

Perspektivenpapier Synthetische Biologie

Dr. Nora Schultz, 23. April 2009

Künstliche Zellen, lebendige Maschinen und ein Werkzeugkasten voller Bio-Bausteine – das junge Arbeitsgebiet der Synthetischen Biologie macht mit wirkungsvollen Metaphern auf sich aufmerksam. Doch was ist eigentlich das entscheidend Neue an der synthetischen Biologie? Was unterscheidet sie von konventioneller Biotechnologie und wo entstehen dadurch neue bioethische Fragen?

Dieses Perspektivenpapier skizziert die Ansprüche und den gegenwärtigen Entwicklungsstand in der synthetischen Biologie und zeigt auf, welche Aspekte dieser Forschungsdisziplin am ehesten von einer kritischen, bioethischen Begleitung profitieren könnten.

1) Was ist synthetische Biologie?

Es gibt derzeit noch keine universell akzeptierte Definition von synthetischer Biologie, aber das fundamentale dem Feld zugrunde liegende Konzept ist **das Design biologischer Systeme und Organismen mithilfe standardisierter Bausteine und ingenieurswissenschaftlicher Prinzipien.**

Der polnische Genetiker Waclaw Szybalski führte den Begriff 1974 ein:

Up to now we are working on the descriptive phase of molecular biology. [...] But the real challenge will start when we enter the synthetic biology phase of research in our field. We will then devise new control elements and add these new modules to the existing genomes or buildup wholly new genomes. This would be a field with the unlimited expansion potential and hardly any limitations to building „new better control circuits“ and [...] finally other „synthetic“ organisms [...]. (Szybalski 1974)

Die heutige Vision der synthetischen Biologie wurde von Szybalski überraschend präzise vorweggenommen, doch das eigentliche Entstehen des Fachgebiets lässt sich erst auf den Beginn dieses Jahrtausends zurückverfolgen (Benner & Sismour 2005). Aufgrund der Vervollständigung des Humangenomprojektes und technischer Fortschritte, welche umfangreiche und automatisierte DNA-Analyse und Gensynthese erstmals finanziell erschwinglich machen, ist das Ziel der präzisen technischen Konzipierung und Herstellung ganzer biologischer Systeme inzwischen in greifbare Nähe gerückt.

Den durch und durch synthetisch erzeugten Organismus gibt es zwar bisher noch nicht, wohl aber ein vollständig synthetisch hergestelltes Genom (Venter), eine rasant anwachsende Sammlung standardisierter Bio-Bausteine oder „BioBricks“, deren Funktionen sich besonders leicht miteinander kombinieren lassen, sowie erste Modellprojekte, die sich dem Anspruch der Synthetischen Biologie nähern, wirklich neue, in der Natur so nicht existierende biologische Systeme zu erschaffen (Malaria).

Dieser Ansatz steht im Kontrast zu der bisherigen Praxis der Molekularbiologie, die in eher handwerklicher Arbeit einzelne Gene in ansonsten weitgehend naturbelassenen Organismen verändert hat.

Obwohl die synthetische Biologie sich grundsätzliche der gleichen Materialien und Methoden zur DNA-Manipulation bedient wie die konventionelle Gentechnik, und der Unterschied zwischen beiden Ansätzen somit eher quantitativ als qualitativ erscheinen mag, so kann man doch argumentieren, dass erst die zunächst quantitative Ausweitung der technischen Möglichkeiten die Ziele ermöglicht, die in ihrer Tragweite und Radikalität eben doch auch eine qualitativ neue Ebene darstellen:

War die Gentechnik noch gebunden an bereits existierende Formen des Lebens und beschränkt auf den Austausch einzelner Gensequenzen, so nimmt es die Synthetische Biologie in Angriff, Lebensformen in weitgehender Ablösung von der Natur zu entwerfen und herzustellen. [So initiiert sie] einen Perspektivwechsel von der gentechnischen Manipulation hin zur synthetischen Kreation, den man als qualitativen Sprung beschreiben kann. (Boldt et al 2009)

2) Ziele der Synthetischen Biologie

Die Synthetische Biologie verfolgt derzeit drei Ziele, deren Erreichen jeweils auf unterschiedliche Weise zu der Synthese neuartiger biologischer Systeme beitragen könnte:

- Das Design und die Herstellung standardisierter biologischer Bausteine, die zum Beispiel als „BioBricks“ bezeichnet werden;
- Die Entwicklung künstlicher Biomoleküle, die in der Natur überhaupt nicht vorkommen;
- Die Herstellung eines „Minimalorganismus“, der nur die allernotwendigsten Merkmale eines Lebewesens aufweist und der als Gerüst für hinzugefügte Komponenten dienen soll, um den Aufbau maßgeschneiderter biologischer Systeme in einem möglichst überschaubaren und kontrollierbaren Rahmen zu ermöglichen.

3) Aktuelle Entwicklungen

Inhaltlich lassen sich die bisherigen Anstrengungen auf den in Abschnitt 2) genannten Gebieten wie folgt zusammenfassen:

a) Design standardisierter biologischer Bausteine

Angelehnt an die Ingenieurwissenschaften, bemüht die Synthetische Biologie sich, standardisierte biologische Module mit spezifischen Funktionen zu erstellen, die sich besonders einfach miteinander kombinieren lassen. Dieser Ansatz lässt sich beispielhaft an den *BioBricks* erläutern:

*BioBricks*¹ werden von der gemeinnützigen *BioBricks Foundation* am *Massachusetts Institute of Technology*² definiert, gesammelt und verwaltet. Es handelt sich um DNA-Sequenzen, die in einem ebenfalls aus DNA bestehenden, kreisförmigen Rahmen, einem sogenannten Plasmid, aufbewahrt werden. Obwohl die Aufbewahrung interessanter Gensequenzen in Plasmiden nichts fundamental Neues ist, so zeichnen sich die *BioBricks* durch besonders strenge Regeln für die DNA-Sequenz von Plasmid und Inhalt aus, die ein Zusammenkoppeln verschiedener *BioBricks* besonders einfach machen.

Die *BioBricks* selbst können von unterschiedlicher Komplexität sein. Die einfachsten kodieren z. B. nur ein Protein oder enthalten eine DNA Sequenz, die für einen bestimmten Genregulierungsschritt steht, während kompliziertere *BioBricks* bereits kompliziertere Funktionen kodieren, analog zu einem elektronischen Schaltkreis. Hierzu gehören etwa Module, die ein Leuchtprotein einschalten, sobald eine bestimmte Chemikalie in der Umgebung ist, oder Oszillatoren, die einen zeitlich präzisen Wechsel in der Aktivität verschiedenfarbiger Leuchtproteine programmieren.

¹ http://partsregistry.org/Main_Page

² <http://bbf.openwetware.org/>

Besonders bekannt ist der Einsatz der *BioBricks* im jährlichen iGEM-Wettbewerb (*International Genetically Engineered Machine*), in dem Studententeams aus *BioBricks* innovative biologische Systeme zusammensetzen. Erfolgreiche iGem-Projekte der vergangenen Jahre entwickelten etwa Bakterien, die Minz- oder Bananenduft produzieren oder die vor Arsen in der Umgebung mit einer pH-Wert-Änderung warnen.

Ziel der *BioBricks Foundation* ist die Pflege und Weiterentwicklung einer für die Öffentlichkeit kostenlos zugänglichen Ressource standardisierter biologischer Bausteine, die sich nach ingenieurwissenschaftlichen Prinzipien kreativ einsetzen lassen:

Using BioBrick™ standard biological parts, a synthetic biologist or biological engineer can already, to some extent, program living organisms in the same way a computer scientist can program a computer. BioBricks Foundation

b) Entwicklung künstlicher Biomoleküle

Dieser Aspekt der Synthetischen Biologie zeigt besonders deutlich ihr kreatives Potenzial. Mehrere Forscherteams arbeiten etwa an neuartigen Modifizierungen von Aminosäuren, die deren Funktionalität erheblich verändern können³, an Transfer RNAs, die bei der Proteinbiosynthese normalerweise gar nicht in der Biologie genutzte Aminosäuren in Proteine einbauen lassen⁴, und sogar an der Erfindung ganz neuer DNA-Basen, die zusätzlich zu den natürlich existierenden Basen Adenin, Guanin, Thymin und Cytosin in Gensequenzen eingefügt werden können⁵ (Benner & Sismour 2005).

c) Herstellung minimaler Organismen⁶

Ein Minimalorganismus soll nur die allerwesentlichsten Funktionen eines Lebewesens erfüllen und als möglichst schlichtes Gerüst dienen, das die für die jeweilige Anwendung interessanten Bausteine aufnimmt. Diesem Ziel nähern Forscher sich insbesondere durch das systematische Abschalten von als nicht essenziell vermuteten Genen in Organismen, die ohnehin schon ein besonders kleines Genom vorweisen.

Craig Venter beispielsweise arbeitet an der Verschlankung des nur 521 Gene tragenden Bakteriums *Mycoplasma genitalium*, dessen Genom er bereits 2007 komplett im Labor synthetisieren konnte.⁷ Das kleinstmögliche minimale Genom wird derzeit auf 151 Gene geschätzt.

Auch der umgekehrte Zugang zu einem minimalen Organismus wird verfolgt: der Aufbau einer künstlichen Zelle aus künstlich hergestellten Komponenten.⁸ Hierbei wird teilweise mit ganz anderen Materialien als den von der Natur verwendeten gearbeitet, beispielsweise mit Peptidnucleinsäuren anstelle von DNA. Das Hauptaugenmerk beim grundlegenden Aufbau eines künstlichen Organismus ist derzeit eher auf der Grundlagenforschung, mit dem Ziel, die essenziellen Funktionen des Lebens nachzuvollziehen und nachzubilden.

³ <http://users.ox.ac.uk/%7Edplb0149/research/research1.html>

⁴ <http://schultz.scripps.edu/>

⁵ <http://www.stanford.edu/group/kool/synbio.htm>

⁶ <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16924266>

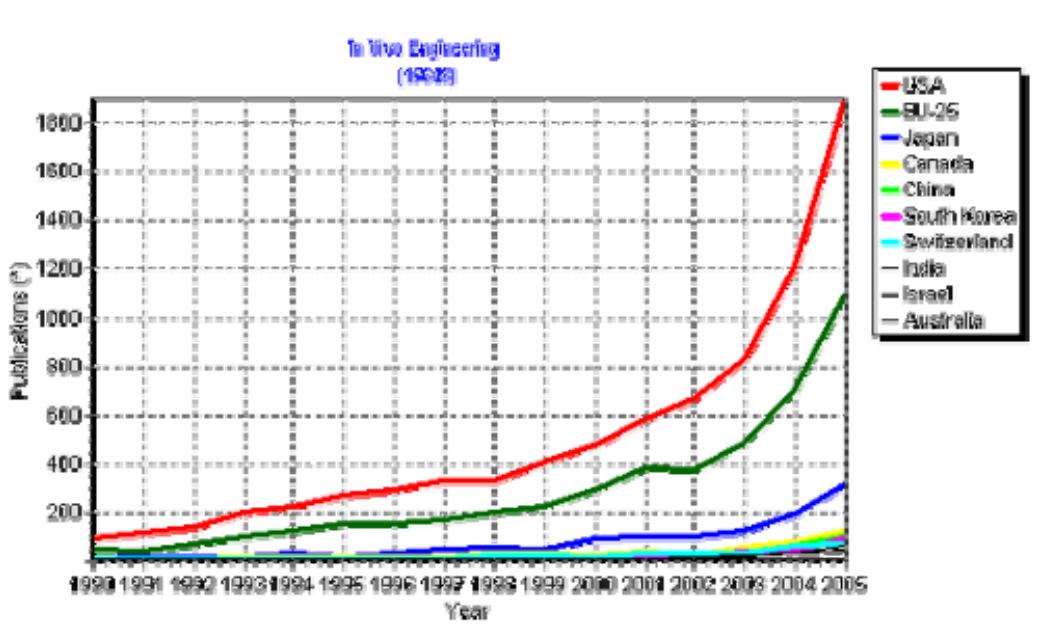
⁷ http://en.wikipedia.org/wiki/Mycoplasma_laboratorium

⁸ <http://protocells.lanl.gov/index.htm>, <http://www.protocell.org/>

Im Gegensatz dazu hat der zuvor beschriebene reduktionistische Ansatz insbesondere praktische Anwendungen im Blick, da das minimale Lebewesen den technisch sauberen Zusammenbau biologischer Bausteine erleichtern soll.

4) Strukturelle Entwicklung des Forschungsfeldes

Quantitativ lässt sich eine rapide Ausdehnung der Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie in den vergangenen Jahren feststellen.



Publikationen, die sich dem Feld zuordnen lassen, nehmen seit der Jahrtausendwende exponentiell zu, seit ca. 2007 auch in ganz oder vorwiegend der Synthetischen Biologie gewidmeten Fachzeitschriften wie *Systems and Synthetic Biology* (Springer). Das EU-Projekt *SYNBIOLGY: an analysis of synthetic biology research in Europe and North America*⁹ führt eine Datenbank solcher Publikationen. Für jede dort geführte Themenkategorie ist ein ähnlicher Anstieg zu verzeichnen, wie oben beispielhaft für das Gebiet *in vivo engineering* gezeigt.

Der Austausch auf Fachtagungen nimmt ebenfalls zu. Die erste internationale Konferenz „*Synthetic Biology 1.0*“ fand 2004 statt und wird seitdem jährlich fortgeführt.¹⁰ Seit 2007 gibt es in Europa die BioSysBio-Konferenz¹¹ und die „*European Conference on Synthetic Biology*“¹². Von besonderem Interesse ist auch der bereits erwähnte iGEM-Wettbewerb für Studenten, an dem im Gründungsjahr 2004 fünf Teams teilnahmen und 2008 bereits 84. Für dieses Jahr werden 120 Teams erwartet.¹³

Der iGEM-Wettbewerb deutet zugleich auf ein ungewöhnliches Merkmal der Synthetischen Biologie hin: ihre starke Orientierung an einer „Graswurzelphilosophie“, die eine Gestaltung des Forschungsfeldes durch viele kleine Initiativen, auch aus dem Amateurbereich, ausdrücklich begrüßt. Die Studenten, die am iGEM-

⁹ <http://www2.spi.pt/synbiology/>

¹⁰ <http://sb4.biobricks.org/>

¹¹ <http://conferences.theiet.org/biosysbio/>

¹² <http://www.esf.org/index.php?id=5386>

¹³ <http://2009.igem.org>

Wettbewerb teilnehmen sind demnach noch keine Experten, sondern werden durch die Ausschreibung gezielt ermuntert, sehr früh in ihrer Laufbahn in die Synthetische Biologie einzusteigen.

Die *BioBricks*-Datenbank ist der Öffentlichkeit grundsätzlich frei zugänglich und stark an der *OpenSource*-Philosophie orientiert, über die Software frei verfügbar gemacht wird. Dies wird zum Beispiel auch durch die Webseite *OpenWetWare*¹⁴ deutlich, bei der große Teile der Informationen der Synthetischen Biologie Gemeinschaft verwaltet werden¹⁵.

Inzwischen gibt es noch weitere Wettbewerbe und Initiativen, die mit Konzepten und Zielen der Synthetischen Biologie arbeiten, die sich aber auch an Laien wenden.¹⁶ Hierzu gehören die „DIY-Bio-Initiative“¹⁷ und der „*io9 Mad Science Contest*“¹⁸, bei dem zuletzt ein modifiziertes symbiotisches Bakterium ausgezeichnet wurde, das Reispflanzen die Stickstoffaufnahme erleichtert.

Großprojekte erfreuen sich derweil einer hohen Investitionsbereitschaft. Besonders viel Aufmerksamkeit haben etwa die Projekte von Craig Venter bekommen, und Bill Gates investierte bereits über 40 Millionen Dollar in die Synthetische Biologie, insbesondere in das Projekt, das Antimalariamittel Artemisinin künstlich herzustellen¹⁹.

In Europa hat das *New and Emerging Science and Technology Programme* der EU (NEST) 2003 mit der Förderung Synthetischer Biologie-Projekte begonnen, und vor wenigen Wochen endete die Bewerbungsfrist für das EuroSYNBIO-Programm der European Science Foundation²⁰.

5) Bioethische Herausforderungen

Die in Abschnitt 4) beschriebene quantitative Ausweitung der Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie wird von einer bioethischen Debatte begleitet, die vielfach von den Forschern und Förderern selbst initiiert wird.

So widmen die Konferenzen etwa meistens einen halben oder ganzen Tag der Diskussion ethischer und gesellschaftlicher Fragen rund um die Synthetische Biologie. In den USA beschäftigte sich ein kollaboratives Projekt, unter anderem mit Beteiligung von Craig Venter, MIT und der *Sloan Foundation*, mit gesellschaftlichen und sicherheitsrelevanten Aspekten der Synthetischen Biologie.²¹

Das NEST-geförderte EU-Projekt SYNBIOSAFE²² hat sich bis Ende 2008 mit Aspekten der Sicherheit und Ethik der Synthetischen Biologie beschäftigt und veranstaltete im Frühjahr 2008 eine einmonatige „E-Konferenz“, während der 124 Teilnehmer sich online zu diesen Themen äußern konnten.²³ Die Ergebnisse dieses Austausches wurden veröffentlicht.²⁴

¹⁴ <http://openwetware.org>

¹⁵ <http://syntheticbiology.org/>

¹⁶ <http://www.newscientist.com/article/mg20126881.400-rise-of-the-garage-genome-hackers.html?full=true>

¹⁷ <http://diybio.org/>

¹⁸ <http://io9.com/5049810/announcing-the-winners-of-the-io9-mad-science-contest>

¹⁹ <http://www.gatesfoundation.org/press-releases/Pages/oneworld-health-receives-grant-041213.aspx>

²⁰ <http://www.esf.org/activities/eurocores/programmes/eurosynbio.html>

²¹ [http://www.jcvi.org/cms/press/press-releases/full-text/article/new-policy-report-outlines-options-for-governance-of-synthetic-genomics/?tx_ttnews\[backPid\]=67&cHash=8d4b669600](http://www.jcvi.org/cms/press/press-releases/full-text/article/new-policy-report-outlines-options-for-governance-of-synthetic-genomics/?tx_ttnews[backPid]=67&cHash=8d4b669600)

²² <http://www.synbiosafe.eu/>

²³ <http://www.synbiosafe.eu/forum/>

²⁴ <http://www.synbiosafe.eu/uploads///pdf/SSBJ-SYNBIOSAFE%20e-conference.pdf>

Des Weiteren befassen sich zwei aktuelle Publikationen explizit mit einer gesellschaftlichen und ethischen Analyse der Synthetischen Biologie: der im Juni 2008 veröffentlichte Report der *Synthetic Biology Working Group* des britischen *Biotechnological and Biological Science Research Council* (BBSRC), „*Synthetic Biology. Social and Ethical Challenges*“²⁵ sowie das Anfang dieses Jahres veröffentlichte Buch von Joachim Boldt, Oliver Müller und Giovanni Maio „*Synthetische Biologie. Eine ethisch-philosophische Analyse*“²⁶.

Auch kritische Interessengruppen wie die ETC Group (Action Group on Erosion, Technology and Concentration) befassen sich mit ethischen Aspekten der Synthetischen Biologie.²⁷

Die wesentlichen bioethischen Herausforderungen rund um die Synthetische Biologie lassen sich in drei Themenkategorien einteilen:

a) Schäden durch freigesetzte synthetische Organismen

Hierzu gehören zwei Aspekte, die im englischsprachigen Raum in „*biosafety*“ und „*biosecurity*“ unterschieden werden, wohingegen im Deutschen nur der Begriff „Biosicherheit“ zur Verfügung steht (Boldt et al 2009).

Biosafety deckt alle unbeabsichtigten „Risiken und Nebenwirkungen“ ab, die durch unbeabsichtigte Interaktionen der künstlichen Lebewesen mit der natürlichen Umwelt verursacht werden mögen. Die hierzu stattfindende Debatte wiederholt im Prinzip die gleichen Argumente, die auch schon rund um die etablierte Gentechnik geführt worden sind bzw. noch geführt werden. Es geht also vor allem um das Risiko, dass ein vom Menschen veränderter oder ganz neu geschaffener Organismus die natürliche Umwelt oder den Menschen schadet, wenn er ins Freiland gelangt.

Biosecurity hingegen beschäftigt sich mit dem gezielten Missbrauch biologischer Systeme, insbesondere für terroristische Zwecke. Auf diesem Gebiet hat die Synthetische Biologie besondere Sorgen ausgelöst, weil gerade ihr Markenzeichen, die einfache und kostengünstige Synthese langer Gensequenzen und komplexer biologischer Funktionen, auch den möglichen Missbrauch erleichtert.

Zum Beispiel haben mehrere Forschergruppen es geschafft, bekannte Krankheitserreger wie den Poliovirus²⁸ und den Erreger der Spanischen Grippe künstlich herzustellen. Einem Journalisten der britischen Tageszeitung *The Guardian* gelang es im Jahr 2006 zudem, als Privatperson bei einer Gensynthese-Firma ein Fragment des Pockenvirus zu bestellen.²⁹

Um das Missbrauchrisiko gering zu halten, werden sowohl nationale und internationale Gesetze erwogen als auch Selbstverpflichtungen der Industrie, die beispielsweise ein „Wasserzeichen“ in künstlich hergestellten Sequenzen, die sorgfältige Prüfung aller Aufträge durch Synthesefirmen und die Registrierung aller für die Synthese geeigneten Maschinen erwägt.

b) Gerechtigkeit (Patente, Handel, Monopole)

Eine weitere Gruppe ethischer Fragen, die im Zusammenhang mit der Synthetischen Biologie gestellt werden, widmet sich der wirtschaftlichen Gerechtigkeit.

²⁵ http://www.bbsrc.ac.uk/society/dialogue/activities/synthetic_biology.html

²⁶ <http://www.ekah.admin.ch/de/dokumentation/publikationen/beitraege-zur-ethik-und-biotechnologie/synthetische-biologie-eine-ethisch-philosophische-analyse/index.html>

²⁷ http://www.etcgroup.org/en/issues/synthetic_biology.html<http://www.etcgroup.org/upload/publication/602/01/synbioreportweb.pdf>

²⁸ <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=1490301>

²⁹ <http://www.guardian.co.uk/world/2006/jun/14/terrorism.topstories3>

Eine Sorge gilt der Patentierbarkeit von synthetischen biologischen Kreationen und daraus womöglich entstehenden Monopolen. Craig Venter etwa versucht, gleich mehrere seiner Bemühungen auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie zu patentieren, und wurde von der *ECT Group* bereits als „Microsoft der Synthetischen Biologie“ bezeichnet. Befürchtet wird ein mangelnder Zugang zu gesellschaftlich wichtigen Forschungsmaterialien und Anwendungen falls solche Patente zu weit gefasst werden sollten. Auch um solch einen Trend zu verhindern, wird mit Datenbanken wie denen der *BioBricks Foundation* bewusst Wert auf frei zugängliche Ressourcen für die Synthetische Biologie gelegt.

Eng verwandt mit diesem Gedanken ist die Befürchtung, dass die Synthetische Biologie lokale Einkommensquellen gerade in armen Ländern vernichten könnte, wenn derzeit noch mühsam aus lokalen Organismen gewonnene Wirkstoffe künftig in großem Stil synthetisiert werden könnten. Als Beispiel hierfür wird das Malariamittel Artemisinin genannt, dessen synthetische Produktion derzeit im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium ist.³⁰ Natürliches Artemisinin wird aus den Blättern und Blüten des Einjährigen Beifußes (*Artemisia annua*) gewonnen, und Kritiker befürchten, dass lokale Produzenten in Asien und Afrika durch den Erfolg des Projektes benachteiligt werden könnten.

c) Erschaffung künstlichen Lebens

Die dritte Gruppe ethischer Bedenken beschäftigt sich mit dem Anspruch der Synthetischen Biologie, völlig neuartiges künstliches Leben zu erschaffen. Pioniere der jungen Disziplin haben hier sicherlich selbst zu einem gewissen Unbehagen in der Bevölkerung beigetragen, wenn sie plakativ von „lebenden Maschinen“ und „künstlichen Zellen“ sprechen. Beispielhaft ist hier Tom Knight, Professor am *MIT Artificial Intelligence Lab* zu nennen, der mit folgender Aussage Schlagzeilen machte:

„The genetic code is 3.6 billion years old. It's time for a rewrite.“³¹

Auch der in diesem Zusammenhang häufige Vorwurf, der Mensch überschreite mit bestimmten Eingriffen in die Natur ethische Grenzen und würde „Gott spielen“, ist nicht neu mit der Synthetischen Biologie aufgetaucht, sondern schon vielfach zuvor bei anderen biotechnologischen Anwendungen genannt worden. Dennoch lässt sich nicht bestreiten, dass die Synthetische Biologie durch das schiere Ausmaß der angestrebten Veränderungen nicht nur als „*Extreme Genetic Engineering*“ (*ETC Group*) bezeichnet werden kann, sondern besonders aggressiv infrage stellt, was Leben eigentlich ist und wie wir damit umgehen wollen.

Boldt et al (2009) bringen dies in ihrer „ethisch-philosophischen Analyse“ wie folgt auf den Punkt:

- *Der für die Versuchsanordnung methodisch reduzierte Lebensbegriff, den die Synthetische Biologie verwendet, kann dazu führen, „Leben“ zu unterschätzen und suggeriert daher möglicherweise eine Kontrollierbarkeit von Lebensprozessen, die so nicht gegeben ist.*
- *Zentrale Begriffe und Metaphern der Synthetischen Biologie – „living machine“, „artificial cell“ – sind rein semantisch höchst problematisch und implizieren ontologisch ein Bild des Lebendigen als Artefakt. Dieses Verwischen der Grenze zwischen Lebendigem und Technischem kann weitreichende Folgen haben für Einschätzung und Umgang mit Lebendigem.*
- *Dies wiederum kann zu einer Änderung des menschlichen Selbstverständnisses führen. Die Vorstellung des Menschen als eines Technikers, als Homo faber, scheint durch die Synthetische Biologie erweitert zu werden; der Mensch scheint hier zum Homo creator zu werden, scheint also nicht nur ein Produzent von Artefakten oder ein Manipulator natürlicher Prozesse, sondern ein veritabler „Schöpfer“ von Leben zu sein.*

³⁰ <http://www.artemisininproject.org/>

³¹ <http://www-silvermacg4.princeton.edu/challenging/articles/2007Newsweek/Scientists.html>

Zusammenfassend kann man sagen, dass obwohl die durch die Synthetische Biologie gestellten ethischen Herausforderungen vorwiegend nicht völlig neu sind, sie doch durch die erheblich weiter gesteckten Ziele dieser Forschung zumindest zugespitzt werden. Dies gilt insbesondere für Fragen zur ethischen Rechtfertigung tiefer Eingriffe in die Natur und für die Risikoabschätzung. Auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie könnten die im Rahmen der Gentechnikdebatte geführte Diskussion nicht nur wiederbelebt werden, sondern auch eine neue Dimension gewinnen.

Darüber hinaus stellen sich zwei womöglich neuartige ethische Fragen.

Erstens wäre da die eher praktische Frage, ob durch die leichte Zugänglichkeit zu Materialien und Methoden der Synthetischen Biologie und die Bemühungen, auch Einzelpersonen und Amateure an der Forschung zu beteiligen, Sicherheitsrisiken entstehen, die so vorher noch nicht diskutiert worden sind, und zwar sowohl bezogen auf unbeabsichtigte Nebenwirkungen als auch mit Blick auch absichtlichen Missbrauch.

Zweitens gilt es zu überlegen, ob Boldt et al mit ihrer Überlegung Recht haben, dass die Synthetische Biologie durch das schiere Ausmaß ihrer Eingriffe in die Natur eine qualitativ neue Stufe der Lebensmanipulation erreicht, was dies für Konsequenzen haben könnte, und wie man darauf reagieren könnte oder sollte.

Literatur

Szybalski, W. (1974). In Vivo and in Vitro Initiation of Transcription. *Adv Exp Med Biol* 44(1), S. 23-24.

Benner S.A. & Sismour, A.M. (2005) Synthetic Biology: designs for life, *Nature Rev Genet* 6(7), 533-43.

Boldt, Joachim, Oliver Müller und Giovanni Maio (2009) Synthetische Biologie. Eine ethisch-philosophische Analyse. Beiträge zur Ethik und Biotechnologie 5, Eidgenössische Ethikkommission für die Biotechnologie, Bern 2009.³²

³² http://www.ekah.admin.ch/fileadmin/ekah-dateien/dokumentation/publikationen/EKAH_Synthetische_Biologie_Inhalt_V.pdf