellungstrebens im Bereich einfacher Lebensformen.

Günther Anders hat in Bezug auf diese Spitze des Herstellungsvermögens des Menschen von der Wandlung des *Homo faber* zum *Homo creator* gesprochen.<sup>10</sup> Anders hatte dabei vor allem die Physik im Blick, der es zu seiner Zeit gelungen war, mit dem Plutonium ein neues Element aus den subatomaren Grundstoffen der Natur zu erzeugen. Man kann für den Bereich der Chemie diesen Umschlag an der Entstehung der synthetischen Chemie und ihren neuen Stoffen festmachen und man kann im Bereich der Biologie eben die Synthetische Biologie als den entscheidenden Schritt in Richtung dieser Möglichkeiten des Kreierens identifizieren.<sup>11</sup>

Auch wenn nun, wie gezeigt, die Forschungsprogrammatur der Synthetischen Biologie dem Typus des technisch-kreativen Herstellens entspricht, lässt sich allerdings fragen, ob diese Programmatur im Fall der Biologie ebenso bruchlos und begrifflich stimmig wie im Fall von Physik und Chemie angewendet und umgesetzt werden kann. Besondere Vorsicht ist hier im Hinblick auf die Formulierung von der „Erschaffung von Leben“ angebracht. Außerdem ist, auch dies soll nicht unerwähnt bleiben, mit dieser Art der Beschreibung noch keine ethische Bewertung dieser Tätigkeit verbunden: Etwas nach Design zu kreieren, ist nicht per se schlecht und auch nicht per se gut. Differenzierungen sind hier unerlässlich.

## Erschaffung von Leben?

Wenn in Publikumszeitschriften und Zeitungen im Zusammenhang mit der Synthetischen Biologie Begriffe wie „Erschaffen“ oder „Kreieren“ verwendet werden, dann häufig in Form des Schlagworts von der „Erschaffung von Leben“. So sind Berichte zu den oben erwähnten Forschungserfolgen des JCVI zur Implantierung eines synthetischen bakteriellen Genoms in eine lebende bakterielle Zelle mit dieser Formulierung überschrieben worden. Nun ist augenfällig, dass diese Forschungen und Resultate nicht adäquat als „Erschaffung von Leben“ beschrieben werden können, denn das Leben war bei diesen Versuchen in Form der lebenden Wirtszelle bereits gegeben. Wann also würde die Synthetische Biologie Leben erschaffen? Und was erschafft die Synthetische Biologie, wenn es nicht „Leben“ ist?

9 Bekanntlich würde Kant, zumindest in seiner Kritik der praktischen Vernunft, dieser Neigung nicht nachgeben und den Status des „Zwecks an sich“ ganz auf Vernunftwesen beschränken. Die philosophische Biologie von Hans Jonas ist ein Gegenentwurf dazu. Vgl. Kant 1968, 142 f./A 56 f.; Jonas 1997, 144 ff.

10 Arendt 2008, 165.

11 Anders 1987, 21.

Wenn es innerhalb der Forschungsansätze der Synthetischen Biologie Kandidaten für den Titel der „Erschaffung von Leben“ geben sollte, dann sind dies zweifellos bestenfalls die Bottom-up-Ansätze. In der Tat gibt es unter den Bottom-up-Forschern einige, die dieses Ziel für sich reklamieren. So schließt der Chemiker und Molekularbiologe Steven Benner seine Ausführungen zu der Frage, was erreicht wäre, wenn die Bottom-up-Forschung eines Tages erfolgreich ist: “In a word, ‘life’ will have been created.”<sup>12</sup> Und der Philosoph und *Artificial-Life*-Forscher Mark Bedau schreibt zu diesen Ansätzen: “When synthetic biologists do create fully synthetic cells – and they will, at some point – then we *should* describe it as creating life, [...]”<sup>13</sup>

Diese Einschätzung ist jedoch nicht unwidersprochen geblieben. So wendet zum Beispiel Andreas Brenner ein, dass auch beim Erfolg der Bottom-up-Forschung nicht von der Erschaffung von Leben, sondern nur von der Erschaffung von Bedingungen, unter denen Leben sich bildet, zu reden sei.<sup>14</sup>

Welcher dieser beiden Einschätzungen man zuneigt, hängt letztlich vom Lebensbegriff ab, den man hier verwendet. Versteht man das „Lebende“ an einem Organismus als dessen Fähigkeit zur Selbstbildung und Selbsterhaltung, bei der das Präfix „selbst“ ernst genommen wird, dann lässt sich diese Eigenschaft nicht in derselben Weise herstellen, wie zum Beispiel die Stabilität eines Tisches aus der Konstruktion seiner Bestandteile folgt. Im Gegenteil, eine „Erschaffung“ von Leben ist dann prinzipiell nicht möglich, weil zum In-die-Existenz-Bringen des Lebens dann *ex hypothesi* die Aktivität und Mitwirkung des zusammengesetzten Materials gehört. Es ist deshalb umgekehrt auch folgerichtig, dass Benner und Bedau, die von der Erschaffung von Leben sprechen wollen, „Leben“ nach Maßgabe der Eigenschaften komplexer chemischer Reaktionen verstehen und von einem entsprechenden Lebensbegriff ausgehen.

## Erschaffung von Lebensformen

Mit dem Schlagwort der Erschaffung von Leben sollte man also vorsichtig umgehen, und zwar nicht nur dann, wenn es um Top-down-Forschung geht, sondern auch im Fall der Bottom-up-Ansätze. In Bezug auf die Top-down-Forschung aber bleibt die Frage, was die Synthetische Biologie erschafft, wenn sie denn als eine Biotechnologie aufgefasst wird, die Neuartiges herstellt.

Hier kann es nicht um Leben als solches gehen, sondern nur um neuartige Organismen. Terminologisch bewegt man sich damit in einem Bereich, in dem es viel Spielraum für pragmatische Entscheidungen gibt. Eine Möglichkeit wäre, im Fall von Bakterien, die mit einer gegenüber bakteriellen Vergleichsorganismen weitreichend

<sup>12</sup> Vgl. Boldt et al. 2008.

<sup>13</sup> Benner 2003, 118.

<sup>14</sup> Bedau 2011, 29.

geänderten DNA ausgestattet sind, von neuen, synthetisch erzeugten Bakterienarten oder auch – etwas allgemeiner – von neuen Lebensformen zu sprechen. Denkbar wäre aber auch, die letztere Bezeichnung solchen Organismen vorzubehalten, die im Rahmen einer Top-down-Forschung entstehen, bei der DNA zum Einsatz kommt, deren materielle Basis von derjenigen der natürlichen DNA abweicht.

Wichtig ist festzuhalten, dass es keinen Grund gibt, die Produkte der Top-down-Ansätze in der Synthetischen Biologie nicht als neue bakterielle Organismen, Lebensformen oder Arten zu beschreiben, wenn sie sich entsprechend weit von ihren natürlichen Vorbildern entfernen. Zweifellos ist die Unterscheidung einer „neuen“ Lebensform von einer aus der Natur bekannten immer ein vages Abgrenzungskriterium mit einem großen Graubereich des Übergangs. Das nimmt dieser Unterscheidung aber nicht ihren heuristischen Wert.

So, wie im Sorites-Paradox nicht bestimmt werden kann, an welchem Punkt des Zusammenlegens von Sandkörnern genau aus einer Ansammlung von einzelnen Körnern ein Haufen wird, so wenig kann sicherlich eindeutig bestimmt werden, ab welcher Anzahl von geänderten Genen von einem neuen Organismus zu reden ist. Dennoch ist die Bezeichnung eines Haufens als Haufen relevant, weil man zum Beispiel weiß, dass man über einen Haufen stolpern kann. Und so könnte man möglicherweise – auch im übertragenen Sinn – über einen neuen Organismus stolpern.

Über einen neuen Organismus zu stolpern, würde heißen, in der Programmatik und Perspektive des Erschaffens Gefahren oder Grenzen, die mit den Methoden und Produkten dieser Programmatik einhergehen, nicht adäquat wahrzunehmen. Bevor auf diese möglichen Grenzen eingegangen werden soll, sei aber zunächst darauf verwiesen, dass die Perspektive des Kreierens auch als eine befreiende, viele nutzbringende Potenziale erschließende Haltung verstanden werden kann.<sup>15</sup> Ein großer Teil der Dynamik und der Faszination dieses Forschungsfeldes, wie sie zum Beispiel beim iGEM-Wettbewerb zum Ausdruck kommen, geht sicherlich auf genau diese kreative Perspektive zurück, ebenso wie die mit den Anwendungsszenarien verbundenen Hoffnungen auch deshalb so groß sind, weil die Möglichkeiten des Herstellens so weitreichend erscheinen.

Dennoch: Gerade in Bezug auf den Bereich des Lebens sind auch Beschränkungen dieser Perspektive in Rechnung zu stellen. Erstens betrifft dies die Frage des faktischen Erfolgs der Forschung. Es ist zurzeit noch nicht wirklich abzusehen, ob sich die ingenieurwissenschaftlich geprägte Herstellungsprogrammatik in technisch-wissenschaftlicher Hinsicht im Bereich des Lebens als erfolgreich und angemessen erweisen wird. Und zweitens können die Implikationen, die diese Programmatik und das mit ihr einhergehende Selbstverständnis für die Annahmen über die Eigenschaften ihrer Produkte haben, in ethischer Hinsicht problematisch sein.

---

<sup>15</sup> Vgl. Brenner 2007, 164.

## Grenzen der Herstellungsprogrammatis in wissenschaftlicher Hinsicht

Es sind in den letzten Jahren immer wieder auch kritische Stimmen zur wissenschaftlichen Programmatis der Synthetischen Biologie zu hören gewesen. Sie machen vor allem auf die Komplexität der zu verändernden Organismen, ihres genetischen und sonstigen intrazellulären Aufbaus und ihrer zeitlichen Veränderbarkeit aufmerksam und bezweifeln, dass dieser Komplexität mit den Kategorien von Standardisierung, Modularisierung und rationalem Design ausreichend Genüge getan werden kann.<sup>16</sup>

Es bleibt deshalb abzuwarten, wie sich die Synthetische Biologie im Vergleich zu weniger „rationalen“ Techniken, wie zum Beispiel denjenigen der gerichteten Evolution, ausnehmen wird. Was aus der Sicht des Selbstverständnisses des planenden Herstellers wie eine unvollkommene Vorstufe zur eigentlich zu erreichenden Fertigkeit erscheint, ist im Bereich des Lebens möglicherweise doch eine ebenfalls wirkungsvolle oder sogar wirkungsvollere Methodik. Es ist deshalb eine Forderung guter Forschungspraxis, dass sich Wissenschaft und Technik immer wieder auch der Logik des Herstellens entziehen und alternative, weniger vom Ideal des rationalen Designs gelenkte Ansätze verfolgen.

## Grenzen der Herstellungsprogrammatis in Hinblick auf Folgenabschätzungen

Der Prozess eines Designens und Herstellens, der eine hohe Eingriffstiefe aufweist, mit Standards und Modulen hantiert und ein Produkt mit vorgegebenen Eigenschaften anstrebt, impliziert die Vorstellung, dass die so hergestellten Produkte in ihrem Verhalten gut prognostizierbar und damit auch kontrollierbar sind. Hannah Arendts Annahme, Produkte des Herstellens müssten immer als zerstörbar gelten, kann man in diesem Sinn deuten als die Annahme, dass Gefahren eines technisch produzierten Produkts als beherrschbar gelten, weil man davon ausgeht, dass man als Hersteller die Gesetzmäßigkeiten des Verhaltens des Produkts kennt. Entsprechend kennt man auch, so könnte man folgern, die Mechanismen, die das Produkt inaktiv werden lassen.

Ob diese Annahmen aber auf Organismen zutreffen, die sich längerfristig in der freien Natur befinden und vermehren, kann bezweifelt werden. Es kann hier zu einer Divergenz zwischen den aus dem Selbstverständnis des Herstellens folgenden hohen Anspruch an Wissen über das Verhalten des Organismus und dem möglicherweise

---

<sup>16</sup> Vgl. Reth 2012.

überraschenden realen Verhalten kommen, was für die Frage der Risikoabschätzung der Organismen bei Anwendungen in der freien Natur von einiger Relevanz ist. Dieses *Caveat* gilt auch für Lösungsansätze, die zum Ziel haben, den neuen Organismus genetisch so zu gestalten, dass er die Zellteilung bei unkontrollierter Vermehrung selbst stoppt.

## Herstellungsprogrammatik und inhärente Werthaftigkeit des Produkts

Schließlich legt die Vorstellung vom planenden Herstellen, wiederum insbesondere dann, wenn es mit dem hohen Anspruch an Eingriffstiefe und Rationalität des Designs verbunden wird, den die Synthetische Biologie auszeichnet, nahe, dass das Verhalten des hergestellten Organismus vollständig aus den Bewegungen der molekularen Teile heraus, aus denen er besteht, erklärt werden kann. Der Organismus gilt in diesem Sinn „nicht mehr“ als eine komplexe chemische Maschine. Damit gerät der normative Gehalt, der mit dem Lebensbegriff üblicherweise verbunden ist, unter Rechtfertigungsdruck.

Dies mag bei einzelligen Organismen noch keine substanziellen Wertungsverschiebungen zur Folge haben. Mit Blick auf höhere Organismen und den Menschen können sich hier aber perspektivisch Kontroversen ergeben. Man kann dies aus Sicht der Wissenschaft vor allem als eine Herausforderung an unsere Praxis der Wertzuschreibung gegenüber anderen Lebewesen und den Menschen verstehen<sup>17</sup>, man kann darin aber ebenso auch – aus der Sicht der Ethik und kommunikativen Praxis – einen Mangel im Lebensbegriff sehen, so wie er häufig in der Synthetischen Biologie verwendet wird.

Letztlich ist damit die alte Frage nach der Stellung des Menschen und seiner ethischen Verantwortung in der Natur gestellt. Diese Frage werden die Synthetische Biologie selbst und auch die von ihr befeuerte ethische und philosophische Diskussion nicht lösen. Diese Frage aber auch anhand der Synthetischen Biologie neu zu stellen, kann den Blick dafür schärfen, dass unsere ethische Praxis und die sie stützenden theoretischen Annahmen in Konflikt mit wissenschaftlich-technischer Forschung und ihren ontologischen Grundannahmen geraten kann. Wenn man vom Wert und der Richtigkeit unserer ethischen Praxis überzeugt ist, dann wird man darin vor allem eine Herausforderung für die wissenschaftstheoretischen, ontologischen und epistemologischen Grundannahmen der Synthetischen Biologie sehen.

---

<sup>17</sup> Vgl. zum Beispiel Kwok 2010.

## Literatur

- Anders, G. (1987): Die Antiquiertheit des Menschen. Band II: Über die Zerstörung des Lebens im Zeitalter der dritten industriellen Revolution. München.
- Arendt, H. (2008): Vita activa oder Vom tätigen Leben. München.
- Bedau, M. A. (2011): The intrinsic scientific value of reprogramming life. In: Hastings Center Report, 41 (4), 29–31.
- Bedau, M. et al. (2010): Life after the synthetic cell. In: Nature, 465 (7297), 422–424.
- Benner, S. A. (2003): Act natural. In: Nature, 421 (6919), 118.
- Benner, S. A.; Sismour, A. M. (2005): Synthetic biology. In: Nature Reviews Genetics, 6 (7), 533–543.
- Boldt, J. et al. (2008): Von der Manipulation zur Kreation. Ethische und ontologische Aspekte der synthetischen Biologie. In: Honnefelder, L.; Sturma, D. (Hg.): Jahrbuch für Wissenschaft und Ethik. Band 13. Berlin; New York, 153–180.
- Brenner, A. (2007): Leben. Eine philosophische Untersuchung. Bern.
- Endy, D. (2005): Foundations for engineering biology. In: Nature, 438 (7067), 449–453.
- Gibson, D. G. et al. (2010): Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. In: Science, 329 (5987), 52–56.
- Jonas, H. (1997): Das Prinzip Leben. Ansätze zu einer philosophischen Biologie. Frankfurt am Main.
- Kant, I. (1968): Kritik der praktischen Vernunft. Werkausgabe, Band VII. Hg. von W. Weischedel. Frankfurt am Main.
- Knight, T. F. (2005): Engineering novel life. In: Molecular Systems Biology, 1:2005.0020.
- Kwok, R. (2010): Five hard truths for synthetic biology. In: Nature, 463 (7279), 288–290.
- Luisi, P. L. (2002): Toward the engineering of minimal living cells. In: The Anatomical Record, 268 (3), 208–214.
- Reth, M. (2012): Magie und Tragik der Synthetischen Biologie. In: Boldt, J.; Müller, O.; Maio, G. (Hg.): Leben schaffen? Philosophische und ethische Reflexionen zur Synthetischen Biologie. Paderborn, 41–48.



# Aktuelle ethische Herausforderungen der Synthetischen Biologie

Die Synthetische Biologie steht als aktuell neuste Entwicklung auf dem Feld der Biotechnologie besonders im Fokus sowohl wissenschaftlicher wie öffentlicher Debatten und Diskussionen. Angetrieben durch ihre hoffnungsvollen Visionen wie (postulierten) Produkte und genährt durch erste wissenschaftliche Ergebnisse und Publikationen wie von Craig Venter im Mai 2010<sup>1</sup> oder aber von der Gruppe um Philippe Marlière im Sommer 2011<sup>2</sup> gibt es aktuell kaum ein Wissenschaftsfeld, in das einerseits in einem solchen Maße hochfliegende Erwartungen gesetzt werden und dem anderen mit tiefgehender Skepsis begegnet wird. Angesichts dieser Konstellation ist der immer wieder erhobene Ruf nach notwendiger ethischer Reflexion und gesellschaftlichem Monitoring kaum überraschend. Verstärkt wird eine solche ambivalente Dynamik dabei durch eine möglicherweise angezeigte Durchbrechung der bislang als klassisch geltenden Distinktionen von „natürlich“ und „künstlich“, von „lebendig“ und „nicht lebendig“, die sich nicht zuletzt in den sowohl vonseiten der Wissenschaft als auch der berichtenden Medien in der Verarbeitung solcher entgleitenden Distinktionen verwendeten Metaphern wie *living machine* oder *creating live* artikulieren.

Trotz oder gerade aufgrund technisch und methodisch herausragender naturwissenschaftlicher Arbeiten im Bereich der Synthetischen Biologie ist zunächst zu konstatieren, dass dieses junge Forschungsfeld in seinem aktuellen Status keine wissenschaftliche Revolution darstellt.<sup>3</sup> Ebenso sind die mit diesem Forschungsfeld

---

1 Vgl. Gibson et al. 2010.

2 Vgl. Marlière et al. 2011.

3 Vgl. Kwok 2010.

einhergehenden vermuteten Risiken und gesellschaftlichen Besorgnisse nicht von radikal neuer Art, sondern stehen in einer engen Analogie zu Fragen, die in früheren Debatten zu ähnlichen oder assoziierten Themenkomplexen geführt wurden. Wahrnehmungen und Bewertungen einer vermeintlich gewinnbringenden oder kritischen Entwicklung werden immer auch durch die Wahrnehmungsprozesse zeitlich vorgelagerter Forschungsfelder bedingt.<sup>4</sup> Im Falle der Synthetischen Biologie dürfte sich dabei als ein wesentlicher Punkt erweisen, inwieweit dieses wissenschaftliche Feld mittel- bis langfristig entweder mit der „grünen“ Gentechnik – und damit verbunden einer eher skeptischen Bewertung in der Öffentlichkeit – oder mit der „roten“ Gentechnik, die tendenziell positiver eingeschätzt wird, konnotiert wird.

Eine solche nüchterne und vorerst eher „abkühlende“ Einschätzung und Verortung der Synthetischen Biologie eröffnet zugleich die Möglichkeit zu fragen, welche paradigmatischen Marker sich in diesem Wissenschaftsfeld ausmachen lassen, deren sorgsame Beobachtung und Untersuchung eine wichtige Rolle in einem ethischen Monitoring sowohl der weiteren Entwicklung der Synthetischen Biologie im Besonderen als auch der Biotechnologie im Allgemeinen einnehmen können. Im Folgenden werden diese Marker näher betrachtet.

Zunächst lässt sich an dem Forschungsfeld der Synthetischen Biologie paradigmatisch zeigen, wie sich naturwissenschaftliche und technologische Spitzenforschung zunehmend in einem engen Geflecht von ökonomischer Erwartungshaltung und medialer Inszenierung entfaltet.<sup>5</sup> Sorgsam debattiert werden muss dabei, was eine solche Entwicklung erstens für das Selbstverständnis von Wissenschaft bedeutet, zweitens, welche möglichen Auswirkungen sich hieraus bezüglich ihrer Wahrnehmung in der allgemeinen Öffentlichkeit beobachten lassen, und drittens, welche Konsequenzen sich in Bezug auf das Vertrauen ableiten lassen, auf dem Wissenschaft aufruhrt, wenn sie nachhaltig arbeiten und damit auch öffentliche Unterstützung erlangen will. Diese dreifache Herausforderung wird nicht zuletzt dadurch verschärft, dass in den bisherigen Untersuchungen, die dezidiert Werthaltungen und Meinungsbildern der Öffentlichkeit zur Synthetischen Biologie zum Gegenstand haben, grundlegend konstatiert wird, dass es in der allgemeinen Öffentlichkeit eine große Unwissenheit und Unkenntnis darüber gibt, was sich überhaupt mit dem Terminus „Synthetische Biologie“ verbindet.<sup>6</sup> Gerade angesichts solcher Ergebnisse und dem damit erwartbar offenen Ausgang der weiteren Entwicklung ist der Aspekt des Vertrauens, das die Öffentlichkeit den unterschiedlichen Akteuren der Synthetischen Biologie beziehungsweise diesem wissenschaftlich-technischen Gebiet als Ganzem

---

4 Vgl. hierzu auch Torgersen 2009.

5 Vgl. hierzu *Biotechnology and Biological Sciences Research Council/Engineering and Physical Sciences Research Council* 2010.

6 Vgl. Gaskell 2010. Allerdings ist auch innerhalb der Synthetischen Biologie keinesfalls abschließend geklärt, welche Verfahren und Forschungsbereiche unter dieser Überschrift zusammengeführt werden und welche Ziele dabei verfolgt werden.

entgegenzubringen bereit ist, einer der virulenten Marker für die öffentliche Akzeptanz dieses jungen Forschungsfeldes.

Einhergehend mit der explizierten Herausforderung in Bezug auf das Selbstverständnis der Wissenschaften ist zudem intensiver zu beobachten, inwieweit sich das Verständnis der Lebenswissenschaften selbst verändert. Gegenüber dem bisher vorherrschenden analytischen Paradigma der Biologie in der (Weiter-)Entwicklung der Synthetischen Biologie gewinnt vor allem das in der Biologie in diesem Ausmaße so bisher nicht angewandte Ingenieursparadigma an Gewicht, welches sich durch ein kreativ-spielerisches und vor allem durch einen zugleich nützlichkeitsorientierten Zugriff auszeichnet.<sup>7</sup>

Neben dem Fokus auf die (möglichen) Transformationen im Bereich der Wissenschaft ist es zudem Aufgabe eines ethischen Monitorings, die Schnittstelle von Synthetischer Biologie und Öffentlichkeit als genuinen Bestandteil einer konkreten Ethik in den Blick zu nehmen. Diese Schnittstelle wird momentan durch die postulierte Eingriffstiefe der Forschungen im Bereich der Synthetischen Biologie, vor allem aber durch die zum Teil bewusst inszenierte Selbstkandalisierung der eigenen Forschungen (zum Beispiel Craig Venters Anspruch, Leben neu geschaffen zu haben), moduliert. Gerade diese Vermischung von zukunftssträchtigen und durchaus vielversprechenden Visionen der Synthetischen Biologie mit dem Postulat, dass bisher als *common sense* geltende Distinktionen an dieser Stelle durchbrochen werden, erzeugt ein kulturelles Unbehagen als Folge öffentlicher Verunsicherung.<sup>8</sup> Dieses kulturelle Unbehagen lässt sich dabei in einer doppelten Struktur beschreiben: einerseits als eine Reaktion auf die propagierten Visionen und Erwartungsversprechungen der Synthetischen Biologie, andererseits als ein Unwohlsein der Wissenschaftler angesichts der unklaren Definitionslage des Forschungszweiges, verbunden mit vielversprechenden Visionen, deren Realisier- und Umsetzbarkeit sich größtenteils erst noch erweisen müssen.<sup>9</sup> Das konstatierte Unbehagen der Öffentlichkeit kumuliert dabei zum einen in einer Furcht vor unbekanntem Sicherheitsrisiken, zum anderen in einer generellen Sorge beziehungsweise nicht näher spezifizierbaren Erwartungen hinsichtlich der impliziten moralischen Konsequenzen der Synthetischen Biologie an sich.<sup>10</sup> Gerade angesichts solcher Beobachtungen kann ein solches kulturelles Unbehagen nicht alleine mit den Bordmitteln der klassischen Technikfolgenabschätzung für eine Modulation der Schnittstelle von Synthetischer Biologie und Öffentlichkeit bearbeitet werden, sondern markiert vielmehr einen Deutungsbedarf, der sich vor allem an den im Diskurs befindlichen (religionskulturellen) Metaphern („Playing God“, „Homo creator“) und literarischen

7 Vgl. Dabrock et al. 2011.

8 Vgl. Ried/Braun/Dabrock 2011.

9 Vgl. hierzu Cserer/Seiringer 2009.

10 Vgl. Yearley 2009.

Motiven (Frankenstein, Büchse der Pandora) zur Sprache bringt.<sup>11</sup> Eine solche kulturelle Verunsicherung muss ernst genommen und diskursiv verarbeitet werden. Wie das Beispiel der grünen Gentechnik eindrücklich beweist, scheitern wissenschaftliche Innovationen, wenn Wissenschaftskommunikation nur als expertokratische Erklärungen für eine als naiv oder schlecht informiert eingeschätzte Öffentlichkeit verstanden wird.

Beide Aspekte, sowohl die kulturelle Verunsicherung als auch die bisherige Unkenntnis weiter Teile der Öffentlichkeit im Bereich der Synthetischen Biologie, legen dann aber nahe, auch die sprachlichen Formulierungen und Einschätzungen im Bereich des ethischen Monitorings selbst kritisch zu hinterfragen. So rückt besonders die artikulierte These in den Fokus, dass im Bereich der Synthetischen Biologie die technische Aneignung und Veränderung der Natur (*Homo faber*) umschlage in einen derartigen Technikimperialismus gegenüber der Natur bis hin zur Genese einer „Natur 2.0“ (*Homo creator*), der letztlich darauf hinauslaufe, dass der Mensch „das Leben“ wie sich selbst nicht nur unter dem Blickwinkel der Technisierung betrachte, sondern auch dem technischen Zugriff ausliefere und damit die notwendige Ehrfurcht vor dem Leben und der Natur verlöre.<sup>12</sup> Ein solches Postulat einer durch die Synthetische Biologie bedingten anthropologischen Transformation, die auf eine religionskulturell aufgeladene Metapher des *Homo creator* zurückgreift, steht zugleich in der Gefahr, das kulturelle Unbehagen tendenziell eher zu verstärken. Inhaltlichen Widerspruch erfährt das Postulat einer anthropologischen Transformation durch die oben bereits skizzierte Einschätzung, dass es sich bei allen im aktuellen Diskurs um die Synthetische Biologie befindlichen Ergebnissen und Produkten bislang um – technisch und methodisch zum Teil herausragende – Modifikationen bereits vorfindlicher Stoffe oder Strukturen im Bereich der Mikrobiologie handelt. Neben einer solchen prozeduralen, den technischen Entwicklungsgang begleitenden Einschätzung ist aus theologischer Perspektive hinzuzufügen, dass es dem Menschen prinzipiell gar nicht möglich ist, als originärer *creator* zu handeln. Im theologischen Verständnis steht der geschaffene Mensch aufgrund seiner Konstitution als Geschöpf immer in einer konstitutiven Differenz zu Gott.<sup>13</sup> Eine solche theologische Kritik an der Bestimmung des Menschen als *Homo creator* bedeutet bezüglich der Tätigkeitsbeschreibung keineswegs, dass der Mensch nicht in dem Sinne schaffen könnte, dass er in kreativer Art und Weise Stoffe und Formen so gestaltet, dass sich hieraus Strukturen ergeben, die kein direktes Vorbild in der Natur haben. Aus theologischer Perspektive handelt und kreiert er dabei aber immer als geschaffener Mensch, der mit den Potenzialen und Möglichkeiten der Natur kreativ umgeht, einen solchen Umgang dann aber eben auch verantworten muss.

11 Vgl. hierzu Schummer 2011, 113–135.

12 Vgl. Boldt/Maio 2008.

13 Vgl. Ried/Dabrock 2011.

In die Ausgestaltung eines solchen Verantwortungsbereichs gehört dann auch, nach dem Gehalt der im Diskurs vorfindlichen Metaphern zu fragen und die jeweiligen gesellschaftlichen Konsequenzen in den Blick zu nehmen. Das fordert heraus wahrzunehmen, dass in der Konstatierung eines kulturellen Unbehagens kulturell eingespielte oder als eingespielt geglaubte Verständnisse von Leben und Natur durch die Synthetische Biologie und ihre Selbstinszenierungen infrage gestellt werden. So lässt sich durchaus beobachten, wie die alltagsmoralischen Vorstellungen von Leben und Natur als Vertrautem, als Selbstverständlichem, als Authentischem, Unverfälschtem, Echtem und Spontanem, als Stimmigem, Harmonischem oder Proportioniertem und so als Vorgegebenem, das zu akzeptieren ist, nicht greifen, ja, schon lange nicht mehr gegriffen haben.<sup>14</sup> Solche Durchkreuzungen dieser Distinktionen lassen sich auch in der Diskussion um die Synthetische Biologie finden und erlangen eine wichtige Bedeutung in den ethischen Debatten. Zugleich taucht die Beobachtung und Identifizierung solcher Durchkreuzungen aber nicht zum ersten Mal in der Geschichte der Biotechnologien auf, sondern findet sich stetig in der Exploration und Entwicklung neuer Technologien.

Um also weder in eine expertokratische Belehrung der Öffentlichkeit noch in eine abgekoppelte verfallstheoretische Protestkommunikation zurückzufallen, ist eine Selbstaufklärung von Gesellschaft und Wissenschaft über die Transformationen, die sich paradigmatisch an der Synthetischen Biologie zeigen, vonnöten: Die Wissenschaft muss sich darüber im Klaren sein, dass die mediale Selbstinszenierung ihrer (irgendwann vielleicht einmal realisierbaren) Ergebnisse ein höchst ambivalenter Vorgang ist. Einerseits gewinnt man zwar Aufmerksamkeit und gegebenenfalls Geldgeber. Andererseits riskiert man aber durch bewusst in Kauf genommene Selbstkandalisierungen nachhaltigen Vertrauensverlust in die so angepriesene Wissenschaft oder Technologie, der dann die Forschungen auf diesem Feld letztlich erschwert, wenn nicht gar verunmöglicht. Dem entspricht, dass in der Gesellschaft offen und ehrlich über das prägende Lebens- und Naturverständnis debattiert werden muss: Inwieweit können romantische Auffassungen angesichts einer hochtechnisierten Durchdringung der Welt aufrechterhalten werden? Wo liegen aber doch die Grenzen solcher Entwicklungen, die nach gesellschaftlichen Deliberationen nicht überschritten werden sollen? Schließlich: Wie kann eine Diskussionskultur zwischen Wissenschaft und allgemeiner Öffentlichkeit erzeugt werden, die nicht nur als Einbahnstraße funktioniert und die dennoch die Eigenart der jeweiligen Diskurse beachtet? Gerade solche Fragen können Leitfragen in der Weiterentwicklung eines ethischen Monitorings der Synthetischen Biologie sein und tragen dazu bei, das junge Forschungsfeld der Synthetischen Biologie verantwortllich zu gestalten.

---

<sup>14</sup> Vgl. Birnbacher 2006.

## Literatur

- Biotechnology and Biological Sciences Research Council; Engineering and Physical Sciences Research Council (Hg.) (2010): *Synthetic Biology Dialogue*. Online im Internet: <http://www.bbsrc.ac.uk/web/FILES/Reviews/1006-synthetic-biology-dialogue.pdf> [18.4.2010].
- Birnbacher, D. (2006): *Natürlichkeit*. Berlin.
- Boldt, J.; Maio, G. (2008): Newtons of the leaves of grass. In: *Nature Biotechnology*, 26 (4), 387–389.
- Cserer, A.; Seiringer, A. (2009): Pictures of synthetic biology: a reflective discussion of the representation of synthetic biology (SB) in the German-language media and by SB experts. In: *Systems and Synthetic Biology*, 3 (1–4), 27–35.
- Dabrock, P. et al. (2011): *Was ist Leben im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit? Beiträge zur Ethik der Synthetischen Biologie*. Freiburg.
- Gaskell, G. et al. (2010): *Europeans and Biotechnology in 2010. Winds of Change?* Online im Internet: [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/archives/ebs/ebs\\_341\\_winds\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_341_winds_en.pdf) [18.4.2012].
- Gibson, D. G. et al. (2010): Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. In: *Science*, 329 (5987), 52–56.
- Kwok, R. (2010): Five hard truths for synthetic biology. In: *Nature*, 463 (7279), 288–290.
- Marlière, P. et al. (2011): Chemical evolution of a bacterium's genome. In: *Angewandte Chemie*, 50 (31), 7109–7114.
- Ried, J.; Braun, M.; Dabrock, P. (2011): Unbehagen und kulturelles Gedächtnis. Beobachtungen zur gesellschaftlichen Deutungsunsicherheit gegenüber Synthetischer Biologie. In: Dabrock, P. et al. (Hg.): *Was ist Leben im Zeitalter seiner technischen Machbarkeit? Beiträge zur Ethik der Synthetischen Biologie*. Freiburg, 345–368.
- Ried, J.; Dabrock, P. (2011): Weder Schöpfer noch Plagiator. Theologisch-ethische Überlegungen zur Synthetischen Biologie zwischen Genesis und Hybris. In: *Zeitschrift für Evangelische Ethik*, 55 (3), 179–191.
- Schmidt, M. et al. (2009): A priority paper for the societal and ethical aspects of synthetic biology. In: *Systems and Synthetic Biology*, 3 (1–4), 3–7.
- Schummer, J. (2011): *Das Gotteshandwerk. Die künstliche Herstellung von Leben im Labor*. Berlin.
- Torgersen, H. (2009): Synthetic biology in society: learning from past experience? In: *Systems and Synthetic Biology*, 3 (1–4), 9–17.
- Yearley, S. (2009): The ethical landscape: identifying the right way to think about the ethical and societal aspects of synthetic biology research and products. In: *Journal of the Royal Society Interface*, 6 (Supplement 4), S559–S564.

## Die neuen Biomaster: Wer will die Kontrolle über die Grüne Ökonomie?\*

Ich möchte damit beginnen, Farbe zu bekennen und zu sagen, wo ich stehe. Zunächst einmal halte ich persönlich nicht sehr viel von der Idee eines Moratoriums für die Synthetische Biologie. Leider gibt es jedoch angesichts der Dummheit, mit der unsere Regierungen handeln, wohl keine andere Wahl, als ein solches Moratorium einzurichten. Deshalb unterstütze ich vollkommen, was Rüdiger Stegemann in seinem Vortrag gesagt hat. Ich werde auch darauf eingehen, warum ich glaube, dass wir keine andere Wahl haben, und warum ich denke, dass es speziell bei den internationalen Regierungen keine anderen Alternativen gibt.

Zweitens möchte ich etwas sagen zu der Debatte um Craig Venter und ob er als „Schöpfer“ zu bezeichnen ist. Ich vertrete die Meinung, dass Craig Venter in der Tat etwas geschaffen hat. Mit Sicherheit hat er Arbeitsplätze für Ethiker geschaffen, die noch lange Zeit bestehen werden, und vielleicht hat er sogar etwas aus dem Nichts erschaffen. Das werden wir über die Jahre noch feststellen. Mich überrascht es ein wenig, dass sich die Teilnehmer dieser Tagung Gedanken über ethische Fragen machen. Dabei sollten wir doch darüber diskutieren – und vielleicht fällt mir diese Aufgabe zu –, wer eigentlich diese Technologie besitzt und kontrolliert, welche ökonomischen Folgen sich daraus ergeben, nicht nur speziell für die Randbevölkerungen überall auf der Welt, sondern für uns alle. Es gibt viele Fragen, die wir uns stellen können, zum Sinn und Zweck dieser Technologie: Was genau macht sie? Wofür ist

---

\* Überarbeitete Simultanmitschrift des Vortrages „The new Biomasters: Who wants to control the Green Economy?“ vom 23. November 2011 in Mannheim, aus dem Englischen übersetzt von Mirja Nissen, Heidelberg.

sie gut beziehungsweise schlecht? Es erstaunt mich, dass wir unseren Blickwinkel auf die Ethik beschränken können. Meiner Meinung nach ist die Debatte darum, ob Craig Venter nun tatsächlich Leben geschaffen hat oder nicht, im Grunde irrelevant. Womit wir es hier zu tun haben, sind lebende Organismen, wie sie die Welt zuvor noch nie gesehen hat und die sich selbstständig vermehren. Diese Organismen sind am Computer entstanden. Die Eltern sind Computer! Mir persönlich ist es dabei völlig egal, ob wir es hier mit komplett künstlichem Leben zu tun haben oder mit etwas anderem. Als Craig Venter das gelungen ist, haben wir einen Fehler begangen. Craig Venter hat jahrelang überall davon erzählt, dass die Schaffung seiner Lebensform nur noch zwei Jahre in der Zukunft liege. Und das hat er Jahr für Jahr für Jahr immer wieder verkündet. Wir wussten, dass er irgendwann ans Ziel kommen würde, dass er etwas erschaffen würde, und wir haben den Fehler gemacht zu sagen: „Na ja, jetzt hat Gott wohl Konkurrenz.“ Unsere Website ist unter dem Gewicht der eingehenden E-Mail-Fluten zusammengebrochen und natürlich beteiligten sich noch viele andere an der Debatte, die Craig Venter selbst initiiert hatte.

Das ist aber nicht das Problem, um das es hier geht. Der Punkt ist, dass hier eine Spezies geschaffen wurde, die unser Planet noch nie gesehen hat, dass sich diese Spezies selbstständig vermehrt und dass diese Arbeit weitergeführt wird. Ich erinnere mich an eine Äußerung von Arthur Clarke – ich weiß nicht mehr, ob das aus einem seiner Romane oder Sachbücher stammt –, wo er sagt: „Wenn ein weiser alter Professor dir sagt, was möglich ist, dann kannst du ihm glauben. Wenn ein weiser alter Professor dir sagt, was nicht möglich ist, dann glaub ihm nicht!“ Und ich glaube, das gilt gleichermaßen für weise oder auch weniger weise alte Aktivisten wie mich. Aber für mich ist das Realität.

Im Verlauf dieser Tagung wurde mehrfach geäußert, dass wir noch viel Zeit haben, dass dies erst die Anfänge der Synthetischen Biologie sind. Ich bin da anderer Meinung. Es wurde auch gesagt, dass wir nicht wirklich genug wissen, um zu handeln. Es gibt so vieles, was noch unbekannt ist – wie die Zelle überhaupt funktioniert oder welche Rolle die vor ein paar Jahren noch als „Junk-DNA“ bezeichnete Substanz spielt. Wir wissen diese Dinge nicht, also können wir hier auch nicht so schnell vorgehen. Es wurde auch gesagt, dass es sich bei dieser Technologie in Wirklichkeit gar nicht um eine Technologie handelt, sondern um viele unterschiedliche Technologien, und dass es wahrscheinlich sogar ein Fehler war, sie überhaupt als „Synthetische Biologie“ zu bezeichnen. Die Sache ist eigentlich viel komplexer, und die Grenzen sind verschwommen. Uns wurde auch gesagt, wir sollen uns keine Sorgen machen, denn das Ganze liegt ja wahrscheinlich noch weit in der Zukunft, andererseits ist es auch nichts Neues. Inzwischen ist es gang und gäbe zu hören, dass jede Technologie sich mindestens auf die alten Ägypter oder Maya zurückführen lässt. Die Maya sind derzeit sehr populär als Erfinder jeglicher Art von Technologie. Daher sei das Ganze im Grunde schon uralt.

Ich erinnere mich an eine Diskussion mit dem niederländischen Chemieunternehmen DSM in Afrika, in der gesagt wurde, dass die Nanotechnologie eigentlich überhaupt nichts Neues sei – alles brandneu und alles ein alter Hut –, und am Ende des Vortrags waren vermutlich die meisten der Anwesenden der Überzeugung, dass sich DSM an der Schwelle zum Bronzezeitalter befindet. Worum ging es denn bei all den Mustern überhaupt, wenn diese gar nicht neu waren und sich nichts geändert hatte? Es gibt da eine Art sprachliche Tendenz – ich hab das noch sehr gut in Erinnerung: Mit das Erste, was mit einer neuen Technologie passiert, wenn sie kontrovers diskutiert wird, ist, dass diejenigen, die ihr einen Namen gegeben haben, nervös werden und die Terminologie verwässern wollen, damit man sie nicht mehr so leicht mit dem, was sie tun, in Verbindung bringen kann. Wir sind schnell an dem Punkt angekommen, wo genau das in der Debatte über die Gentechnik passiert ist. Die Bezeichnung „Gentechnik“ wurde ursprünglich von denjenigen gewählt, die daran gearbeitet haben; später war dann von „gentechnisch veränderten Organismen“ oder „veränderten lebenden Organismen“ die Rede. Und jetzt, wo es ein Problem mit der genetischen Umweltverschmutzung gibt, bezeichnen wir diese nicht als Genverschmutzung, was der Fachterminus wäre, sondern als adventives Vorkommen, was sich ein wenig wie ein Vorweihnachtsereignis anhört. So wird die Terminologie verändert.

Ich erinnere mich auch an eine andere Diskussion. Eine Wirtschaftsvertreterin aus dem Bereich der Nanotechnologie sagte: „Wissen Sie, die Nanotechnologie als solche gibt es in Wirklichkeit gar nicht. Wir sollten einen solchen Begriff nicht verwenden, denn es handelt sich hier im Grunde um ein so breites Spektrum verschiedenster Technologien.“ Weshalb sie als Vorsitzende des europäischen Handelsverbandes für Nanotechnologie den Namen ihrer Organisation nicht geändert hat und als Vorsitzende des Verbandes für irgendwelche diffusen Technologien auftritt, entzieht sich meiner Logik.

Ich möchte noch einmal auf die Zeitfrage zurückkommen. Es existiert wohl die Vorstellung, dass wir noch viel Zeit zu handeln haben. Ich glaube nicht, dass das der Fall ist. Ich glaube, in der Geschichte jeder neuen Technologie haben Ethiker vielleicht eine Nanosekunde, in der man ihnen eventuell Gehör schenkt. Wenn diese Nanosekunde um ist, ist es vorbei. Mit Blick auf die Synthetische Biologie ist diese Nanosekunde vielleicht längst verstrichen. Wenn eine Technologie erst einmal an dem Punkt angekommen ist, wie es bei der Synthetischen Biologie der Fall ist, an dem Regierungen in Westeuropa und Nordamerika zwischen 2004 und 2010 500 Millionen Dollar in Grundlagenforschung allein im Bereich Biotreibstoffe investiert haben – das sind im Übrigen 28 Prozent aller Investitionen in Biotreibstoffe –, dann besteht ein finanzielles Interesse an der Synthetischen Biologie. Wenn zahlreiche Unternehmen und große Wirtschaftszweige riesige Summen in Joint Ventures und Partnerschaften mit neu gegründeten Firmen stecken und Produktbeteiligungen erwerben

– und es gibt bereits solche Produkte am Markt –, dann nimmt die Wahrscheinlichkeit, dass man auf Ethik- oder Gesetzesvertreter hört, ganz rapide ab.

Zur Feier des zehnjährigen Bestehens der US-amerikanischen *National Nanotechnology Initiative*, zu der ich als Kritiker aus den Reihen der Zivilgesellschaft eingeladen war, war es sehr interessant, die Privatgespräche der Gesetzesvertreter im Raum zu verfolgen. Unter sich haben sie ganz offen darüber geredet, dass sie keinerlei Hoffnung mehr sehen, die Nanotechnologie noch zu regulieren, es sei denn, es passierte etwas absolut Schreckliches, dann hätten sie eine Chance, aber nur im Falle einer Katastrophe. Seit 2001 wurden 50 Milliarden Dollar an öffentlichen Mitteln zu beiden Seiten des Atlantiks in die Nanotechnologie investiert. 50 Milliarden! Da sagen die Regierungen nicht auf einmal: „Hoppla, lieber doch nicht.“ Das machen sie nicht. Und wenn du erst mal 3.000 Produkte auf dem Markt hast, von denen einige gegessen, andere auf den Feldern versprüht und wieder andere in die Haut gerieben werden, dann will die Wirtschaft keine negativen Nachrichten hören. Die Entscheidungen werden von der Wirtschaft getroffen, nicht von den Regierungs- und Gesetzesvertretern.

Dasselbe gilt für die Synthetische Biologie. Wenn Sie möchten, dass man Ihnen zuhört, dann reden Sie lieber schnell, denn es bleibt nicht mehr viel Zeit. Im Verlauf der Tagung des Deutschen Ethikrates wurde noch nichts über die Größenordnung dieses Marktes für unsere Wirtschaft gesagt, aber wir sollten eine Minute darauf verwenden. Die Größenordnung ist gigantisch. Uns sind 36 Länder bekannt, in denen es nationale Initiativen zur Synthetischen Biologie gibt, die sich verpflichtet haben, in diesem Bereich im öffentlichen Sektor zu arbeiten. Wie gesagt, liegen die Investitionen bereits bei einer halben Milliarde Dollar allein im Bereich der Biotreibstoffe mit Synthetischer Biologie, und es wird mehr und mehr investiert. Schon jetzt ist das Investitionsvolumen im Bereich der Synthetischen Biologie angesichts der allgemeinen wirtschaftlichen Lage ziemlich hoch. Der derzeitige Markt wird mit circa 230 Millionen Dollar bewertet – das ist eine niedrige Schätzung, die ich für realistisch halte. Die hohen Schätzwerte gehen bis zu 2,4 Milliarden Dollar bis zum Jahr 2013 oder gar bis zu fünf oder 5,5 Milliarden Dollar bis 2015, je nachdem, mit wem man spricht und wie viel Unsinn die Zahlen enthalten. Die Zahlen enthalten aber auch eine Portion Realität. Das Potenzial dieser Technologie ist immens. Wenn wir uns als zivilgesellschaftliche Organisation Gedanken machen, dann deshalb, weil wir uns Gedanken machen müssen, dass die Sache bei allen Halbwahrheiten genug Wahrheit enthält, um uns wirklich Grund zur Sorge zu geben.

Wir müssen sehen, dass der Markt, um den es hier geht, wahrscheinlich in zwei Sektoren unterteilt ist. Der eine Sektor betrifft Geschmacks- und Duftstoffe, ein Teilgebiet des Marktes für spezielle Chemikalien, die aus biologischen Stoffen hergestellt werden können. Die Idee dahinter, die in den 1970er- und frühen 1980er-Jahren entstand, war, dass es Technologien zur Biofermentation uns irgendwie

ermöglichen könnten, alles im Fass herzustellen, sodass wir ohne all die Äcker und Wälder auskommen, die uns heute diese Erzeugnisse liefern. Das hat jedoch nicht funktioniert. Dennoch sind einige dieser Unternehmen jetzt wieder aufgetaucht und sagen: „Jetzt haben wir die Synthetische Biologie. Das war die fehlende Zutat.“ Jetzt glauben wir, dass wir den 20-Milliarden-Dollar-pro-Jahr-Markt für Geschmacks- und Duftstoffe übernehmen können, insbesondere die Branche für biologische Materialien. Das hat natürlich immense Auswirkungen auf die Entwicklungsländer, insbesondere die Länder in den Tropen und Subtropen, in denen die meisten dieser Rohstoffe erzeugt werden, und auf die Millionen von Menschen, die ihren Lebensunterhalt mit diesen Erzeugnissen verdienen. Wenn die Arbeit, die heute in Produkte wie Vanille, Lakritz, Kakao und Palmöl gesteckt wird, tatsächlich fruchtet – und Palmöl ist ein riesiger Markt –, dann werden einige Wirtschaftszweige in Asien, Afrika und Lateinamerika komplett zerstört werden. Niemand sagt diesen Leuten, dass es hier nicht nur um ein rein ethisches Problem geht, sondern auch um ein wirtschaftliches, dass es Risiken gibt, deren sie sich bewusst sein müssen, dass wir uns ihretwegen Sorgen machen.

Der andere Marktsektor, der noch nicht erwähnt wurde, ist die Biomasse. Es hat eine unglaubliche Faszination für die Wirtschaft, insbesondere die Energie- und Chemieunternehmen, sagen zu können: „Alles, was wir zu tun haben, ist, Biomasse herzustellen und sie dann in all das umzuwandeln, was fossile Kohlenstoffe heute leisten können.“ Wir bewegen uns von einer Wirtschaft der fossilen Kohlenstoffe hin zu einer Wirtschaft der „lebendigen“ Biokohlenstoffe und die Synthetische Biologie ist der Weg dorthin. Das ist der größte Markt auf unserem Planeten – der Energiemarkt, der Nahrungsmittelmarkt, der Materialmarkt, ein großer Teil des Marktes für Pharmazeutika. Die beunruhigendste Zahl, die ich kenne, wird immer wieder von risikofreudigen Investoren genannt. Diese Investoren sagen, dass erst 23,8 Prozent der jährlich verfügbaren terrestrischen Biomasse erschlossen und Teil der westlichen Marktwirtschaft (oder was davon übrig ist) sind. Das heißt, dass nach Auffassung dieser Investoren 76,2 Prozent der jährlich verfügbaren terrestrischen Biomasse noch zu monopolisieren sind. Diese gilt es sich noch einzuverleiben, das ist das Ziel. Die Mikroorganismen oder Mikroben zu finden, die in einer Fabrik zur Umwandlung der Biomasse, in was auch immer man daraus herstellen will, eingesetzt werden können. Was sie wollen, ist Zuckerrohr, Bäume und jedes andere beliebige zelluläre Material in Brennstoffe, Kunststoff, pharmazeutische Materialien oder Nahrungsmittel umwandeln. Es ist anzunehmen, dass, wenn die Fabrik gebaut ist und die Produktion bereits begonnen hat, in der Fabrik entschieden wird, ob Menschen, Autos oder die Habgier der Investoren damit gefüttert werden soll. Das Ziel lautet: Wie konvertieren wir diese Biomasse? Darum geht es, das ist die „grüne Ökonomie“, von der die Regierungsvertreter bei ihren derzeitigen Verhandlungen in Vorbereitung des Erdgipfels sprechen, der 2012 im Juni in Rio de Janeiro stattfindet.

Wie überzeugen wir die tropischen und subtropischen Länder, die zusammen 86 Prozent der jährlich verfügbaren terrestrischen Biomasse besitzen, uns diese zu überlassen? Indem wir diese zu einer vermarktbaren Ware erklären, die wir als groben und nahezu wertlosen Rohstoff behandeln? Und wie können wir die Synthetische Biologie nutzen, um die größtmögliche Menge an Biomasse zur Umwandlung zu gewinnen? Das Entscheidende ist, sich anzugucken, wer die Patente hat, nicht, ob nun Leben hergestellt wurde oder nicht, sondern vielmehr, ob die Patente, die vor allem in den USA, aber auch in Europa beantragt und vergeben werden, tatsächlich Lebensprozesse und Möglichkeiten, Leben herzustellen, regulieren. Das sind Patente über große Teile der DNA, die in so gut wie jeder lebenden Spezies vorkommen, auf jeden Fall aber in jeder lebenden Agrarpflanze.

Bislang wurden weltweit über 300 Patente zugelassen, die sich in der Tat auf DNA-Stränge beziehen, bei denen gesagt wird: „Ja, das haben wir in einer Maispflanze oder Sojabohnenpflanze gefunden.“ Dabei findet sich dieselbe DNA tatsächlich in jeder ausgewachsenen Agrarpflanze auf dem Planeten oder zumindest in jeder Einjahrespflanze der Erde und manchmal auch in perennierenden Getreidearten. Diese Patente wurden genehmigt. Sechs Unternehmen halten 77 Prozent der Patente. Ein paar davon sitzen hier in Deutschland. Sie haben damit ein Monopol und sie kooperieren miteinander, sogar beim Management dieser Patente. Wenn man sich mal anschaut, wer bei der Synthetischen Biologie mitmischt, sieht man, dass sechs führende Chemieunternehmen, sechs der Top-Ten-Chemieunternehmen, sich stark im Bereich der Synthetischen Biologie engagieren, sowie sechs der Top-Ten-Energieunternehmen der Welt und sechs der Top-Ten-Agrarhandelsunternehmen der Welt. Alle beschäftigen sich mit Biomasse, im Übergang von fossilen zu „lebendigen“ Kohlenstoffen. Wenn wir diese Besitz- und Kontrollverhältnisse nicht berücksichtigen, wenn wir nicht berücksichtigen, welche Auswirkungen das auf nachgelagerte Bereiche haben könnte, und zwar wie gesagt nicht nur für die Randbevölkerungen, sondern für jeden, der einen Arbeitsplatz will, dann übersehen wir etwas entscheidend Wichtiges.

Einige der Teilnehmer dieser Tagung haben konstatiert, dass wir noch nicht einmal wissen, ob das Ganze überhaupt funktioniert. Und damit haben sie recht. Ich möchte aber dennoch zwei Dinge klarstellen: Erstens muss eine Technologie nicht funktionieren, um einen Wandel herbeizuführen und für gewisse Leute äußerst profitabel zu sein. Sie müssen nur Ihre Wettbewerber davon überzeugen, dass Sie die Technologie haben, die gewinnen wird, Regierungen davon überzeugen, dass sie sich diese Technologie nicht leisten können und Sie unterstützen müssen, die Technologie auf den Markt zu bringen, und durch Patente schützen, die Sie brauchen, um Ihre Wettbewerber von der Technologie fernzuhalten. Wenn Sie diese drei Dinge haben, dann kann die Technologie dahinter eine reine Illusion sein. Ich würde behaupten, dass zumindest die ersten Generationen genmodifizierter Agrarpflanzen genau das

waren. Diese recht schlampige Technologie ist viel zu schnell und mit viel zu wenig Wissen darüber, was für Konsequenzen sie in jeglicher Hinsicht haben könnte, auf den Markt geworfen worden. Man kann über genmodifizierte Agrarpflanzen denken, was man will, letztendlich haben wir es hier mit einer schlampigen Technologie zu tun. Das mag sich in Zukunft vielleicht irgendwann bessern. In nur wenigen Jahren sind wir von weltweit 7.000 Saatenernter, die jeweils nicht einmal ein halbes Prozent des Weltmarktes für Saatenernter hielten, auf derzeit drei Saatenernter zurückgefallen, die 53 Prozent des Weltmarktes für Saatgut kontrollieren. Nur drei Unternehmen kontrollieren 53 Prozent. Die Top-Ten-Unternehmen kontrollieren, nebenbei bemerkt, 73 Prozent des Saatenernterhandels. Das ist in vielerlei Hinsicht dem Mythos geschuldet, dem Regierungen und kleine Saatenernterunternehmen aufgesessen sind, dass dies der richtige Weg sei. Das war die Voraussetzung. Man musste das regulatorische Umfeld schaffen, in dem dies geschehen konnte, man musste auf Kartellpolitik verzichten, damit diese Firmen in einer Weise verschmelzen konnten, die sonst niemals erlaubt gewesen wäre. Pestizidunternehmen, die Saatenernterunternehmen kaufen – was für eine Absurdität! Doch es wurde zugelassen, weil es sich um eine große, neue, interessante Technologie handelte. Und jetzt haben diese Unternehmen genau das, was sie wollen. Sie müssen keine Forschung mehr betreiben. Sie müssen sich nicht mehr die Mühe machen, weil sie den Markt kontrollieren.

Und die andere Sache bei diesen neuen Technologien ist, dass sie nicht unbedingt funktionieren müssen. Man muss nicht unbedingt wissen, ob sie funktionieren oder nicht oder wie sie funktionieren. Im Verlauf dieser Tagung wurde ein paarmal hervorgehoben, dass wir zuerst einmal diese Dinge wissen müssen. Das müssen wir nicht.

Sehen wir uns die chemische Industrie an. Die chemische Industrie und die Energiewirtschaft arbeiten seit fast einem Jahrhundert mit Katalysatoren. Sie wissen aber nicht, wie der Prozess der Katalysation funktioniert, niemand ist sich da so ganz sicher. Es funktioniert, aber man weiß nicht so genau, wie es funktioniert, und versucht es besser zu verstehen, und doch setzen zwei der größten Industriezweige auf diesem Planeten jahrzehntelang in großem Stil Katalysatoren ein, ohne die Technologie dahinter genau zu verstehen. Und sie haben ohne dieses Wissen für Milliarden von Dollar Raffinerien und Produktionswerke gebaut. Man sieht also, dass die Wirtschaft auch ohne das erforderliche Wissen voranschreitet.

Oder sehen wir uns den Einsatz von Antibiotika in der Futtermittelindustrie an. Ich weiß, Europa schafft das jetzt ab und die USA versprechen, dass sie das auch vorhaben, aber das haben sie nicht. Seit einem halben Jahrhundert werden Antibiotika an Hühner verfüttert und niemand weiß exakt, wie genau Antibiotika das Wachstum der Hühner beschleunigen. Aber wen interessiert das schon, wir werden sie trotzdem weiter einsetzen, wie wir sie bereits seit 50 Jahren einsetzen, weil es Geld bringt. 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. Die Theorie, man könne einfach drei Viertel der verbleibenden Biomasse unserer Erde nehmen – die im Übrigen einen Zweck erfüllt und im Ökosystem zu irgendetwas gut ist – und in einfach alles umwandeln, was man will, ist zu attraktiv. Wahr oder falsch? Diese Kontrollmethode ist einfach zu attraktiv, als dass man sie ignorieren könnte. Also wird man sie anwenden. Und wenn wir nicht über die Fragen und Probleme des Eigentums an der Natur diskutieren und nicht nur darüber, ob eine bestimmte Lebensform nun einzigartig ist oder nicht, wenn wir darüber nicht diskutieren, dann haben wir ein Problem

Für mich sind die zentralen Fragen folgende: Wem gehört die Technologie? Wer kontrolliert sie? Welche Auswirkungen wird sie auf das tägliche Leben der Menschen haben? Was bedeutet sie für unsere Zukunft? Es wurde gesagt, dass sich damit die Probleme des Klimawandels lösen lassen. Und außerdem wurde verkündet, dass diese neueste Technologie angeblich all unsere Probleme lösen kann. Dabei schafft sie auch neue Probleme für uns. Und sie könnte mehr Nutzen bringen. Wir haben uns für ein Moratorium bei den Vereinten Nationen ausgesprochen. Die Gespräche dazu laufen im Übrigen noch. Sie werden vermutlich auf der Konferenz zur Artenvielfaltskonvention in Hyderabad, Indien, im Oktober 2012 fortgesetzt werden. Aber im Moment gibt es zwei Vorschläge zu einem potenziellen Moratorium. Der Grund dafür, dass wir ein Moratorium befürworten, ist, dass es im System der Vereinten Nationen kein anderes Instrument gibt, das Regierungen und Staaten bei neuen Technologien ins Gebot und in die Pflicht nehmen kann.

Diese Möglichkeit hat es gegeben. Auf dem Erdgipfel 1992 in Rio de Janeiro haben Regierungsvertreter gesagt, dass wir weltweit ein System zur Technologiebeurteilung auf globaler, regionaler und nationaler Ebene brauchen. Alle Regierungen hatten sich dazu verpflichtet. 1993, ein Jahr später, haben die USA die UN-Kommission für Wissenschaft und Technologieentwicklung abgeschafft. Ein weiteres Gremium, das 1993 von den Vereinigten Staaten zerstört wurde, war die UN-Kommission zu transnationalen Konzernen, die einzige Stelle innerhalb der Vereinten Nationen, die Beratung für Entwicklungsländer zum Thema Technologietransfer anbot. Diese Stelle wurde ebenfalls abgeschafft. Zu Beginn der Wissenswirtschaft, wie die Vereinten Nationen sie bezeichneten, verpassten sich die UN selbst eine Gehirnamputation: „Wir sind eigentlich nicht in der Lage, die Technologien zu verstehen.“ Das ist einfach absurd! Bleibt uns also nur, Technologien in einem späteren Entwicklungsstadium zu betrachten und zu sagen: „Das ist jetzt aber nicht so gut“ oder „Wir sind sehr beunruhigt, wir müssen das besser verstehen und uns überlegen, was zu tun ist“. Und die einzige Möglichkeit, die uns bleibt, ist die Einberufung eines Moratoriums. Da werden die Regierungen aufmerksam und spitzen die Ohren. Es steckt zwar nicht viel Autorität dahinter, aber zumindest lässt es alle aufhorchen und nachdenklich

werden. Deshalb streben wir es für das Geo-Engineering an, bei genmanipulierten Terminatorsamen, wo es bereits ein Moratorium gibt, und auch für die Synthetische Biologie.

Ein letztes Wort: Ich möchte empfehlen, Drew Endy, einen der führenden Wissenschaftler, der beim iGEM-Projekt mitarbeitet, zu einer Diskussionsrunde einzuladen. Ihm sind all diese Probleme sehr bewusst und vertraut und er begeistert sich sehr für die Synthetische Biologie. Als er im Jahr 2008 an einer Tagung eines wissenschaftlichen Ausschusses der UN-Artenvielfaltskonvention teilnahm, sagte er zu den anwesenden Wissenschaftlern: „Machen Sie sich keine Sorgen um den Verlust der Artenvielfalt. Ich kann sie Ihnen wieder herstellen!“ Und das war nur teilweise als Witz gemeint.



# Umgang mit Chancen und Risiken der Synthetischen Biologie

Die Synthetische Biologie ist ein aufstrebendes Forschungsgebiet der modernen Biologie. Sie umfasst das Design und die Konstruktion neuartiger biologischer Stoffwechselwege lebender Organismen, genetischer Bausteine sowie das Neudesign und die Konstruktion bereits existierender, natürlicher biologischer Systeme. Dazu vereint sie Methoden der chemischen Synthese von DNA mit softwaregesteuerten Techniken für deren Design und Zusammenbau. Sie ermöglicht Wissenschaftlern die Konstruktion genetischen Materials, das mit herkömmlichen Methoden der Gentechnik überhaupt nicht oder aber nur sehr schwer zugänglich wäre.

Die Synthetische Biologie umfasst Prinzipien und Elemente der Molekularbiologie, Informatik, Ingenieurwissenschaft und industriellen Mikrobiologie und wird dadurch die Art und Weise der biologischen Forschungs- und Entwicklungsarbeit in den nächsten zehn Jahren sowohl in der Grundlagenforschung als auch in der angewandten Forschung grundlegend verändern. Während traditionelle Molekularbiologen bisher das Ziel verfolgten zu verstehen, wie existierende biologische Systeme arbeiten, streben Forscher der Synthetischen Biologie nun an, neuartige Systeme zu planen und zu konstruieren. Die Synthetische Biologie unterscheidet sich hier von der traditionellen Gentechnik, die typischerweise Veränderungen an bereits existierenden Genomen vornimmt. Die Synthetische Biologie ist deutlich effizienter als die aktuelle rekombinante DNA-Technologie und wird die Durchführung zukünftiger Projekte erleichtern und beschleunigen. Die Synthetische Biologie kann in vielen Bereichen Anwendung finden. So hat sie beispielsweise das Potenzial, die Entwicklung von Medikamenten oder von Biotreibstoffen zu beschleunigen. Darüber hinaus

könnte sie im Falle einer drohenden Pandemie die Entwicklung und Produktion notwendiger Impfstoffe ermöglichen.

Derzeit arbeiten bereits viele Forscher privater Firmen, aber auch öffentlicher Institute daran, mithilfe der Synthetischen Biologie Lösungen für praktische Problemstellungen zu finden. Ähnlich wie standardisierte Kits und Plattformtechnologien Entwicklungen in der Genomforschung beschleunigten, wird die Synthetische Biologie von einem Angebot moderner, standardisierter und qualitätskontrollierter Kits und den entsprechenden Plattformtechnologien und Softwarelösungen profitieren. Je früher Wissenschaftler solche Angebote in Form innovativer Produkte und Dienstleistungen nutzen können, umso schneller wird die Synthetische Biologie als transformative Technologie ökonomisch relevante Innovationen über weite Anwendungsbereiche ermöglichen.

## Die Visionen der Synthetischen Biologie

Die Synthetische Biologie hat generell das Potenzial, Forschungsprojekte im Bereich der Biowissenschaften zu beschleunigen. Aufgrund des interdisziplinären Ansatzes gibt es vielfältige Anwendungsfelder:

*Grundlagenforschung:* Schon jetzt verändert die Schlüsseltechnologie der Synthetischen Biologie – die Gensynthese – die Möglichkeiten der Grundlagenforschung in der Molekularbiologie, weil es mit ihrer Hilfe möglich ist, notwendige Genbausteine schneller und günstiger zu produzieren als mit konventionellen rekombinanten DNA-Techniken.

*Medikamentenentwicklung:* Medikamentenentwicklung ist teuer, und die Erfolgsraten sind niedrig. Die Synthetische Biologie könnte Werkzeuge liefern, um existierende Systeme auf einfache Weise so zu verändern, dass sie zum Beispiel neuartige Wirkstoffe produzieren. Zeit und Kosten für die Entwicklung von Medikamenten ließen sich so reduzieren. Die Synthetische Biologie könnte zum Beispiel im Falle einer Pandemie entscheidende Zeitvorteile bei der Herstellung von Impfstoffen bieten.

*Alternative Energiequellen:* Die Synthetische Biologie könnte die Entwicklung sauberer, billiger und verlässlicher Energiequellen unterstützen – etwa mithilfe von Algen. Algen produzieren und speichern natürlicherweise Öle. Sie haben außerdem den großen Vorteil, dass sie dazu weder Zucker noch Zellulose benötigen. Ihnen genügt Kohlendioxid aus der Luft als Kohlenstoffquelle. Die Synthetische Biologie könnte helfen, die Ausbeuten zu maximieren, die Qualität der Öle zu erhöhen und die Herstellung unerwünschter Nebenprodukte zu reduzieren.

*Umweltverschmutzung:* Meist sind Mikroorganismengemeinschaften für die natürlich auftretende Biodegradation von Schadstoffen verantwortlich. Kenntnisse der metabolischen und genetischen Kontrollmechanismen dieser Organismen könnten

helfen, neue Werkzeuge zu entwickeln, um Umweltgifte abzubauen. Zwar werden schon heute Bakterien vereinzelt genutzt, um bestimmte Chemikalien zu entgiften. Die Synthetische Biologie könnte aber helfen, neue und noch wirksamere Werkzeuge zu entwickeln, mit denen sich zukünftig noch mehr Umweltschadstoffe als bisher beseitigen lassen.

## Ausbildung

Die Synthetische Biologie stellt eine der Zukunftstechnologien des 21. Jahrhunderts dar und wird hinsichtlich ihres wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Potenzials schon heute mit den Entwicklungen der Informationstechnologie in den vergangenen 30 Jahren verglichen. Gemessen daran sind sowohl die Förderinstrumente als auch die Strukturen an Hochschulen und öffentlichen Instituten unterentwickelt. Da die Synthetische Biologie an der Grenzfläche zwischen Informatik, den Ingenieurwissenschaften und der modernen Biologie angesiedelt ist, müssen in Deutschland und Europa disziplinenübergreifende Studiengänge auf den Weg gebracht werden, um hier die Wettbewerbsfähigkeit zu wahren. Internationale Aktivitäten wie beispielsweise die Beteiligung junger Studierender an dem vom *Massachusetts Institute of Technology* ins Leben gerufenen iGEM-Wettbewerb unterstreichen die Akzeptanz dieser neuen Forschungsrichtung bei unseren Nachwuchswissenschaftlern, die in neuen Studienrichtungen kanalisiert und gefördert werden sollte. Das mit der Synthetischen Biologie verknüpfte wirtschaftliche Potenzial muss sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene umfänglicher und fokussierter in Forschungsprogrammen abgebildet werden, die idealerweise auch die Industrie als Partner einbinden sollten. Angesichts der Geschwindigkeit des Erkenntniszuwachses, der Entwicklung neuer Technologieplattformen und den damit verknüpften Risiken für Umwelt und Gesellschaft sollten Technologiefolgenabschätzung und ethische Fragestellungen in Studiengängen und Förderprogrammen entsprechend gewichtet werden.

## Mögliche Risiken

Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten und des multidisziplinären Ansatzes sind Forschung und Produkte der Synthetischen Biologie durch verschiedene staatliche Institutionen reglementiert. Dazu gehören die *National Institutes of Health*, die *Food and Drug Administration*, die *Environmental Protection Agency*, die *National Science Foundation* und das *United States Department of Agriculture*. Derzeit diskutieren die Regulierungsbehörden noch darüber, inwieweit die Synthetische Biologie sich von der herkömmlichen biotechnologischen Forschung

und bisherigen gentechnischen Arbeitsfeldern unterscheidet. Das Ergebnis dieser Debatte wird darüber entscheiden, ob existierende Gesetze angewendet werden können oder ob und in welchem Umfang sie angepasst werden müssen. Einige Interessengruppen vertreten die Meinung, dass es keine klare und eindeutige Trennung zwischen Synthetischer Biologie und konventionellen Ansätzen der Biotechnologie gibt. Deshalb halten sie die Synthetische Biologie zumindest aktuell für nicht gefährlicher als herkömmliche Anwendungen.

Wie alle Technologien birgt auch die Synthetische Biologie das Risiko von Dual-Use-Anwendungen. Die zunehmende Verfügbarkeit von DNA-Datenbanken, freier DNA-Designsoftware und die Möglichkeit, Gene bei spezialisierten Herstellern zu bestellen, ermöglicht zumindest theoretisch jedem Internetnutzer einen günstigen Zugang zur Synthetischen Biologie. Dadurch erhöht sich aber sowohl das Risiko für Unfälle als auch für eine absichtliche Entwicklung und Freisetzung von Krankheitserregern. Dies schafft neue Herausforderungen für die Gewährleistung der Biosicherheit.

*GeneArt/Life Technologies* hat aus diesem Grund zahlreiche interne Richtlinien aufgesetzt, die verhindern sollen, dass Gensequenzen mit Dual-Use-Aspekten in die falschen Hände gelangen. Darüber hinaus ist *GeneArt/Life Technologies* Mitglied des *International Gene Synthesis Consortium* (IGSC), einem Zusammenschluss von Gensyntheseunternehmen, die weltweit rund 80 Prozent der kommerziellen Gensynthesekapazität abdecken. Die Mitglieder des IGSC haben in Zusammenarbeit mit den zuständigen US-Behörden mit dem *Harmonized Screening Protocol* proaktiv Standards geschaffen, um einen verantwortungsvollen Umgang mit Genen sicherzustellen und den Missbrauch der Technologie zu verhindern. Dazu gehören – über die rechtlichen Vorgaben hinaus – das Screenen von Kunden, der Abgleich von bestellten Gensequenzen mit einer Datenbank, die Ablehnung von Bestellungen zum Beispiel durch Privatpersonen, die Meldung solcher Vorfälle und eine aussagekräftige Dokumentation und Konservierung der Daten. Das IGSC-Protokoll dient als praktikable Rahmenbedingung, welche die Nutzung des Potenzials der Synthetischen Biologie ermöglicht und gleichzeitig vor einem Missbrauch schützt. Wenn wissenschaftliche Entwicklungen dies nötig machen sollten, kann es jederzeit angepasst werden. Zusätzlich sollten die Gesetzgeber rechtliche Rahmenbedingungen schaffen, die aber flexibel an die Entwicklungen der Technologie angepasst werden. Die entsprechenden Regulationsbehörden sollten den aktuellen Stand der Forschung regelmäßig bewerten, um sicherzustellen, dass die aktuellen Sicherheitsbestimmungen ausreichen, ohne aber den wissenschaftlichen Fortschritt zu behindern. Eine vom Gesetzgeber verwaltete und über Expertengremien ständig aktualisierte und international abgestimmte Liste mit Nukleinsäuresequenzen, die im Zusammenhang mit einem möglichen dualen Verwendungszweck zu sehen sind, wäre als Basis für das Screenen und die Bewertung von Kundensequenzen wünschenswert.

## Ethische Fragestellungen

Die Synthetische Biologie wirft eine Reihe der üblichen bioethischen Fragen auf: Dazu gehören Fragen zur Verteilungsgerechtigkeit, gesellschaftlichen Fairness und zum Einsatz von Ressourcen innerhalb einer Gesellschaft sowie die Frage, wer von technologischen Fortschritten profitiert. Wie in der traditionellen Biotechnologie und Gentechnik taucht die Frage auf, inwieweit Wissenschaft benutzt werden darf, um Menschen, Tiere oder andere Lebensformen durch nicht therapeutische genetische Technologien zu „verbessern“?

Darüber hinaus generiert die Synthetische Biologie aber auch einige völlig neue Fragestellungen. Darf der Mensch zum Beispiel die Welt nach seinen Bedürfnissen maßschneidern und sollte es diesbezüglich Grenzen geben? Verändert sich die Antwort auf diese Frage, wenn wir die Auswirkungen eines Fehlers im Vorfeld nicht abschätzen können?

Historisch gesehen hat sich unsere Gesellschaft bisher immer gegen neue Technologien gewehrt, sie aber letztlich akzeptiert, wenn sie ihrem Wohle dienen. Das Potenzial der Synthetischen Biologie für die Entwicklung von Medikamenten, Biotreibstoffen und den Abbau von Schadstoffen in der Umwelt ist groß. Wenn diese wichtige Erkenntnis in der Bevölkerung nicht ankommt, kann dies die Akzeptanz, den Fortschritt und den Wohlstand in den Industrieländern deutlich beeinträchtigen. Die wissenschaftliche Gemeinschaft muss deshalb erkennen, wie wichtig Transparenz und Information ist, und diese nicht nur in ihrem direkten Umfeld fördern, sondern auch dazu beitragen, diese Themen in der Öffentlichkeit zu diskutieren.



# Synthetische Biologie und gesellschaftliche Verantwortung

Ist jetzt der richtige Zeitpunkt, sich mit gesellschaftlichen Folgen und Implikationen der Synthetischen Biologie zu befassen? In dem Prozess ihrer Entwicklung stehen wir nicht mehr ganz am Anfang. Zum einen ist die Synthetische Biologie ein neues, ein dynamisches Forschungsfeld, das geprägt ist von starker Verknüpfung von Molekularbiologie, Genomforschung, Biotechnologie, Informationstechnik und Ingenieurwissenschaften. Es ist im Aufbau, das spezifische Arbeitsfeld ist noch nicht abgesteckt. Es hat sich noch keine einheitliche Definition von Synthetischer Biologie durchgesetzt. Synthetische Biologie ist noch weitgehend eine Domäne der Grundlagenforschung. Auf der anderen Seite hat Pat Mooney zu Recht darauf hingewiesen, dass es schon Produkte und Produktionsfelder gibt, die weltweit bereits mit erheblichen Marktumsätzen verbunden sind: Beispiele dafür sind die Produktion des Malariawirkstoffs Artemisinin und die kommerzielle Herstellung chemisch synthetisierter Gene. Auffällig ist, dass große Zurückhaltung bei der Beantwortung der Frage besteht, dezidierte Einschätzungen über mögliche Entwicklungen auf diesem Forschungsfeld in den nächsten zehn bis 15 Jahren vorzunehmen. Andererseits beinhaltet der Beitrag von Petra Schwille durchaus eine Zeitperspektive von mindestens zehn Jahren, denn ihre Vorausschau reicht bis in die Entwicklung von Produkten. Der Entwicklungsstand der Synthetischen Biologie schafft in Wissenschaft und Gesellschaft großen Klärungsbedarf und wirft die Frage auf, wie wir zukunftsorientiert Verantwortung wahrnehmen.

Klärungsbedürftig ist zum einen unser Verständnis von Synthetischer Biologie. Hier ist ein neues Forschungsfeld im Aufbau, das – ähnlich wie andere

Forschungsbereiche – noch um Abgrenzung von der Gentechnik ringt. Die Diskussion in den 1980er-Jahren über unser Verständnis von Biotechnologie, die heutige Diskussion darüber, was Nanotechnologie umfasst, zeigen deutlich, dass dieser Klärungsbedarf auf allen Wissenschaftsfeldern entsteht, die sich an der Schnittstelle etablierter Disziplinen entwickeln. Unsere Verständigung darüber, was den Kern und was das wirklich Neue der Synthetischen Biologie bildet, ist in Wissenschaft und Gesellschaft weltweit noch nicht abgeschlossen. Gemeinsam ist den meisten Arbeitsgebieten der Synthetischen Biologie die Anwendung von technischen Prinzipien und Ingenieurmethoden für den Entwurf und die gezielte Konstruktion von biologischen Teilsystemen bis hin zu Zellen und ganzen Organismen, es geht um Techniken des Designs, der Konstruktion von Leben, aber – bisher – nicht um die Schaffung künstlichen Lebens.

Was bedeutet nun Verantwortliches Handeln von Wissenschaft und Gesellschaft auf dem Feld der Synthetischen Biologie? Die Transparenz der heutigen Wissenschaft ermöglicht es uns, die Entwicklung einer neuen Wissenschaft von Anfang an mit Reflexion und Folgenabschätzung zu begleiten, ohne Blindheit für die Folgen. Geboten ist schon jetzt ein vom Prinzip der Vorsorge getragenes Vorgehen von Wissenschaft und Gesellschaft auf einem Forschungsfeld, das sich derzeit durch Unübersichtlichkeit und bruchstückhaftes Wissen – typisch für ein neues Forschungsfeld – auszeichnet. Zentraler Baustein dafür ist ein gesellschaftliches Monitoring zur Begleitung der weiteren Konturierung und Profilierung des neuen Forschungsfeldes. Wir müssen dem interdisziplinären Dialog in der Wissenschaft und der Gesellschaft die Chance geben, so früh wie möglich die zentrale Frage zu beantworten: Welches Potenzial einer neuen Qualität und Tiefe des Eingriffs des Menschen in die Natur existiert schon oder ist in Zukunft denkbar? Dazu brauchen wir eine interdisziplinäre Begleitforschung, die dabei hilft, so früh wie möglich notwendiges Wissen über mögliche Risiken oder Gefahren für Mensch und Umwelt bereitzustellen und die Frage zu beantworten, wo Grundrechte des Menschen betroffen sein könnten und wo sich aus ethischen Gründen die Frage nach Grenzen der Anwendung dieses Wissenschaftsfeldes, dieser Technik stellt. Die Forderung nach einem allgemeinen Forschungsmoratorium auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie ist für mich dazu keine Alternative. Sie kann sich nur auf bestehende Wissenslücken stützen. Synthetische Biologie ist keine Risikotechnologie, es wird auch sichere und erwünschte Anwendungsfelder geben.

Fragen, die sich auf das neue Wissenschaftsfeld beziehen, reichen von möglichen neuen Sicherheitsrisiken über die Dual-Use-Problematik bis hin zur Frage eines sinnvollen Beitrags zu gesellschaftlichen Bedarfsweldern, also auch zu der Frage nach sinnvollen Schwerpunkten einer Forschungs- und Entwicklungsstrategie auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie. Sind sinnvolle, ja erwünschte Schwerpunkte einer öffentlichen Förderung die Herstellung von medizinischen Wirkstoffen oder

Vitaminen, die technische Rekonstruktion der Fotosynthese oder die Verarbeitung von Biomasse?

Es geht dabei aktuell nur um Anwendungsperspektiven der Synthetischen Biologie auf dem Feld der Mikroorganismen, um Bakterien, um Pilze, etwa um Hefe, und um Algen. Hefe beispielsweise wird seit Jahrhunderten technisch eingesetzt, ihr Stoffwechsel mit biologischen Methoden zielgerichtet für die Herstellung von Vitaminen oder Arzneiwirkstoffen verändert. Hier verfügen wir längst über ein System der Gewährleistung biologischer Sicherheit zum Schutz von Mensch und Umwelt. Die Herstellung von Mikroorganismen, die durch gezielte Veränderungen ihrer Gene mit neuartigen Eigenschaften ausgestattet werden, unterliegt einem Genehmigungsverfahren, in dem eine Sicherheitsbewertung dieser Mikroorganismen vorgenommen wird. Neue Anfragen an die biologische Sicherheit können sich ergeben, wenn synthetische Organismen entweder einen veränderten genetischen Code enthalten oder Stoffe bilden, die weder aus der Natur noch aus der Chemie bekannt sind. Produktionsstämme von Mikroorganismen mit eingreifend veränderten Eigenschaften sind in der Regel in der Umwelt nicht überlebensfähig. Ihr technischer Einsatz erfolgt im geschlossenen System, um ein Eindringen in die Umwelt auszuschließen. Heute schon besteht ein De-facto-Moratorium für die Freisetzung gentechnisch veränderter Mikroorganismen. Eine vom Prinzip der Vorsorge getragene Innovationsstrategie sollte ein Freisetzungsmoratorium auf dem Feld der Synthetischen Biologie beinhalten. Allerdings stellt sich die Freisetzungsfrage bei den aktuellen Forschungsprogrammen nicht. In vorsichtiger Weise haben die Deutsche Forschungsgemeinschaft, die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und die Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina in ihrer Stellungnahme angedeutet, dass die Freisetzungsfrage – das betrifft die Arbeit der Synthetischen Biologie an Organismen, etwa an Pflanzen, Tieren oder auch an Krankheitsregenern – neue Verantwortungsfragen aufwirft.

Wie bei der traditionellen Gentechnik stellen sich schon heute auf einigen Arbeitsgebieten der Synthetischen Biologie, vor allem auf dem Gebiet der DNA-Synthese, Fragen eines möglichen Missbrauchs zu militärischen Zwecken. Diese Frage stellt sich, wenn Gene kopiert oder verändert hergestellt werden, die Träger pathogener oder toxischer Eigenschaften von Mikroorganismen oder Viren sind, die zu den biologischen Waffen gezählt werden. Hier haben Firmen im weltweiten Verbund eine freiwillige Vereinbarung getroffen, um einen Missbrauch ihrer Produkte auszuschließen. Klärungsbedürftig ist, ob hier zusätzlicher gesellschaftlicher Handlungsbedarf besteht.

Es ist auch deutlich geworden: Tendenzen der Synthetischen Biologie haben zu erheblichem kulturellen Unbehagen geführt. Dieses Unbehagen wird durch selbstkandalisierende Propaganda aus der Wissenschaft, wie etwa Craig Venters ausdrücklicher Anspruch, künstliches Leben geschaffen zu haben, gefördert. Die Entwicklung

der Synthetischen Biologie wirft durchaus Fragen nach unserem Verständnis von Leben, nach verantwortlichem Umgang mit Leben auf. Allerdings kann die These, mit der Synthetischen Biologie würde der Mensch vom Lebensgestalter, der er schon immer war, zum Schöpfer des Lebens mutieren, nicht überzeugen. Denn hier wird die Konstruktion des Lebendigen, die gezielte Veränderung von Leben – durchaus typisch für die Synthetische Biologie – mit der Schöpfung von Leben aus nicht Lebendem in eins gesetzt wird. Dafür gibt es in der Synthetischen Biologie allerdings bisher keinerlei Anhaltspunkte.

Wir haben kulturell eine klare Differenzierung in unserem gesellschaftlichen Verständnis von Umgang mit Leben: Wir messen dem Menschen eine eigene Würde zu. Wir stellen mit unserem Verständnis von Tierschutz bestimmte Lebensformen unter einen besonderen Schutz. Es wird bereits diskutiert, etwa in der Schweiz, ob auch der Pflanzenwelt ein moralischer Status beigemessen werden muss. Offen bleibt, ob sich auf Dauer auch aus der Bakterienkonstruktion Anfragen an unser Verständnis von Lebensschutz ergeben könnten, ob es auch im Bereich der Mikrobiologie ethische Grundsatzfragen gibt.

Handlungsbedarf gibt es sicher auch im Kontext des Schutzes der Menschenwürde. Es gibt weltweiten Konsens, dass es ethisch unverantwortlich ist, die Erbanlagen des Menschen gezielt zu verändern. Entsprechende Verbote wurden für gentechnische Eingriffe in die Erbanlagen des Menschen erlassen. Eine vom Prinzip der Vorsorge getragene Innovationsstrategie auf dem Feld der Synthetischen Biologie sollte diese Verbote auch auf Eingriffe in die Erbanlagen des Menschen unter Verwendung von Techniken der Synthetischen Biologie erweitern.

# Zur gesellschaftlichen Verantwortung auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie

## Was ist Synthetische Biologie?

1. Die Synthetische Biologie ist ein neues und dynamisches Forschungsfeld und hat große wissenschaftliche und mediale Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Das Forschungsfeld ist geprägt von einer starken Verknüpfung von Molekularbiologie, Genomforschung, Biotechnologie, Informationstechnik und Ingenieurwissenschaften. Es hat sich noch keine einheitliche Definition von Synthetischer Biologie durchgesetzt, das spezifische Arbeitsfeld wird vielmehr erst abgesteckt. Der Synthetischen Biologie werden recht unterschiedliche Arbeitsgebiete zugerechnet:<sup>1</sup>

- » Synthese von bekannten wie neuartigen Gensequenzen (DNA-Synthese) für die Konstruktion von genetischen Schaltkreisen;
- » gezielte Kombination von synthetischen Genen und zugehörigen regulatorischen Elementen für die Assemblierung von Produktionssystemen für Metabolite (*metabolic engineering*);
- » Konstruktion kleinstmöglicher beziehungsweise optimaler Genome, unter anderem für die Grundlagenforschung und den Aufbau von biologischen Produktionssystemen (Minimalgenome);

---

<sup>1</sup> Vgl. dazu DECHEMA, Thesenpapier zum Status der Synthetischen Biologie in Deutschland, S. 13, online im Internet: [http://www.dechema.de/biotech\\_media/Downloads/Synth\\_Bio\\_2011\\_NEU\\_3.pdf](http://www.dechema.de/biotech_media/Downloads/Synth_Bio_2011_NEU_3.pdf) [5.12.2012].

- >> Bottom-up-Konstruktionen von neuartigen Einheiten, die alle notwendigen Komponenten für Lebensfunktionen enthalten und bestimmte biologische Reaktionsabläufe ermöglichen (Protozellen);
- >> Einbau nicht natürlicher Bausteine in Biopolymere und Arbeiten zum Aufbau neuartiger genetischer Codes (Xenobiologie).

Die Synthetische Biologie ist noch weitgehend Grundlagenforschung. Es gibt aber schon vereinzelte Produktentwicklungen mit Marktzugang. Beispiele dafür sind die Produktion des Malariawirkstoffs Artemisinin und die kommerzielle Herstellung chemisch synthetisierter Gene.

2. Weltweit haben vor allem die Forschungen von Craig Venter die öffentliche Wahrnehmung der Synthetischen Biologie geprägt. Ihm gelang es, ein natürliches Genom durch ein synthetisches Genom zu ersetzen, was medienwirksam als Erschaffung der ersten künstlich hergestellten Zelle inszeniert wurde. Durch die öffentliche Fokussierung auf dieses einzelne Forschungsergebnis geraten allerdings die genannte Breite, die gegenwärtige Offenheit und Dynamik sowie spätere mögliche Anwendungsperspektiven aus dem Blickfeld. Die Diskussion um Venters Forschung zeigte allerdings auf, dass sowohl in der Wissenschaft wie in der Gesellschaft Klärungsbedarf zu unserem Verständnis von Leben besteht.

3. Ein wichtiges Charakteristikum der Synthetischen Biologie ist das ingenieurmäßige Herangehen zum Zwecke des Entwurfs und der gezielten Konstruktion von biologischen Teilsystemen, aber auch von ganzen Zellen bis hin zum ganzen Organismus. Bei einer solchen Strategie geht es auch darum, neuartige Stoffe, die so in der Natur nicht bekannt sind, gezielt herzustellen. Eine solche Zielbestimmung hat die Synthetische Biologie mit der Synthetischen Chemie gemein, die seit dem 19. Jahrhundert vom Nachbau von Naturstoffen zur Synthese von Stoffen mit neuartigen, in der Natur bisher nicht vorkommenden Eigenschaften übergegangen ist. Wissenschaft und Wirtschaft haben dabei die Gefahren synthetischer Chemikalien für Umwelt und Gesundheit vernachlässigt. Viele der Arbeitsgebiete der Synthetischen Biologie weisen damit die Perspektive einer neuen Tiefe des gezielten Eingriffs in Lebensstrukturen und Lebensprozesse auf. Viele unter den gegenwärtigen Projekten der Synthetischen Biologie, eingeschlossen die Versuche von Craig Venter, sind mehr oder minder kühne Extrapolationen dessen, was in der Natur nicht realisiert und trotzdem technisch möglich ist, ohne die biochemischen Grundelemente des Lebens, wie es sich auf der Erde entwickelt hat, zu transzendieren. Eine wirklich grundlegend neue Situation entstünde, wenn es gelänge, auf völlig anderer materieller Basis Systeme zu konstruieren, die die wichtigsten Charakteristika des Lebens aufwiesen: Autopoiesis (Selbstorganisation räumlich abgeschlossener, jedoch energetisch offener, in Energie- und Materialaustausch mit der Außenwelt interagierender metabolischer Systeme), Selbstreproduktion, Variation und Auslese auf Basis

Darwin'-Mendel'scher Vererbungsweise und natürlicher Zuchtwahl, anpassungsfähige Reaktion auf Reize aus der Außenwelt. Man kann nur spekulieren, welche Auswirkungen dies auf das traditionelle interkulturell-kollektive Welt- und Menschenbild hätte. Bei der Synthetischen Biologie im heutigen Verständnis geht es aber nicht um die Schaffung künstlichen Lebens.

4. Die Entwicklung von Techniken des Designs, der Konstruktion von Leben, konzentriert sich auf das Feld einzelliger Mikroorganismen, von Kleinlebewesen, wie zum Beispiel Bakterien, Pilzen – vor allem Hefen und Schimmelpilzen – und Algen. Der Mensch setzt Mikroorganismen seit Jahrhunderten technisch ein und verändert mit biologischen Methoden zielbewusst ihren Stoffwechsel, etwa zur Herstellung von Vitaminen oder Arzneiwirkstoffen. Dabei entstehen auch mikrobielle Produktionsstämme mit so eingreifend veränderten Eigenschaften, dass sie unter natürlichen Bedingungen nicht überlebensfähig wären. Der technische Einsatz von veränderten Mikroorganismen erfolgt in der Regel im geschlossenen System, um eine Freisetzung in die Umwelt auszuschließen. Beim Umgang mit Mikroorganismen stellen sich aber schon in der konventionellen Biotechnologie dringende Fragen an die biologische Sicherheit, um Gefährdungen für Mensch und Umwelt auszuschließen.

5. Wenn in der Forschung Mikroorganismen durch gezielte Veränderungen ihres Genoms mit neuartigen Eigenschaften ausgestattet werden, müssen sie den Vorgaben des Gentechnikgesetzes und damit der Sicherheitsbewertung durch die Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit unterliegen. Dies gilt auch für Arbeiten der Synthetischen Biologie. Seit einer ersten Freisetzung gentechnisch veränderter Mikroorganismen in Deutschland im Jahr 1993 gibt es faktisch ein Freisetzungsmoratorium. Eine derartige Zurückhaltung zeigen viele Industriestaaten. Sie ist auch gegenüber einer Freisetzung von solchen Lebewesen in die Umwelt, die durch Strategien der Synthetischen Biologie konstruiert werden, geboten. Ein solches De-facto-Moratorium ist von zentraler Bedeutung für eine vom Prinzip der Vorsorge getragene Innovationsstrategie auf dem Feld der Synthetischen Biologie. Mit dem heutigen noch begrenzten Kenntnisstand ist eine Freisetzung von Lebewesen mit signifikant neuartigen Eigenschaften in die Umwelt nicht zu verantworten. Verschärfte Anforderungen an die Sicherheit würden entstehen, wenn synthetische Organismen entweder einen veränderten genetischen Code enthalten oder Stoffe bilden, die weder aus der Natur noch aus der Chemie bekannt sind.

6. Wie bei der traditionellen Gentechnik und hier vor allem im Rahmen der Mikrobiologie stellen sich schon heute in einigen Arbeitsbereichen der Synthetischen Biologie, und zwar vor allem auf dem Gebiet der DNA-Synthese, auch Fragen eines möglichen Missbrauchs zu militärischen Zwecken. So können durch chemische Synthese auch Gene, die Träger pathogener oder toxischer Eigenschaften von Mikroorganismen oder Viren sind und die zu den biologischen Waffen gezählt werden, technisch kopiert oder verändert hergestellt werden. Führende Unternehmen, die

künstlich synthetisierte Gene produzieren, haben weltweit eine Vereinbarung getroffen, um einen Missbrauch durch ihre Produkte auszuschließen. Nach unserer Auffassung sollte die Politik die von den Unternehmen ergriffenen Maßnahmen der Selbstverpflichtung fördern, und zwar insbesondere durch die Erstellung von Datensammlungen zu Genen mit sicherheitsrelevanten Eigenschaften.

## Umgang mit kulturellem Unbehagen

7. Neue Techniken zur gezielten Veränderung von Leben sind auch in der Biotechnologie bei den einfachen Lebensformen der Mikroorganismen entwickelt und in diesem Bereich vorrangig eingesetzt worden. Ihre Anwendung ist aber auch auf Pflanzen und Tiere ausgeweitet worden. Deshalb kann man auch auf dem Feld der Synthetischen Biologie nicht generell ausschließen, dass Strategien der gezielten Konstruktion von Leben auf Dauer auch höhere Organismen einbeziehen. Es stellt sich die Frage, inwieweit es mit unserem Verständnis von der Verantwortung des Menschen für Natur und Umwelt vereinbar ist, nicht nur Gene über Artengrenzen hinweg auszutauschen und die Eigenschaften einzelner Gene dabei zu verändern, sondern chemisch-biologisch das Genom von Lebewesen zu konstruieren, zu designen, zu optimieren und mit neuen Eigenschaften auszustatten, um so eventuell zur Produktion von Leben überzugehen. Können wir die Folgen eines solchen irreversiblen Eingriffs in die Evolution – denn konstruierte Lebewesen würden Teil der Evolution mit Mutationsprozessen werden – verstehen, überblicken, verantworten? Eine Anwendung der Gentechnik zur Veränderung menschlicher Erbanlagen ist allerdings bislang weltweit nicht erfolgt, denn es wurden auf nationaler Ebene wie in internationalen Konventionen Verbote verankert, in die auch die Methoden der Synthetischen Biologie einzubeziehen sind. Deshalb brauchen wir eine gesellschaftliche Klärung zu der Frage, ob und gegebenenfalls welche Grenzen für einen verantwortbaren Umgang mit der Synthetischen Biologie auf dem Feld höherer Organismen auf Dauer geboten sind.

8. Die neue Eingriffstiefe der Forschungen im Bereich der Synthetischen Biologie, vor allem aber die zum Teil von den Forschern bewusst inszenierte Selbstskandalisierung der eigenen Resultate (zum Beispiel Craig Venters ausdrücklicher Anspruch, künstliches Leben neu geschaffen zu haben), erzeugen angesichts der zuvor genannten Fragen bei nicht wenigen Menschen kulturelles Unbehagen und Unsicherheit, wie die Synthetische Biologie und ihre Risiken einzuschätzen sind. Solches Unbehagen drückt sich in der metaphorischen Verwendung religiöser Versatzstücke („Playing God“, „Homo creator“) oder literarischer Motive (Frankenstein, Büchse der Pandora) aus. Dieses Unbehagen lässt sich nicht mit den Instrumentarien der klassischen Technikfolgenabschätzung bewältigen. Vielmehr muss eine solche kulturelle Verunsicherung ernst genommen und in der Gesellschaft diskursiv verarbeitet

werden. Wie das Beispiel der grünen Gentechnik eindrücklich beweist, scheitern wissenschaftliche Innovationen, wenn Wissenschaftskommunikation nur so verstanden wird, dass eine als naiv, als unwissend eingeschätzte Öffentlichkeit durch Experten aufgeklärt wird. Der Versuch, die in religiöser oder literarischer Metaphorik artikuliert Verunsicherung auf die These zuzuspitzen, mit der Synthetischen Biologie würde der Mensch in kritikwürdiger Weise vom Lebensgestalter (*Homo faber*), der er immer schon war, zum Schöpfer des Lebens (*Homo creator*) mutieren, kann aber nicht überzeugen, da hier die gezielte Veränderung von Leben einerseits und die Schöpfung von Leben aus nicht Lebendem andererseits in eins gesetzt werden. Bislang ist eine fundamentale Kritik gegenüber einer anmaßenden Haltung des Menschen durch die gegenwärtige und absehbare Entwicklung nicht gedeckt: Auch auf dem Feld der Synthetischen Biologie bleibt der Mensch Lebensgestalter.

9. Sinnvoller, als pauschal Kritik zu üben, ist es, ausgehend von den religiös oder literarisch zum Ausdruck gebrachten Motiven der Verunsicherung, nach dem Gehalt der Metaphern zu fragen und gesellschaftliche Konsequenzen in den Blick zu nehmen. Das in den Metaphern zum Ausdruck kommende Unbehagen besteht wohl darin, dass kulturell eingespieltes oder als eingespielt geglaubtes Verständnis von Leben, Natur und Organischem durch die Synthetische Biologie massiv infrage gestellt wird. Es wird deutlich, dass die alltagsmoralischen Vorstellungen von Leben und Natur als Vertrautem, als Selbstverständlichem, als Authentischem, Unverfälschtem, Echem und Spontanem, als Stimmigem, Harmonischem oder Proportioniertem und so als Vorgegebenem, das zu akzeptieren ist, infrage gestellt werden. Dies hat nicht erst mit der Synthetischen Biologie eingesetzt. Schließlich existieren im Bereich der Biotechnologie schon jetzt Verfahren, mit denen einzelne Eigenschaften eines Organismus gezielt verändert werden, die missbraucht werden können oder hohe Risiken bergen. Die Artikulation des Unbehagens erfolgt im Rückgriff auf Sprachformen von Religion und Literatur, weil diese explizite, umfassende Sinnressourcen zur Verfügung stellen, die als kritische Kontrastfolie für Selbstüberschätzungen des Menschen genutzt werden können.

## Empfehlungen zu einem gesellschaftlichen Monitoring

10. Geboten ist auf dem Feld der Synthetischen Biologie ein vom Prinzip der Vorsorge getragenes Vorgehen von Wissenschaft und Gesellschaft. Zentraler Baustein eines solchen Vorgehens ist ein gesellschaftliches Monitoring. Die Gesellschaft mit der Synthetischen Biologie zu befassen, ist nicht zu früh. Die Synthetische Biologie befindet sich zwar noch im Frühstadium eines neuen, stark von Grundlagenforschung geprägten Forschungsfeldes; wissenschaftliche Erkenntnisse gehen der gesellschaftlichen Debatte jedoch voraus und können in ihr nur sehr beschränkt vorhergesehen

und hypothetisch vorgedacht werden. Man kann eine neue Wissenschaft nicht bewerten, solange man nichts über sie weiß. Allgemeine Moratorien für Grundlagenforschung im Bereich der Synthetischen Biologie – wie von manchen gefordert – sind deshalb inakzeptabel.

Vor dem Hintergrund des skizzierten potenziellen Unbehagens ist das Frühstadium aber der richtige Zeitpunkt, die Entwicklung dieses Wissenschaftsfeldes zu begleiten und sich dabei den gesellschaftlichen Folgen und Implikationen der Synthetischen Biologie zuzuwenden. Es geht darum, die Entwicklung dieses Wissenschaftsfeldes transparent zu gestalten und für Fragen aus der Gesellschaft nach Nutzen und Risiken und damit nach Wegen eines verantwortlichen Umgangs zu öffnen. Ein interdisziplinärer wissenschaftlicher Klärungsprozess zu möglichen Gefahren für Mensch und Umwelt, zum möglichen Missbrauch für sicherheitsgefährdende Zwecke (Dual-Use-Problematik) ist erforderlich, um Wissenslücken abzubauen, aber auch Grenzen der Verantwortbarkeit menschlicher Eingriffe in die Natur zu thematisieren. Nach unserer Auffassung besteht im Bereich der Synthetischen Biologie ein Bedarf an interdisziplinärer Begleitforschung, die offen für Anfragen aus der Gesellschaft ist.

Es geht aber auch um einen gesellschaftlichen Klärungsprozess, wo Beiträge des Innovationsfeldes für gesellschaftliche Bedarfsfelder möglich und erwünscht sind und Schwerpunkte der Innovationsentwicklung gesetzt werden sollen. Soll die von der Öffentlichkeit bereitgestellte Förderung etwa Schwerpunkte bei der Herstellung von medizinischen Wirkstoffen, der technischen Konstruktion der Fotosynthese oder der Verarbeitung von Biomasse setzen? Solche Diskussionen sind legitim und fördern die Akzeptanz neuer wissenschaftlicher Entwicklungen, die man nicht gegen den Willen der Gesellschaft durchsetzen kann.

11. Mit der Bewertung der Synthetischen Biologie als strategischem, innovativem Forschungsfeld muss der Prozess der Wissenschaftsentwicklung deshalb in ein gesellschaftliches Monitoring eingebunden werden. Die Wissenschaftsorganisationen und der die Forschung fördernde Staat in Deutschland und in der Europäischen Union sollten einen Prozess des gesellschaftlichen Monitorings unter Einbeziehung gesellschaftlicher Akteure (Stakeholder) etablieren, eine geeignete Kommunikation zwischen Wissenschaft und Gesellschaft auf diesem Gebiet sicherstellen und interdisziplinäre Begleitforschung zum festen Bestandteil der Wissenschaftsförderung machen.

## Fazit

12. Die eingeleiteten Schritte, für die Synthetische Biologie Sicherheitsmaßnahmen durch Anwendung der Kontroll- und Monitoringstrukturen des Gentechnikgesetzes sicherzustellen, sind zu begrüßen; dies führt zu einem De-facto-Moratorium für die gezielte Freisetzung in die Umwelt.

13. Maßnahmen sind zu stärken und weiterzuentwickeln, die einen Missbrauch von Techniken und Produkten der Synthetischen Biologie zu militärischen/terroristischen Zwecken verhindern.

14. Ein vom Prinzip der Vorsorge getragenes Vorgehen von Wissenschaft und Gesellschaft auf dem Feld der Synthetischen Biologie ist sinnvoll, auch wenn diese sich noch in einer frühen Phase der Entwicklung befindet. Dies umfasst insbesondere:

- »» Gewährleistung von Transparenz der Forschung und Information der Gesellschaft über aktuelle Entwicklungen und ihre Perspektiven durch die Wissenschaft;
- »» Stärkung einer interdisziplinären Begleitforschung zu Sicherheitsfragen sowie ethischen und sozialen Fragen der Synthetischen Biologie;
- »» Schaffung von Diskussionsstrukturen unter Einbeziehung aller involvierten Akteure zur
  - » Identifizierung gesellschaftlich erwünschter Innovationsfelder,
  - » Klärung des möglichen Handlungsbedarfs auf dem Feld der Regulierung,
  - » Vertiefung und Klärung der aufgeworfenen Fragen nach unserem Verständnis von Leben und Lebensschutz, nach möglichen ethisch gebotenen Grenzen bei der gezielten Veränderung oder Konstruktion von Strukturen und Eigenschaften bei Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren.



# Autorinnen und Autoren

*Joachim Boldt*, geb. 1971, Dr. phil., seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter und seit 2010 stellvertretender Direktor am Institut für Ethik und Geschichte der Medizin der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg; seit 2010 Koordinator des BMBF-Projekts „Engineering Life: Eine interdisziplinäre Untersuchung zu den ethischen Implikationen der synthetischen Biologie“.

*Wolf-Michael Catenhusen*, geb. 1945, Staatssekretär a. D., seit 2003 Beiratsvorsitzender des Kompetenznetzwerks Stammzellforschung NRW; seit 2006 stellvertretender Vorsitzender des Nationalen Normenkontrollrates; seit 2008 Mitglied und seit 2012 stellvertretender Vorsitzender des Deutschen Ethikrates.

*Peter Dabrock*, geb. 1964, Prof. Dr. theol., seit 2010 Professor für Systematische Theologie (Ethik) am Fachbereich Theologie der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg; seit 2011 Mitglied der European Group on Ethics in Science and New Technologies; seit 2012 Mitglied und stellvertretender Vorsitzender des Deutschen Ethikrates.

*Armin Grunwald*, geb. 1960, Prof. Dr. rer. nat., seit 1999 Leiter des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse am Karlsruher Institut für Technologie; seit 2002 Leiter des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag; seit 2007 Inhaber des Lehrstuhls für Technikphilosophie und Technikethik am Institut für Philosophie des Karlsruher Instituts für Technologie.

*Nils-Christian Lübke*, geb. 1985, seit 2011 Doktorand am Centrum für Biotechnologie der Universität Bielefeld; 2010 Mitglied des iGEM-Teams Bielefeld.

*Pat Roy Mooney*, geb. 1947, seit 2001 geschäftsführender Direktor der ETC Group; Träger des Alternativen Nobelpreises und der Pearson Peace Medal.

*Alfred Pühler*, geb. 1940, Prof. Dr. rer. nat., seit 2008 Senior Research Professor am Centrum für Biotechnologie der Universität Bielefeld; seit 2011 Präsidiumsmitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften.

*Christoph Rehmann-Sutter*, geb. 1959, Prof. Dr. phil., seit 2009 Professor für Theorie und Ethik in den Biowissenschaften am Institut für Medizingeschichte und Wissenschaftsforschung der Universität zu Lübeck; ehemaliger Präsident der schweizerischen Nationalen Ethikkommission im Bereich der Humanmedizin.

*Markus Schmidt*, geb. 1974, Dr., seit 2002 Mitgründer und Vorstand bei der Organisation for International Dialogue and Conflict Management; seit 2010 Gründer und Geschäftsführer der Biofaction KG; Produzent des Filmfestivals Bio:Fiction (2011, Wien) und der Kunstaussstellung synth-ethic (2011, Wien).

*Petra Schwille*, geb. 1968, Prof. Dr. rer. nat., seit 2002 Professorin am Biotechnologischen Zentrum der Technischen Universität Dresden; seit 2008 Fachgutachterin der Deutschen Forschungsgemeinschaft; seit 2010 Mitglied der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina; seit 2012 Direktorin am Max-Planck-Institut für Biochemie in München.

*Rüdiger Stegemann*, geb. 1941, Diplom-Volkswirt, Erwachsenenbildner und Saatgutaktivist, entwicklungs- und agrarpolitischer Consultant; ehrenamtlicher Mitarbeiter beim Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland in den Bereichen Agrotechnik, Nanotechnologie und Landwirtschaft; Mitglied des geschäftsführenden Vorstands des Pestizid Aktions-Netzwerks (PAN Germany).

*Jochen Taupitz*, geb. 1953, Prof. Dr. iur., seit 1998 geschäftsführender Direktor des Instituts für Deutsches, Europäisches und Internationales Medizinrecht, Gesundheitsrecht und Bioethik der Universitäten Heidelberg und Mannheim; seit 2008 Mitglied und seit 2012 stellvertretender Vorsitzender des Deutschen Ethikrates.

*Ralf Wagner*, geb. 1962, Prof. Dr. rer. nat., seit 2003 Professor für Molekulare Mikrobiologie und Gentherapie am Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene der Universität Regensburg; Gründer und Vorstandsvorsitzender der GeneArt AG

(seit 2010 Teil des US-amerikanischen Biotechnologieunternehmens Life Technologies Corporation).

*Oskar Zelder*, geb. 1965, Prof. Dr. rer. nat., seit 1995 biotechnologische Forschung bei BASF; seit 2003 Leiter der Forschungsgruppe Fermentationsprodukte; seit 2007 Honorarprofessor an der Philipps-Universität Marburg.



# Abbildungsnachweis

- Seite 46: Zeitlicher Verlauf der in PubMed registrierten Peer-review-Veröffentlichungen im Bereich Nanotechnologie
- Seite 46: Zeitlicher Verlauf der in PubMed registrierten Peer-review-Veröffentlichungen im Bereich Synthetische Biologie