

Synthetische

Biologie –

Ethische

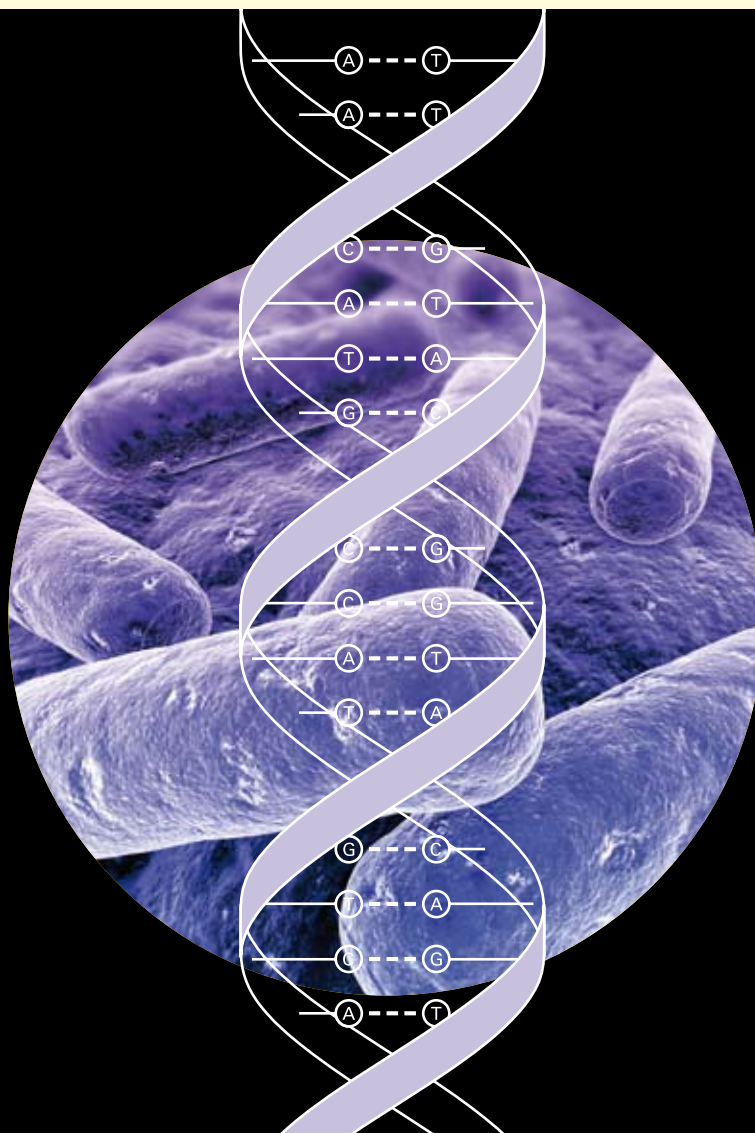
Bericht der Eidgenössischen

Ethikkommission für die

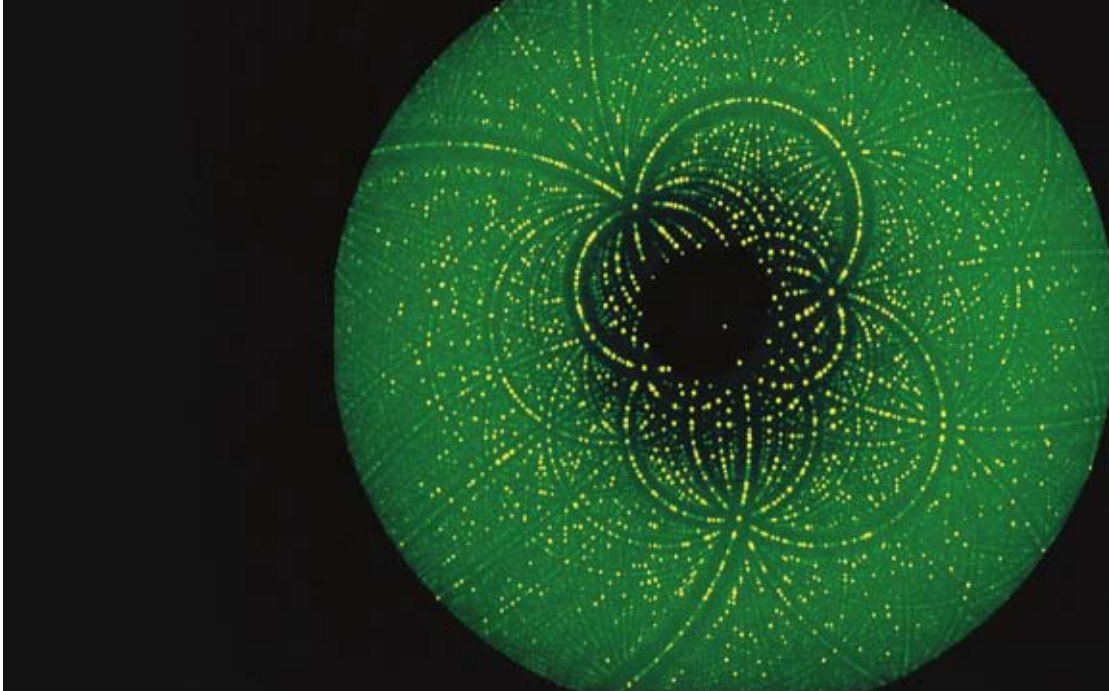
Biotechnologie im

Ausserhumanbereich

Überlegungen



1	Vorbemerkungen	3
2	Der Begriff der Synthetischen Biologie, wie er von der Wissenschaftsgemeinde verwendet wird	5
3	Synthetische Biologie als Arbeitsfeld mit unterschiedlichen Zielen und Methoden	8
4	Anwendungsbereiche der Synthetischen Biologie	9
5	Der Anspruch der Synthetischen Biologie	10
5.1	Neue Lebewesen	10
5.2	Herstellen	11
5.3	Kontrollierbarkeit	11
5.4	Unterschiedliche ontologische Konzepte von Leben	12
6	Moralischer Status der Lebewesen, mit denen die Synthetische Biologie arbeitet oder die als deren Produkte geschaffen werden	15
6.1	Moralische Berücksichtigung aufgrund eines Eigenwerts	15
6.2	Moralische Berücksichtigung von Interessen unabhängig von einem Eigenwert	17
6.3	Gewichtung in einer Güterabwägung	17
7	Verantwortungsethische Überlegungen	19
7.1	Beeinflussung gesellschaftlicher Orientierung im Umgang mit Lebewesen?	19
7.2	Gerechtigkeitsüberlegungen	20
7.3	Risikoethische Überlegungen	22
7.3.1	Sachgerechte Risikoermittlung und -beschreibung	24
7.3.2	Risikobewertung	25
7.3.3	Sorgfaltspflichten	26
7.3.4	Schlussfolgerungen für den Umgang mit synthetisch hergestellten Organismen	27
8	Zusammenfassung	28
9	Literatur	30



1 Vorbemerkungen

Synthetische Biologie bezeichnet ein relativ neues Forschungsgebiet, das Elemente der Molekularbiologie (Gentechnologie), der Chemie, der Computerwissenschaften und der Ingenieurwissenschaften verbindet. Der Synthetischen Biologie liegt die Idee zugrunde, dass sich Lebewesen kontrolliert und zielgerichtet umbauen bzw. konstruieren lassen.

In der Synthetischen Biologie arbeitet man mit Systemen, die über Funktionen von Lebewesen verfügen. Um die Synthetische Biologie aus ethischer Sicht beurteilen zu können, kommt deshalb der Frage nach dem, was Leben ist, eine zentrale Rolle zu. Diese Frage stellt sich auch bei Anwendungen anderer Technologien, wurde bisher aber noch nie so dringlich wahrgenommen wie bei bestimmten Zielsetzungen der Synthetischen Biologie.

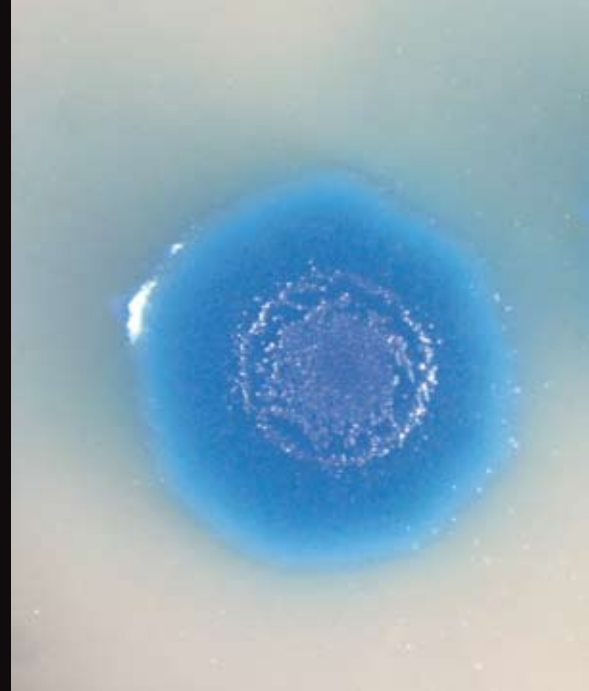
Der Bundesrat setzte im April 1998 die EKAH als ständige beratende Expertenkommission ein mit der Aufgabe, die Entwicklungen und Anwendungen der ausserhumanen Biotechnologie zu beobachten und aus ethischer Sicht zu beurteilen. Die EKAH soll zu den

damit verbundenen wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragen aus ethischer Sicht Stellung nehmen und den Bundesrat und die Bundesverwaltung im Hinblick auf den Erlass von Vorschriften beraten.¹ Die EKAH setzt sich aus maximal 12 Mitgliedern verwaltungsexterner Expertinnen und Experten verschiedener Fachbereiche zusammen. Die Mehrheit der Kommissionsmitglieder sind Ethikerinnen und Ethiker der Fachrichtungen Philosophie oder Theologie, weiter sind die Fachbereiche Biologie, Molekularbiologie, Genetik, Medizin und Recht vertreten. Die Mitglieder und das Präsidium werden vom Bundesrat ad personam ernannt.² Die Zusammensetzung soll gewährleisten, dass unterschiedliche ethische Denkansätze in den kommissionsinternen Diskurs einfließen. Die EKAH wird von einem wissenschaftlichen Sekretariat unterstützt und kann bei Bedarf zusätzlich externe Expertinnen und Experten beiziehen sowie Gutachten in Auftrag geben.

Zur Vorbereitung auf diesen Bericht lud die EKAH verschiedene Experten zu Referaten und Gesprächen ein und gab Studien in Auftrag. Um sich

¹ 2003 wurden die EKAH und ihr Mandat mit Art. 23 des neu geschaffenen Bundesgesetzes über die Gentechnik im Ausserhumanbereich (Gentechnikgesetz, GTG, SR 814.91) auf eine neue gesetzliche Grundlage gestellt.

² Mandat, aktuelle Zusammensetzung sowie alle Stellungnahmen und Publikationen können auf www.ekah.admin.ch eingesehen werden.



einen Überblick über die bisherige philosophische Verwendung des Lebensbegriffs zu verschaffen, gab die EKAH bei PD Dr. Andreas Brenner, Philosophisches Seminar der Universität Basel, ein Gutachten in Auftrag, das 2007 unter dem Titel «Leben – Eine philosophische Untersuchung»³ in der Buchreihe der EKAH «Beiträge zur Ethik und Biotechnologie»⁴ veröffentlicht wurde. 2007 verfasste Dr. Anne Eckhardt, risicare GmbH, Zürich, für die EKAH eine Überblicksstudie, die zeigt, wie das Forschungsgebiet der Synthetischen Biologie organisiert ist und welche Ziele die unterschiedlichen Akteure verfolgen.⁵ Prof. Sven Panke vom Institut für Verfahrenstechnik an der ETH Zürich führte die EKAH im September 2007 in die Synthetische Biologie ein. Ende 2007 gab die EKAH zwei weitere Studien in Auftrag, eines bei Prof. Giovanni Maio, vom Institut für Ethik und Geschichte der Medizin der Universität Freiburg i.Br., um eine «ethische Landkarte» der Synthetischen Biologie zu erstellen. Dieses Gutachten, das er gemeinsam mit Dr. Joachim Boldt und Dr. Oliver Müller verfasste, wurde 2009 unter dem Titel «Synthetische Biologie – Eine ethisch-philosophische Analyse»⁶ in der EKAH-Buchreihe veröffentlicht. Mit einem Gutachten zum moralischen Status künstlicher Lebewesen wurde das EKAH-Mitglied Dr. Bernard Baertschi, Institut éthique biomédicale der Universität Genf, betraut. Dieses Gutachten erschien ebenfalls 2009 in der Buchreihe unter dem Titel «La vie artificielle – Le statut moral des êtres vivants artificiels».⁷ In der Zwischenzeit diskutierten die

Mitglieder der EKAH mit Prof. Beda Stadler, Institut für Immunologie der Universität Bern, verschiedene Lebensbegriffe. Prof. em. Frederick Meins vom Friedrich Miescher Institute (FMI) for Biomedical Research in Basel brachte der EKAH die Rolle der Epigenetik und die Ursachen epigenetischer Phänomene näher. Prof. Joachim Frey vom Institut für Veterinärbakteriologie der Universität Bern und Mitglied der Eidgenössischen Fachkommission für Biosicherheit EFBS wurde über Mikroorganismen, insbesondere *Mycoplasma sp.*, als Modelle der Synthetischen Biologie befragt. Dr. Kurt Hanselmann, i-research and training, Zürich und Mitarbeiter der Gruppe Microbial Ecology an der Universität Zürich, referierte über die Rolle von Mikroorganismen, ihr Verhalten und ihre Funktionen im Ökosystem.

- 3 Andreas Brenner, Leben – Eine philosophische Untersuchung, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, Band 3, Hrsg. EKAH, Bern, 2007.
- 4 In der Reihe «Beiträge zur Ethik und Biotechnologie» veröffentlicht die EKAH Expertenberichte, die in ihrem Auftrag verfasst wurden. Diese Berichte liefern Grundlagen für die Auseinandersetzung mit den ethischen Aspekten der Biotechnologie und dienen der Kommission als Arbeitspapiere. Die Bücher können über das Verlagswesen des Bundesamtes für Bauten und Logistik BBL (www.bundespublikationen.ch) oder über den Buchhandel bezogen werden. Die Texte können zudem kostenlos von der Website der EKAH (www.ekah.admin.ch) herunter geladen werden.
- 5 Anne Eckhardt, Synthetische Biologie. Organisation und Ziele, Bericht für die EKAH, 2008, (<http://www.ekah.admin.ch/de/dokumentation/externe-gutachten/index.html>).
- 6 Joachim Boldt, Oliver Müller, Giovanni Maio, Synthetische Biologie – Eine ethisch-philosophische Analyse, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, Band 5, Hrsg. EKAH, Bern, 2009.
- 7 Bernard Baertschi, La vie artificielle – Le statut moral des êtres vivants artificiels, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, Band 6, Hrsg. EKAH, Bern, 2009.



2 Der Begriff der Synthetischen Biologie, wie er von der Wissenschaftsgemeinde verwendet wird

Um die Synthetische Biologie, ihre Zielsetzungen und Auswirkungen aus ethischer Sicht beurteilen zu können, muss vorerst geklärt werden, was der Forschungsgegenstand der Synthetischen Biologie ist. Zunächst fällt auf, wie schillernd der Begriff der Synthetischen Biologie nicht nur im alltäglichen, sondern auch im fachlichen Sprachgebrauch verwendet wird. Beschränken die einen Definitionen das Ziel der Synthetischen Biologie darauf, dereinst «die minimalen Anforderungen für Lebensvorgänge» zu verstehen⁸, sprechen andere Definitionen davon, mittels der Synthetischen Biologie bisher natürlicherweise nicht vorkommende lebende Systeme zu schaffen. Beispielsweise sollen Zellen und deren metabolische Vorgänge so konstruiert und zusammengesetzt werden, dass sie neue Funktionen erfüllen. Manche Forschenden reden auch von der Vision, Lebensformen aus standardisierten DNA-Bestandteilen von Grund auf neu herzustellen oder zu verändern oder gar davon, allein aus chemischen Bestandteilen und DNA-Bauplänen Leben zu kreieren. Steven A. Benner z.B. beschreibt diesen Anspruch der Synthetischen

Biologie 2003 in der Zeitschrift *Nature* mit diesen Worten:

*«To a synthetic biologist, life is a special kind of chemistry, one that combines a frequently encountered property of organic molecules (the ability to undergo spontaneous transformation) with an uncommon property (the ability to direct the synthesis of self-copies), in a way that allows transformed molecular structures themselves to be copied. Any chemical system that combines these properties will be able to undergo Darwinian selection, evolving in structure to replicate more efficiently. In a word, <life> will have been created».*⁹

Auch wenn Steven A. Benner davon spricht, Leben zu kreieren, überrascht nicht, dass er das Wort «Leben» in Anführungszeichen setzt. Denn eine der zentralen Fragen für die ethische Beurteilung liegt darin, wie das Produkt der Synthetischen Biologie zu qualifizieren ist. Wird tatsächlich Leben hergestellt? Das setzt die Klärung der Frage voraus, was Leben ist. Andreas Brenner weist darauf hin, dass es Naturwissenschaftler häufig vermieden, diese Frage zu

⁸ Siehe http://www.ethz.ch/news/ethupdate/2007/070619_1/index.

⁹ Steven A. Benner, *Synthetic Biology: Act natural*. In: *Nature*. Vol. 421, 9. Januar 2003, S. 118 (zitiert nach A. Brenner, *Leben*, 2007, S. 158). – Übersetzung: «Für einen Synthetischen Biologen ist Leben eine besondere Art von Chemie, eine, die eine häufig vorkommende Eigenschaft organischer Moleküle (die Fähigkeit, sich spontan verändern zu können) mit einer ungewöhnlichen Eigenschaft (der Fähigkeit, die Synthese zur Selbstreplikation auszuführen), so verbindet, dass sich veränderte molekulare Strukturen selber replizieren können. Jedes chemische System, das diese Eigenschaften verbindet, wird sich der Darwinschen Selektion unterziehen und sich strukturell so weiterentwickeln können, dass es sich effizienter repliziert. Mit einem Wort: Es wird <Leben> kreiert.»



beantworten. Bei den Pionieren der Synthetischen Biologie sei dies jedoch anders. Jack W. Szostak, David P. Bartel und Pier Luigi Luisi unternahmen 2001, ebenfalls in der Zeitschrift *Nature*, einen Definitionsversuch, allerdings auch nicht ohne festzustellen, dass ein solcher mit grossen Schwierigkeiten verbunden ist.¹⁰

«We can consider life as a property that emerges from the union of two fundamentally different kinds of replicating systems: the informational genome and the three-dimensional structure in which it resides.»¹¹

An den aktuellen Definitionen der Synthetischen Biologie, wie sie von der Wissenschaftsgemeinde selbst verwendet werden, fällt auf, dass sie den Begriff «Leben» inzwischen vorwiegend vermeiden und stattdessen von biologischen Systemen sprechen. Der technische Charakter der Disziplin wird in den Vordergrund gestellt. Das TESSY¹²-Projekt der Europäischen Union definiert Synthetische Biologie folgendermassen:

«Synthetic biology aims to 1. engineer and study biological systems that do not exist as such in nature, and 2. use this approach for i) achieving better understanding of life processes, ii) generating and assembling functional modular components, or iii) develop novel applications or processes.»¹³

Diese Definition der Synthetischen Biologie ist so allgemein gehalten, dass auch transgene Organismen darunter fallen. Sie sagt insofern nichts darüber aus, was an der Synthetischen Biologie im Vergleich zur Gentechnik neu ist. Auf der Website der Synthetic Biology 4.0 Conference von Oktober 2008 in Hongkong wird die Synthetische Biologie so beschrieben:

«Synthetic Biology is a new approach to engineering biology, with an emphasis on technologies to write DNA. Recent advances make the de novo chemical synthesis of long DNA polymers routine and precise. Foundational work, including the standardization of DNA-encoded parts and devices, enables them to be combined to create programs to control cells.»¹⁴

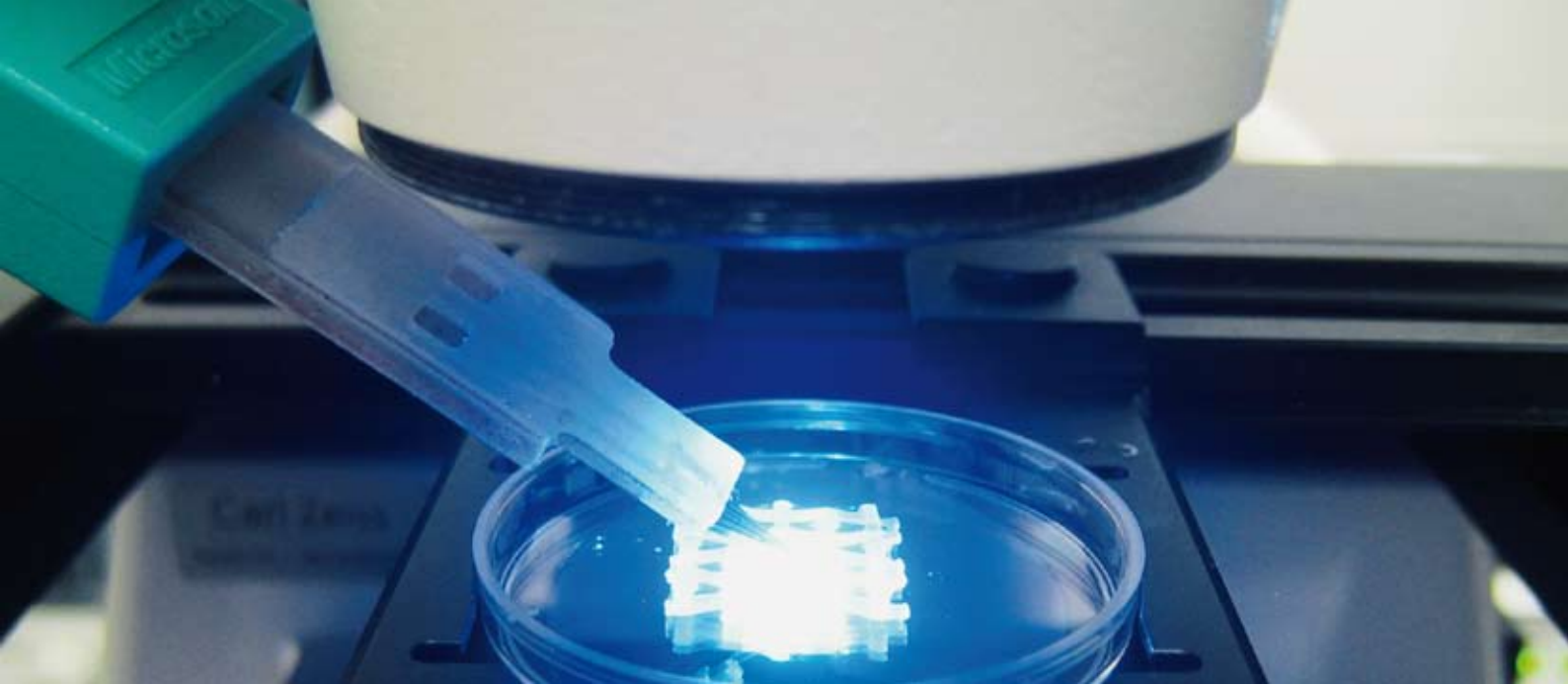
10 Andreas Brenner, *Leben – Eine philosophische Untersuchung*, 2007, S. 156.

11 Jack W. Szostak, David P. Bartel und Pier Luigi Luisi, *Synthesizing life*. In: *Nature*: Vol. 409, 18. Januar 2001, S. 387 (zitiert nach A. Brenner, *Leben*, 2007, S. 156). – Übersetzung: «Wir können Leben als eine Eigenschaft betrachten, die aus der Verbindung zweier fundamental unterschiedlicher Replikationssysteme hervorgeht: dem Genom als Informationsträger und der dreidimensionalen Struktur, in dem es sich befindet.»

12 TESSY steht für: Towards a European Strategy for Synthetic Biology.

13 Siehe: www.tessy-europe.eu/public_docs/TESSY-Final-Report_D5-3.pdf – Übersetzung: «Die Synthetische Biologie beabsichtigt, 1. biologische Systeme, die als solche natürlicherweise nicht vorkommen, herzustellen und zu untersuchen, und 2. diesen Ansatz zu nutzen, um i) Lebensprozesse besser zu verstehen, ii) funktionale modulare Bestandteile zu generieren und zusammensetzen oder iii) neuartige Anwendungen oder Prozesse zu entwickeln.»

14 Siehe Synthetic Biology 4.0 Conference, 10.–12. Oktober 2008, Hong Kong University of Science & Technology, <http://sb4.biobricks.org/field>. (Die Synthetic Biology 5.0 Conference ist zurzeit in Vorbereitung: <http://syntheticbiology.org/Conferences.html>). – Übersetzung: «Synthetische Biologie ist ein neuer Ansatz der Biotechnologie, mit einem Schwerpunkt auf Technologien zum Schreiben von DNA. Neuere Fortschritte erlauben eine routinemässige und präzise de novo-Synthese langer DNA-Polymere. Grundlagenarbeit, einschliesslich die Standardisierung DNA-kodierter Teile und Baupläne, ermöglicht es, diese zu kombinieren, um Programme zur Zellkontrolle zu entwickeln.»



Zur Frage, was an der Synthetischen Biologie im Vergleich zur Gentechnik neu ist, äussern sich die Autoren dieser Website folgendermassen:

*«Synthetic Biology builds on tools that have been developed over the last 30 years. Genetic engineering has focused on the use of molecular biology to build DNA (for example, cloning and PCR) and automated sequencing to read DNA. Synthetic Biology adds the automated synthesis of DNA, the setting of standards and the use of abstraction to simplify the design process.»*¹⁵

Die Standardisierung und Automatisierung der Herstellung biologischer Systeme bildet damit den Kern der Synthetischen Biologie und stellt die Voraussetzung für deren Zielsetzungen dar: das Entwerfen und Herstellen bzw. Nachbauen neuer oder bereits existierender biologischer Komponenten und Systeme.

«Synthetic biology refers to both:

- the design and fabrication of biological components and systems that do not already exist in the natural world,*
- the re-design and fabrication of existing biological systems.»*¹⁶

¹⁵ Siehe Synthetic Biology 4.0 Conference, 10.–12. Oktober 2008, Hong Kong University of Science & Technology (<http://sb4.biobricks.org/field>). – Übersetzung: «Die Synthetische Biologie baut auf Techniken auf, die über die letzten 30 Jahre entwickelt worden sind. Die Gentechnik fokussierte auf Anwendungen der Molekularbiologie, um DNA herzustellen (z.B. Klonen und PCR), und automatisierte Sequenzierung von DNA, um sie zu lesen. Synthetische Biologie fügt die automatisierte Synthesisierung von DNA hinzu, setzt Standards und vereinfacht durch die Verwendung der Abstraktion den Designprozess.»

¹⁶ Siehe <http://syntheticbiology.org/FAQ.html>.

(Dieses Website kann von allen Mitgliedern der Synthetic Biology Community editiert werden.) – Übersetzung: «Synthetische Biologie bezieht sich auf beides: das Entwerfen und Bilden biologischer Bestandteile und Systeme, die natürlicherweise nicht schon vorkommen und das Rekonstruieren und Nachbauen bereits existierender biologischer Systeme.»



3 Synthetische Biologie als Arbeitsfeld mit unterschiedlichen Zielen und Methoden

Im Vordergrund der Synthetischen Biologie stehen das Entwerfen und Herstellen nicht schon natürlicherweise vorkommender biologischer Bestandteile und Systeme sowie die Rekonstruktion und der Nachbau bereits existierender biologischer Systeme. Um diese Ziele zu verfolgen, wird mit verschiedenen Methoden gearbeitet. Es hat sich etabliert, im Wesentlichen drei Ansätze zu unterscheiden, die unter den Begriff der Synthetischen Biologie gefasst werden.

Der erste Ansatz wird auch als **Chassis-Modell** bezeichnet. Das Genom eines bestehenden Lebewesens wird in einem «Top-down»-Ansatz auf ein Minimum reduziert, so dass das Lebewesen unter Laborbedingungen gerade noch über die allernotwendigsten Komponenten verfügt, die eine minimale Permanenz des Systems und einen elementaren Stoffwechsel erhalten. In diesen Minimalorganismus sollen gezielt synthetische Module eingebaut werden, so dass das Lebewesen die gewünschten neuen Funktionen erfüllt, z.B. einen bestimmten Stoff produziert. Gegenwärtig beschränkt sich die Anwendung dieses Modells auf Bakterien und Viren. Da bei diesem Modell mit bereits existierenden Lebewesen gearbeitet wird, die mit neuen Eigenschaften ausgestattet werden, kann diese Form der Synthetischen Biologie auch als «extreme Gentechnik» bezeichnet werden.

Beim zweiten Ansatz, auch **Lego-Modell** genannt, sollen Biobricks – definierte funktionelle DNA-Abschnitte – in einem «Bottom-up»-Ansatz zusammengesetzt werden, um neue Arten von Lebewesen zu erzeugen. Chemische Systeme werden schrittweise so aufgebaut, dass sie bestimmte Eigenschaften von Lebewesen aufweisen. Bei diesem Modell kommt eine Technik zur Anwendung, die nicht auf bereits vorhandenen Lebewesen aufbaut und die deshalb über die Gentechnik hinausweist. Sie wird auch als «absolute Synthetische Biologie» bezeichnet.

Auch der dritte Ansatz, die **Synthese von DNA-Sequenzen**, z.B. das Zusammenfügen neu entworfener oder bereits existierender Sequenzen, wird, wie wir in der Definition der Zielsetzungen weiter oben gesehen haben, unter den Begriff der Synthetischen Biologie gefasst.



4 Anwendungsbereiche der Synthetischen Biologie

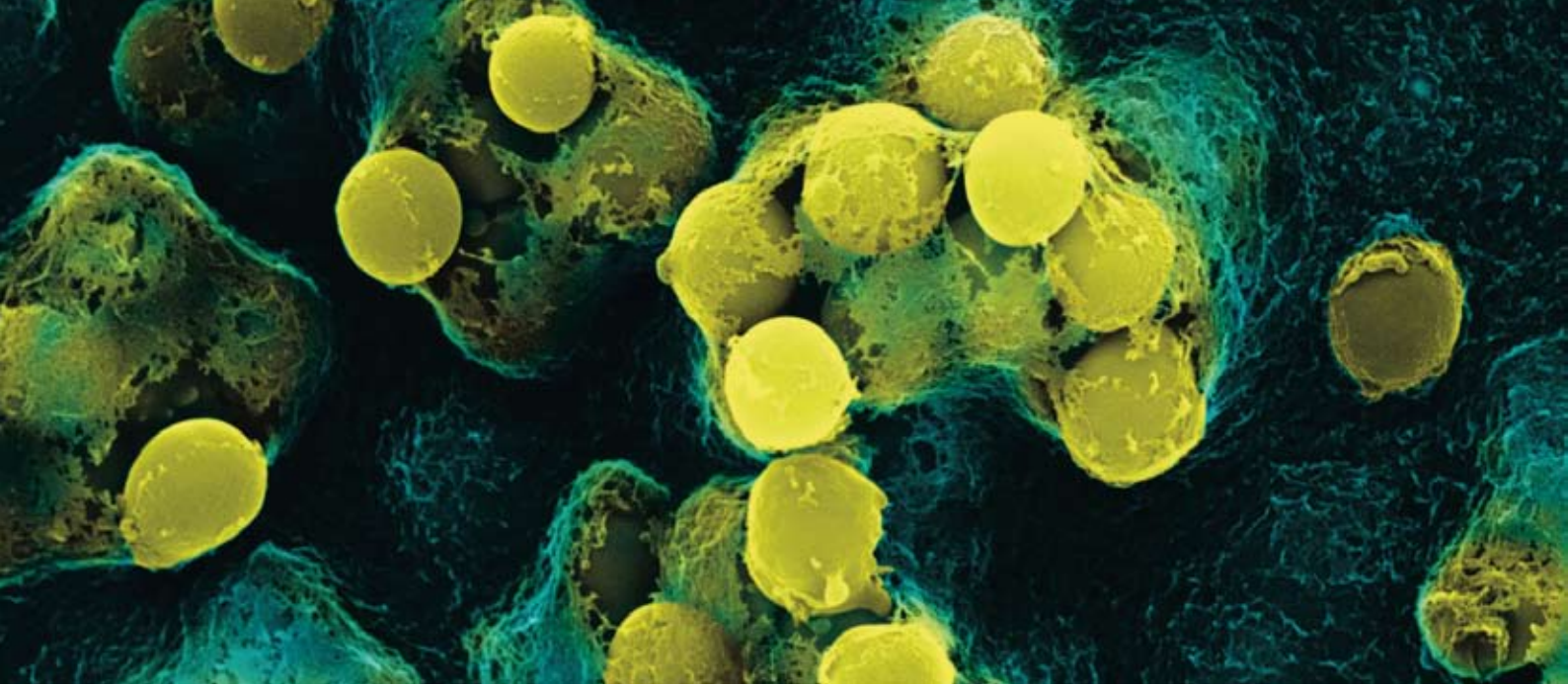
Als mögliche Anwendungsbereiche der Synthetischen Biologie werden bisher unter anderen genannt:¹⁷

- **Energiegewinnung:** Synthetisch hergestellte Zellen sollen nachwachsende Rohstoffe in Energie umwandeln.
- **Materialproduktion:** Rekombinante sollen so konstruiert werden, dass sie chemische Vorläufer für die Produktion von Plastik oder Textilien, z.B. Spinnenseide oder Austauschprodukte für Petrochemieprodukte bilden.
- **Medikamentenproduktion:** Mit synthetisch hergestellten Bakterien und Hefe sollen kostengünstig Medikamente produziert werden. Als Beispiele werden Artemisinin zur Bekämpfung von Malaria und der Cholesterolsenkende Wirkstoff Atorvastatin (Lipitor®) genannt.

- **Medizin:** Zellen sollen für therapeutische Zwecke programmiert werden. Bakterien und T-Zellen können so verändert werden, dass sie im Körper zirkulieren und kranke Zellen und krankes Gewebe identifizieren und behandeln können.
- **Militärische Anwendungen:** Die Synthetische Biologie soll bei der Entwicklung bzw. der Bekämpfung neuer biologischer Waffen nutzbar gemacht werden.
- **Umweltechnologie:** Kohlendioxidbindende Bakterien sollen beispielsweise den CO₂-Gehalt in der Luft reduzieren helfen.
- **«Universaltechnologie»:** Mit Hilfe der Erkenntnisse der Synthetischen Biologie können komplexe biologische Netzwerke im Computer simuliert und untersucht werden. Auf diese Weise lassen sich, so die Idee, beispielsweise bereits am Computer Wirkstoffe entwickeln und konstruieren, die diese biologischen Systeme beeinflussen können.

Die einzigen Anwendungen, die bisher zur Marktreife gebracht wurden, sind die Artemisinin-Produktion zur Malariabekämpfung und der Cholesterolsenkende Wirkstoff Atorvastatin. Hierbei handelt es sich um eine Anwendung des Chassis-Modells, also um eine Form von Gentechnik. Alle anderen Anwendungsbereiche bewegen sich nach wie vor im Bereich von Zukunftsvisionen. Für die ethische Beurteilung ist jedoch nicht nur relevant, was bereits getan wird, sondern auch, was beabsichtigt und erhofft wird, nämlich, neue Lebewesen kontrolliert herstellen und ihre Funktionen beherrschen zu können.

¹⁷ Siehe <http://sb4.biobricks.org/field> (Synthetic Biology 4.0 Conference, 10.–12. Oktober 2008, Hong Kong University of Science & Technology) oder eine Übersicht über laufende Projekte der Synthetischen Biologie in Europa: <http://www.synbiosafe.eu/index.php?page=other-sb-projects>.



5 Der Anspruch der Synthetischen Biologie

Der Anspruch der Synthetischen Biologie liegt darin, in einem kontrollierten Prozess neue Lebewesen herstellen und ihre Funktionen beherrschen zu können. Wie ist dieser Anspruch ethisch zu beurteilen? Um diese Frage zu beantworten, muss jeder einzelne Aspekt dieses Anspruchs separat diskutiert werden: Was bedeutet es, von «neuen Lebewesen» zu sprechen? Was heisst «herstellen»? Was ist unter «Kontrollierbarkeit» zu verstehen?

5.1 Neue Lebewesen

Wie ist dies zu verstehen, wenn das Lego-Modell davon spricht, *neue Lebewesen* herzustellen? Das Lego-Modell verwendet, wie die anderen Ansätze der Synthetischen Biologie, ebenfalls bereits existierende Moleküle. Es bleibt immer ein Bezugspunkt zu etwas schon Vorhandenem. «Neu» kann demnach nicht in dem Sinne verstanden werden, dass die Produkte des Lego-Modells *ex nihilo*, aus Nichts, geschaffen werden.¹⁸

Bedeutet «neu» stattdessen «neuartig»? Das im Vergleich zur Gentechnik Neue an der Synthetischen Biologie ist

nicht, dass sie neuartige Lebewesen herstellt, sondern die Art und Weise, wie sie dies im Fall des Lego-Modells tut. Sie verändert nicht bestehende Lebewesen, sondern will diese aus Elementen, die selbst keine Lebewesen sind, zusammenbauen. Würde man nur davon reden, dass es Lebewesen dieser Art noch nicht gab, würde die Synthetische Biologie sowohl beim Chassis- als auch beim Lego-Modell nur wiederholen, was seit Zehntausenden von Jahren in der Züchtung und seit fünfzig Jahren – auch die Artgrenze überschreitend – in der Gentechnik geschieht. Auch Hunde wie z.B. den Dackel gab es nicht, bevor Menschen ihn züchteten.

Wird «neu» in dem Sinne verstanden, dass diese Lebewesen – wie dies einige Visionen der Synthetischen Biologie anstreben – teilweise oder ausschliesslich aus anorganischer Materie geschaffen werden? Dies hiesse, dass chemische Elemente oder Verbindungen benutzt würden, die bisher der anorganischen Chemie zugeordnet werden. Als anorganisch werden die chemischen Elemente und Reaktionen von Stoffen bezeichnet, die nicht von

¹⁸ Die Kritik, das Lego-Modell nehme für sich in Anspruch, «Gott spielen zu wollen», indem es neue Lebewesen schaffen will, setzt eine stark westlich-christlich geprägte Auffassung voraus, dass Gott Materie aus Nichts geschaffen hat. Andere Religionen kennen keine Kreation in diesem Sinne und auch Teile der griechisch-römischen Philosophie der Antike gehen mehrheitlich von der Ewigkeit der Materie aus.



organischem Leben erzeugt werden. Als organisch werden kohlenstoffhaltige Verbindungen bezeichnet. Solange die Projekte des Lego-Modells nach wie vor auf bestehenden Kohlenstoffverbindungen basieren, würden sie also nichts Neues in diesem Sinne schaffen. Neu wären sie erst dann, wenn synthetisierte Lebewesen etwa auf der Basis von Silizium statt Kohlenstoffverbindungen hergestellt würden.

Schliesslich kann der Begriff «neu» auch so verstanden werden, dass hier erstmals Lebewesen wie Maschinen ingenieurmässig hergestellt werden sollen: Sie werden am Reissbrett entworfen und anschliessend zusammengebaut.

5.2 Herstellen

Ziel des Lego-Modells ist, aus molekularen Bestandteilen Lebewesen zu synthetisieren, d.h. zusammenzufügen und auf diese Weise Lebewesen *herzustellen*. Was bedeutet es, wenn davon die Rede ist, Lebewesen herzustellen oder auch zu kreieren, zu (er)schaffen?

Für die einen bedeuten diese Begriffe lediglich, mit der Technik der Synthetischen Biologie *die notwendigen Bedingungen für Leben bereit zu stellen*. Dieser Begriffsverwendung wird entgegengehalten, dass sie mit dem alltagssprachlichen Gebrauch nicht vereinbar sei. Mit Kreieren und Erschaffen könne im vorliegenden Kontext nur verstanden werden, *Leben als Produkt zu erzeugen*. Dieses Verständnis von Herstellen impliziere jedoch, so die daran anschliessende

Kritik, dass das Herstellen von Lebewesen ein rein mechanischer, physikalischer Prozess sei. Damit aber werde man dem, was Leben ist, nicht gerecht. Wenn sich zudem die Synthetische Biologie selbst als in der Ingenieurs-tradition stehend begreift, die Technik und Kunst verbindet, dann schwinde im Begriff des Herstellens auch das Element des kreativen, künstlerischen Entwerfens mit. Falls damit ein Schöpfungsgedanke assoziiert wird, richtet sich die Kritik nicht nur gegen die Sprache, die die Synthetische Biologie verwendet, sondern gegen den Anspruch, den sie zu erheben scheint: die biologische Natur in der Tradition der Technik verändern und kontrollieren zu können.

5.3 Kontrollierbarkeit

Die Synthetische Biologie erhebt den Anspruch, in einem kontrollierten Prozess Lebewesen zielgerichtet, d.h. auf berechenbare und kontrollierbare Weise umbauen (Chassis-Modell) bzw. neu konstruieren (Lego-Modell) zu können. Damit kann auch der Gedanke verbunden sein, die entstandenen Produkte weiterhin kontrollieren zu können. Ob dies möglich ist, ist besonders von risikoethischer Relevanz (vgl. 7). Hier geht es zunächst nur um den Gedanken, Lebewesen in einem kontrollierten Prozess herstellen zu können. Wie ist dieser Anspruch zu beurteilen?

Kritiker werfen der Synthetischen Biologie vor, die Idee, dass Leben in seine Einzelteile zerlegt werden kann, fusse auf einer mechanistischen Denkweise.



Eine solche Denkweise führe zu einer verengten Wahrnehmung von Leben. Der Anspruch, Lebewesen, d.h. ihre Existenz und ihre Funktionen im Prinzip vollständig kontrollieren und beherrschen zu können, bezieht sich dann nicht nur auf Mikroorganismen, sondern wird auf Lebendiges insgesamt ausgeweitet. Aus einem solchermaßen reduzierten Lebensverständnis folgt aus Sicht der Kritik weiter, dass es der Synthetischen Biologie nicht in erster Linie darum geht, Lebewesen besser zu verstehen, sondern darum, sie noch mehr kontrollieren und damit instrumentalisieren zu können.

Gegen diese Kritik lassen sich folgende Gegeneinwände anführen: Erstens gehört es zur Aufgabe von Wissenschaftlern, Kenntnisse zu generieren. Die dem Leben zugrunde liegenden Kausalzusammenhänge sind der Naturwissenschaft prinzipiell zugänglich. Zweitens könnte sein, dass das Funktionswissen für die experimentell-technische Ebene der Synthetischen Biologie ausreicht. Es wäre dann gar nicht nötig zu wissen, was Leben ist, um Synthetische Biologie zu betreiben und möglicherweise ebenso wenig, um ihre Auswirkungen aus ethischer Sicht zu beurteilen. Gegen die Kritik, dass die Synthetische Biologie die Instrumentalisierung von Lebewesen zum Ziel hat, kann eingewendet werden, dass die Vertiefung der Kenntnisse über Lebewesen und die technische Anwendbarkeit von Wissen miteinander verbunden sind. Diese Verknüpfung verlangt nicht, auf die Anwendung zu verzichten, sondern die Macht, die mit der Beherrschung

der Technik einhergeht, stets verantwortlich auszuüben.

5.4 Unterschiedliche ontologische Konzepte von Leben

Die Beantwortung der Frage, inwiefern es prinzipiell möglich oder unmöglich ist, Lebewesen kontrolliert herstellen zu können, hängt davon ab, welches Lebensverständnis der Beurteilung zugrunde gelegt wird.¹⁹

Kontroverse ontologische Auffassungen darüber, was Leben ist, finden sich auch innerhalb der EKAH. Sie äussern sich in unterschiedlichen Redeweisen. Auf der einen Seite wird eine als technisch bezeichnete Sprache verwendet, die Leben als Bündel von Funktionen beschreibt (Organisation, Reproduktion, Metabolismus, Reaktion auf Umweltstimulation). Was Leben zu Leben macht, kann hier kausallogisch erklärt werden. Auf der anderen Seite treffen wir auf eine systemorientierte Sprache. Man tritt für einen hermeneutischen Zugang ein. Die Beschreibung allein von Funktionen kann nach dieser Auffassung dem, was Leben ist, nicht gerecht werden. Es braucht auch Handlungswissen im Umgang mit Lebewesen.

Es gelingt nicht, diese unterschiedlichen Herangehensweisen und die damit verknüpften Bedeutungen von Leben zusammenzuführen. Sie können aber auch nicht einfach nebeneinander stehen gelassen werden, denn beide Ansätze erheben für sich denselben Anspruch, die Frage nach dem, was Leben ist, beantworten zu können. Die ontologische Auffassung, dass Leben

¹⁹ Auch wenn beispielsweise die TESSY-Definition von biologischen Systemen und nicht von Leben spricht, so erübrigt sich die Diskussion darüber, was Leben ist, nicht. Der Begriff «biologische Systeme» ist ein Abstraktum, das teilweise als Synonym für das Abstraktum «Leben» verwendet wird.



abschliessend kausallogisch erklärt werden kann, sieht keine plausible Erklärung dafür, weshalb es mehr als Funktionswissen braucht, um den Umgang mit Lebewesen adäquat beurteilen zu können. Die andere Auffassung hingegen lässt dies nicht gelten. Für sie bleibt ausgeschlossen, allein aufgrund von Funktionswissen erfassen zu können, was Leben ist. Ohne dieses zusätzliche und nur hermeneutisch zugängliche Wissen kann man dieser Auffassung nach nicht über adäquates Wissen für den ethisch richtigen Umgang mit Lebewesen verfügen.

Die EKAH unterschied folgende ontologische Grundsatzpositionen:

- **Monismus:** Unter Monismus wird die Zurückführung von Vorgängen und Phänomenen der Welt auf ein Einheitsprinzip (hier: ontologischer Naturalismus/Materialismus) verstanden. Was wir Leben nennen, bezieht sich auf *rein physikalisch-chemische* Eigenschaften von Lebewesen, wobei Leben eine emergente Eigenschaft materieller Wesen ist oder sein kann.
- **Vitalismus:** Der Vitalismus nimmt als Grundlage alles Lebendigen eine Lebenskraft (*vis vitalis*) im Sinne eines eigenständigen Prinzips an, das zugleich das Besondere des Lebens im Unterschied zum Unbelebten erklärt. Nach dieser Lehre sind Organismen *nicht allein durch chemisch-physikalische Eigenschaften erklärbar*. Leben besteht aus mindestens einer *prinzipiell unbekannt* Eigenschaft.

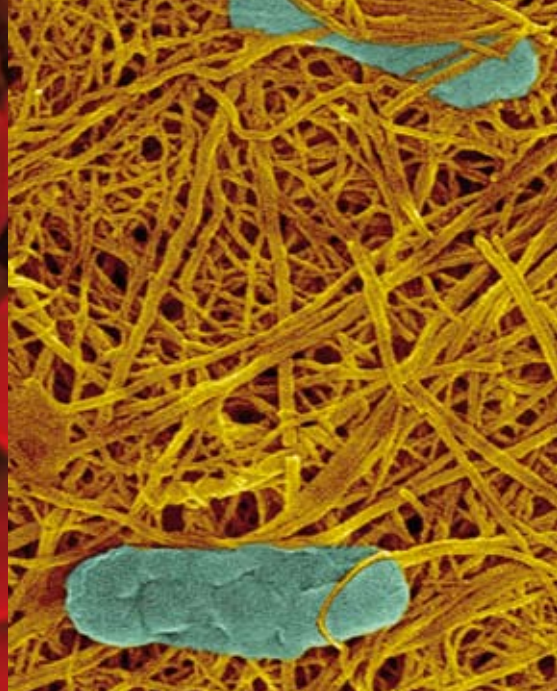
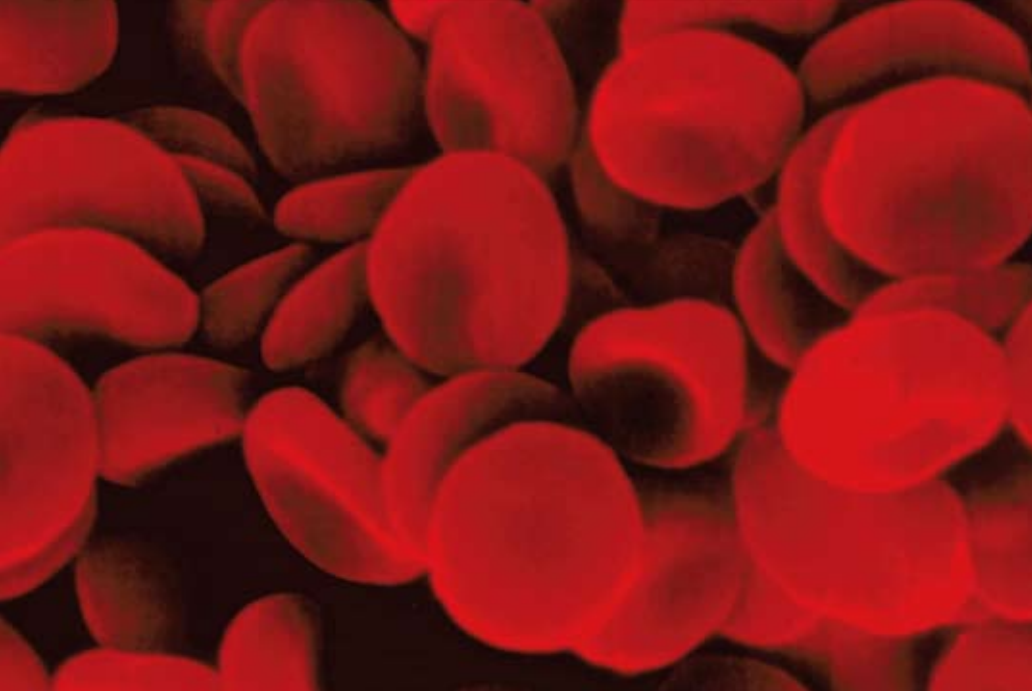
- **Dualismus:** Mit Dualismus wird in der Regel das Neben- oder Gegen-einander von zwei nicht aufeinander zurückführbaren, meist gegensätzlichen, Prinzipien, Substanzen, Kräften und/oder Bestimmungen bezeichnet. Dualismus wird heute auch im Sinne eines «polaren Dualismus» als wechselseitige Bezogenheit beider Grössen verstanden.²⁰ In dualistischer Sicht lässt sich Leben niemals auf nur materielle Eigenschaften zurückführen. Es umfasst auch mindestens eine *immaterielle* Komponente.

- **Skeptizismus:** Der Skeptizist stellt grundsätzlich in Frage, dass es möglich ist, wahre Aussagen über das Wesen des Lebens zu treffen. Vielmehr muss man sich jeder Aussage enthalten.
In einer schwachen Version sagt der Skeptizismus, dass eine Bestimmung dessen, was Leben ist, derzeit nicht möglich ist.

Wer eine monistische Ontologie voraussetzt, nimmt an, dass Lebewesen rein materieller Natur sind. Für Vertreter dieser Position gibt es keine prinzipiellen Gründe dafür, dass der Ansatz des Lego-Modells nicht erfolgreich sein und also Leben herstellen könnte.

Wer eine vitalistische oder dualistische Ontologie voraussetzt, geht davon aus, dass Leben aus mindestens einer prinzipiell unbekanntem immateriellen Eigenschaft besteht. Vertreter dieser Positionen werden vielleicht Zweifel hegen, ob es möglich sei, aus nicht lebenden Komponenten Lebewesen

²⁰ Siehe Franz von Kutschera, *Jenseits des Materialismus*, mentis, Paderborn, 2003.



«zusammenzufügen». Was Leben sei und wie es entstehe, entziehe sich dem Zugang der naturwissenschaftlichen Methodik. Daher sei auch der Anspruch zurückzuweisen, Leben kontrolliert und gezielt herstellen zu können.

Wer eine skeptische Auffassung vertritt, wonach man im Umgang mit Lebewesen an – möglicherweise nur vorläufige – erkenntnistheoretische Grenzen stösst, geht davon aus, dass man nicht wissen kann, was Leben ist. Die ontologische Frage nach dem, was Leben ist, kann deshalb nicht beantwortet werden. Skeptiker müssen sich folglich jeden Urteils über die Produkte der Synthetischen Biologie enthalten.

Festzuhalten ist, dass weder die skeptische Auffassung noch die vitalistische oder die dualistische Position ausschliessen, dass die Produkte des Lego-Modells Lebewesen sein können. Ob sie Lebewesen sind, lässt sich anhand bestimmter Manifestationen von Leben wie Stoffwechsel, Reproduktion, Eigenbewegung erkennen. Aber auch wer grundsätzlich verneint, dass das Lego-Modell erfolgreich sein kann (aufgrund der Position, dass uns die Herstellung von Lebewesen grundsätzlich entzogen ist), hat noch keine Begründung für ein Verbot formuliert, den Versuch einer solchen Herstellung in Angriff zu nehmen. Um zu verbieten, einen zwar aus dieser Sicht ontologisch unmöglichen, faktisch aber vielleicht doch erfolgreichen Weg zu beschreiten, bedürfte es anderer Gründe.

Die genannten ontologischen Positionen lassen letztlich alle die Möglichkeit offen, dass der Ansatz des Lego-Modells erfolgreich ist und als Produkte Lebewesen entstehen. Die Unterschiede der Positionen kommen in der unterschiedlichen Art und Weise zum Ausdruck, in der über die Kontrollierbarkeit bzw. Unkontrollierbarkeit des Prozesses und der Produkte der Synthetischen Biologie gesprochen wird. Diese unterschiedliche Sprech- und Sichtweise hat Auswirkungen auf die Diskussion der verantwortungsethischen Fragen.

Innerhalb der EKAH vertritt die die Hälfte der Mitglieder eine monistische Position und bildet damit die **Mehrheit**. Die **grösste Minderheit** geht von einem vitalistischen Lebenskonzept aus, eine **kleinere Minderheit** vertritt eine skeptische Position. Ein dualistisches Verständnis von Leben wird von der **kleinsten Minderheit** vertreten.



6 Moralischer Status der Lebewesen, mit denen die Synthetische Biologie arbeitet oder die als deren Produkte geschaffen werden

Die Mitglieder der EKAH sind sich einig, dass, sofern das Lego-Modell erfolgreich ist, als dessen Produkt *Lebewesen* entstehen. Die Art und Weise, wie diese Lebewesen entstehen, ob in einem natürlichen Prozess oder auf andere Weise, hat keinen Einfluss auf ihren moralischen Status.²¹ Im Vordergrund der Synthetischen Biologie stehen heute die Mikroorganismen, mit denen beide Modelle der Synthetischen Biologie arbeiten oder die sie als Produkte herstellen wollen. Langfristig, zumindest aufgrund bestimmter Visionen der Synthetischen Biologie, rücken zwar alle Lebewesen ins Blickfeld. Am kniffligsten präsentiert sich die Frage nach dem moralischen Status von Lebewesen jedoch bei Mikroorganismen.

6.1 Moralische Berücksichtigung aufgrund eines Eigenwerts

Man kann in Frage stellen, ob die Diskussion eines Eigenwerts im Zusammenhang mit Mikroorganismen notwendig ist oder ob man die ethische Diskussion nicht allein auf die verantwortungsethischen Fragestellungen beschränken könnte. Der verfassungsrechtliche Kontext, in dem die vorliegende Diskussion stattfindet, fordert jedoch eine Klärung dieser Frage nach dem Eigenwert. Gemäss Art. 120 der Schweizerischen Bundesverfassung ist im Umgang mit Tieren, Pflanzen und anderen Organismen der «Würde der Kreatur» Rechnung zu tragen.²²

Verfügen Mikroorganismen über einen Eigenwert, d.h. verfügen sie über etwas, das man auch «Würde» nennt? Wesen, die einen Eigenwert haben, zählen moralisch um ihrer selbst willen. Kommt man zum Schluss, dass sie einen Eigenwert haben, ist anschliessend zu prüfen, welche *direkten* Pflichten wir gegenüber diesen Lebewesen haben.

²¹ Die Mitglieder folgen in diesem Punkt Bernard Baertschi, der in seiner Schrift «La vie artificielle – Le statut moral des êtres vivants artificiels», 2009, zum Schluss kommt, dass die Genese der Lebewesen ihren moralischen Status nicht beeinflusst.

²² Schweizerische Bundesverfassung, SR 101, Art. 120 Gentechnologie im Ausserhumanbereich, <http://www.admin.ch/ch/d/sr/101/a120.html>.



Ob Mikroorganismen aufgrund eines Eigenwerts moralisch zu berücksichtigen sind, ist abhängig von der ethischen Position, die vertreten wird. Die EKAH-Mitglieder haben – zugespitzt auf die Eigenwertsfrage – die geläufigsten umweltethischen Ansätze diskutiert, die auch in der Literatur üblicherweise zur Sprache kommen.

Theozentrische Position: Mit Theozentrik wird ein Grundmodell menschlicher Erkenntnis, der Ethik und des Naturverständnisses bezeichnet, in dem Gott (*gr. theos*) als Prinzip, Massstab und Ziel allen Seins, Wissens und Handelns gilt. Die theozentrische Position geht davon aus, dass der Wert von allem, was ist, aus seiner Gottgeschaffenheit folgt. Mikroorganismen haben wie alle anderen Lebewesen keinen Eigenwert, sondern einen von Gott verliehenen Wert. Sie sind als Kreaturen Gottes zu achten. Kritiker bezeichnen einen solchen Wert jedoch nicht als Eigenwert, sondern als relationalen Wert. Man kann innerhalb einer religiösen Ethik zwar vertreten, dass Gott auch Wesen schaffen kann, die Eigenwert haben. Daraus resultieren aber aus Sicht der Kritiker keine theozentrische Position, sondern anthropo-, patho-, bio- oder ökozentrische Positionen.

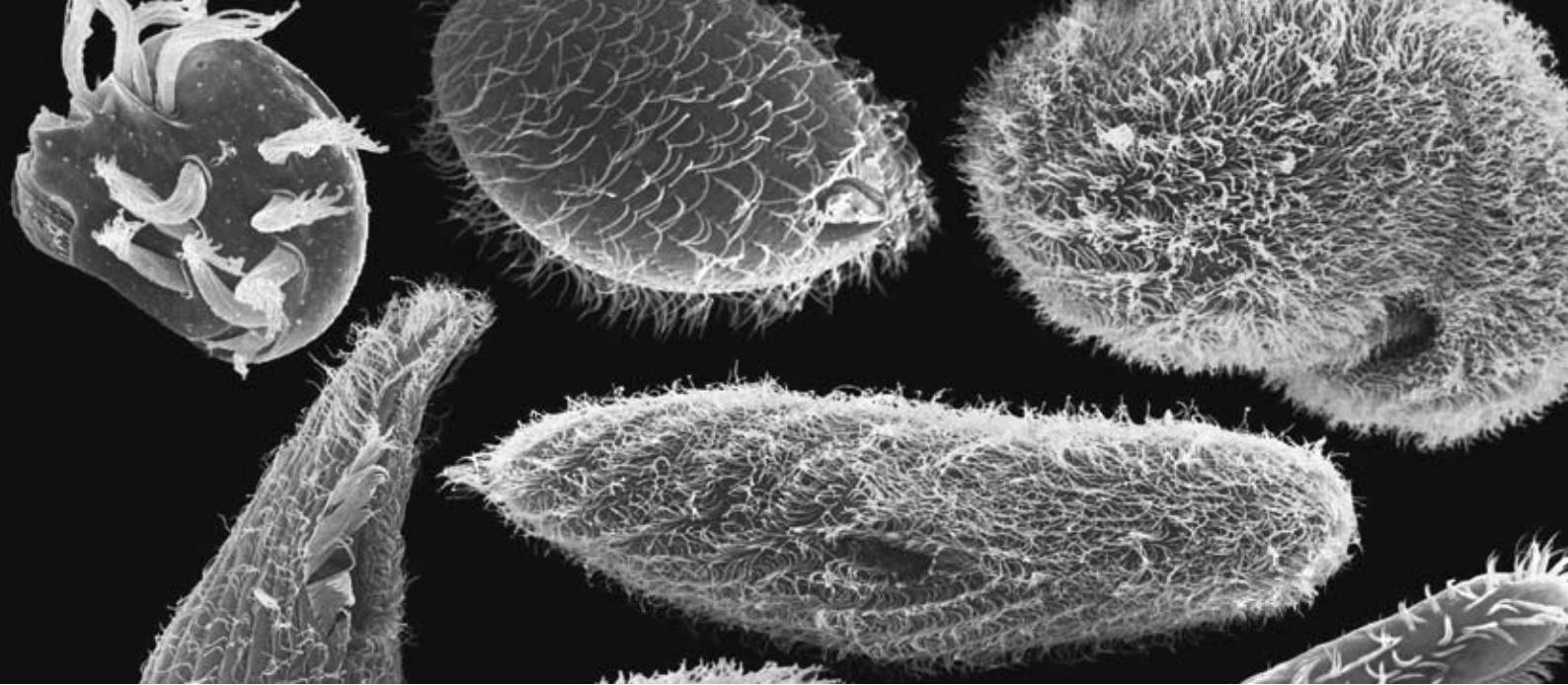
Anthropozentrische Positionen:²³ Der Anthropozentrismus geht davon aus, dass der Mensch allein einen Wert um seiner selbst willen hat. Andere Lebewesen haben nur einen relationalen oder instrumentellen Wert, keinen Eigenwert. Die Sonderstellung, die der Anthropozentrismus dem Menschen

zuschreibt, leitet sich entweder aus seiner Gottebenbildlichkeit ab (siehe auch theozentrische Position) oder aus seiner (potenziellen) Vernunftfähigkeit und seinem Abstraktions- und Sprachvermögen ab. Im zweiten Fall handelt es sich genauer um Ratiozentrismus. Alle Lebewesen, die über dieselben Fähigkeiten und Eigenschaften wie Menschen verfügen, gehören zum Kreis der Lebewesen mit Eigenwert. Beide Positionen spielen für die Frage des Eigenwerts von Mikroorganismen keine Rolle.

Mitunter wird die **anthropo-relationale Position** als gemässigte Form des Anthropozentrismus bezeichnet. Nach dieser Auffassung wird dem Menschen eine besondere Rolle zugewiesen, weil er als einziges Wesen Verantwortung für andere übernehmen könne. Nichtmenschliche Lebewesen sind aufgrund ihrer Beziehung zum Menschen moralisch zu berücksichtigen. Eine theologische Variante sieht dieses gesamte Gefüge nochmals eingeordnet in einen theozentrischen Kontext. Auch hier liegt aus Sicht von Kritikern dieser Position kein Eigenwert, sondern ein relationaler Wert vor. Sobald eine Position vertreten werde, wonach andere Lebewesen als der Mensch in irgendeiner Weise einen Eigenwert haben, bewege man sich auch hier im Rahmen einer patho-, bio- oder ökozentrischen Position.

Pathozentrische Position: Mikroorganismen haben wie alle anderen Wesen dann einen Eigenwert, wenn sie für sich eine Schädigung in irgendeiner Weise als Schaden wahrnehmen

²³ Der epistemische Anthropozentrismus wird hier ausgeklammert. Diese Position betont die Tatsache, dass der Mensch Ethik betreibt und ethische Werte nur vom Menschen erfahren werden. Der epistemische A. entscheidet nicht darüber, wie andere Lebewesen zu bewerten sind.



können. Diese Position muss zumindest Indizien dafür vorzeigen können, dass Mikroorganismen einen Schaden als Schaden wahrnehmen können.

Biozentrische Position: Mikroorganismen sind Lebewesen, und alle und nur Lebewesen haben einen Eigenwert. Diese Position muss zeigen, wie sich Lebewesen von Nichtlebendem unterscheiden. Die biozentrische Position kann durchaus Viren als Zwischending zwischen Lebewesen und Nichtlebewesen bezeichnen. Sie muss aber auch dann die Kriterien darlegen, weshalb sie Viren so einteilt.

Ökozentrische Position: Diese Position sagt, dass Lebewesen, aber vor allem auch Ökosystemen und Kollektiven von Lebewesen ein Eigenwert zukommt. Mikroorganismen können hier sowohl als konkrete Individuen als auch als Teile von Ökosystemen Eigenwert haben.

Holistische Position: Die holistische Position geht davon aus, dass allein die Natur als Ganzes einen Eigenwert hat. Individuen, Kollektive und Ökosysteme haben keinen Eigenwert. Mikroorganismen haben nur einen instrumentellen Wert, und zwar nur, wenn sie als Einzelne oder als Gruppe eine Funktion im Ganzen haben.

6.2 Moralische Berücksichtigung von Interessen unabhängig von einem Eigenwert

Es gibt auch Ethiken, die ohne die Begriffe «Eigenwert» und «Würde» auskommen. Darum ist auch unabhängig von der ontologischen Voraussetzung eines Eigenwerts oder einer Würde die Möglichkeit einer Zuschreibung moralischer Ansprüche zu diskutieren. Um moralische Ansprüche zuschreiben zu können, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein: Es müssen erstens Interessen vorhanden sein, und diese Interessen müssen zweitens wenigstens advokatorisch vertreten werden können. Allerdings sind Interessen sinnvollerweise mit einem Konzept von Selbst verbunden. Nur wenn irgendeine Art von Selbst vorhanden ist, können Interessen zugeschrieben werden.

6.3 Gewichtung in einer Güterabwägung

Welche Konsequenzen für den Umgang mit Mikroorganismen im konkreten Fall aus jenen Positionen folgen, die vertreten, dass Mikroorganismen über einen Eigenwert oder eigene Interessen verfügen, ist damit noch nicht entschieden. Diese Konsequenzen sind immer auch von dem Gewicht abhängig, das diesem Eigenwert bzw. Interessen in einer Güterabwägung zukommt.

Wird davon ausgegangen, dass Mikroorganismen aufgrund eines Eigenwerts oder von Interessen zu berücksichtigen sind, stellt sich die Frage, wie diese im Umgang mit ihnen zu gewichten



sind. Davon hängt ab, ob überhaupt, und wenn ja, welche direkten Pflichten gegenüber Mikroorganismen resultieren. Es werden zwei Positionen unterschieden, wie der Eigenwert oder wie Interessen von Mikroorganismen zu gewichtet sind.

Die *egalitäre Position* sagt, dass alle Lebewesen moralischen Respekt verdienen und alle gleichrangig sind. Es wird dabei die Möglichkeit eingeräumt, dass Interessen von Mikroorganismen gleichrangig zu berücksichtigen sind wie jene anderer Lebewesen.

Nach der *hierarchischen Position* verdienen zwar alle Lebewesen moralischen Respekt, aber nicht alle Lebewesen gleichrangig. Entweder zählt die Zugehörigkeit zur Art, dann werden die Interessen von Menschen höher gewichtet als jene von Tieren, jene von Tieren höher als jene von Pflanzen und jene von Pflanzen höher als jene von Mikroorganismen. Oder aber es zählen bestimmte Fähigkeiten und Eigenschaften, wobei auch hier die moralische Gewichtung umso höher veranschlagt wird, je ähnlicher die Eigenschaften und Fähigkeiten jenen des Menschen sind.

Die **Mehrheit der Kommissionsmitglieder** vertritt eine hierarchische biozentrische Position. Mikroorganismen haben gemäss dieser Mehrheit einen Eigenwert, weil sie Lebewesen sind. Diesem Wert kommt jedoch aufgrund der vertretenen hierarchischen Position in einer Güterabwägung ein zu vernachlässigendes Gewicht zu. Eine **erste Minderheit** vertritt einen

pathozentrischen Ansatz. Es liegen nach Auffassung dieser Minderheit keine Indizien vor, dass Mikroorganismen in irgendeiner Weise einen Schaden als Schaden wahrnehmen können. Sie haben keinen Eigenwert bzw. keine eigenen Interessen. Eine **zweite, kleinere Minderheit** vertritt eine hierarchische anthro-po-relationale Position. Mikroorganismen sind aufgrund ihrer Beziehung zum Menschen moralisch zu achten. In einer ethischen Güterabwägung kommt ihnen nach Auffassung dieser Minderheit jedoch ebenfalls nur ein zu vernachlässigendes Gewicht zu.



7 Verantwortungsethische Überlegungen

Neben den *direkten Pflichten* sind die indirekten Pflichten zu klären, die aus der Herstellung synthetischer Organismen entstehen. Welche Verantwortung trägt der Mensch als Konstrukteur der synthetisch hergestellten Lebewesen für die damit verbundenen Folgen?

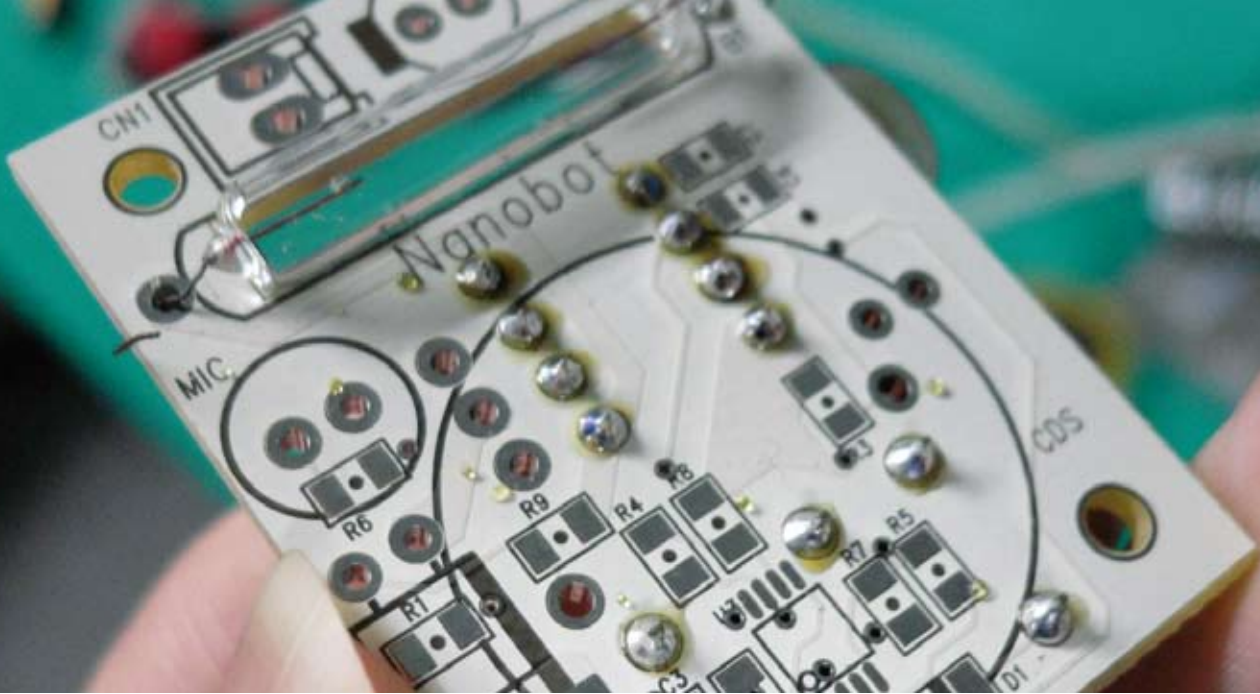
7.1 Beeinflussung gesellschaftlicher Orientierung im Umgang mit Lebewesen?

Auch wenn Mikroorganismen keinen oder nur einen so geringen Eigenwert haben, dass ihm in der Güterabwägung keine praktische Bedeutung zukommt, und auch wenn wir diesen Lebewesen nur geringe Empathie entgegenbringen, handelt es sich doch um Lebewesen. Besteht nicht die Gefahr, so die Befürchtung, dass die Art, wie wir über Mikroorganismen denken und sprechen und wie wir mit ihnen umgehen, den Boden bereitet für ein Verhalten, das auch für andere Lebewesen, uns selbst eingeschlossen, negative Auswirkungen hat oder haben kann?

Eine Kritik, die auch eine **Minderheit der EKAH-Mitglieder** teilt, setzt daran an, dass die Synthetische Biologie mit elementaren gesellschaftlichen Orientierungsbegriffen zu Technik, Kultur und Natur in Konflikt gerät.²⁴ Die Synthetische Biologie trägt gemäss dieser Kritik dazu bei, dass sich ein mechanistisch geprägtes und deshalb als reduktionistisch erachtetes Konzept von Leben durchsetzt. Dieses Lebenskonzept beeinflusst und bestimmt nicht nur die Forschung, sondern alle Lebensbereiche. Sein Einfluss macht sich sogar unabhängig davon breit, ob die Synthetische Biologie ihre Visionen je erfüllen können werde, da andere, ganzheitlichere Konzepte von Leben durch jenes vorherrschende Konzept verdrängt würden.

Die Denkweise, die der Synthetischen Biologie zugrunde liegt, so weiter die Kritik, ist geprägt von den Ingenieurwissenschaften. Sie ist Ausdruck einer Grundhaltung, die Lebewesen als herstellbar, kontrollierbar und verfügbar betrachtet. Deren Dominanz resultiert daraus, dass sie sich direkt an technisch-ökonomische Verwertungsinteressen anschliessen lässt. Eine solche

²⁴ Siehe zu diesem Kritikpunkt die Ausführungen in J. Boldt et al., Synthetische Biologie, 2009, S. 55 ff.



Grundhaltung verändere jedoch unsere Wahrnehmung anderer Lebewesen, unsere Werthaltung und Beziehung ihnen gegenüber und generell zum Leben. Sie verändere letztlich auch das Selbstbild des Menschen und gefährde den Schutz der Menschenwürde.

Gegen diese Kritik werden folgende Gegeneinwände angeführt, denen sich die **Mehrheit der EKAH-Mitglieder** anschliesst. Es existierten verschiedene tragende kulturelle Orientierungsbegriffe nebeneinander. Die Kritik an der mechanistisch-reduktionistischen Denkweise rekurriere lediglich auf jene Denktraditionen, denen das Trennen zwischen Lebewesen und Maschinen zentral sei. Damit die Kritik greife, müsse dargelegt werden, weshalb das eine Konzept, zwischen Maschinen und Lebewesen zu unterscheiden, richtig sei, andere Konzepte, die diese Trennung nicht vornähmen, hingegen falsch seien. Es wird auch darauf hingewiesen, dass «mechanistisch» oft als abwertender Begriff verwendet werde. Diese Abwertung verkenne, dass auch mechanistische Konstruktionen sehr komplex sein könnten und einen Eigenwert oder eigene Interessen nicht ausschliessen.

Der Kritik an der Instrumentalisierung von Lebewesen wird entgegengehalten, dass Instrumentalisierung allein nicht schon moralisch abzulehnen sei. Selbst die Menschenwürde schliesst die Instrumentalisierung von Menschen, z.B. als Arbeitskraft oder Familienmitglied, nicht aus. Sie schützt nur vor einer unzulässigen, weil ausschliesslichen oder übermässigen

Instrumentalisierung. Um diesem Argument der Schiefen Ebene Gewicht zu verleihen, müsste gezeigt werden, dass die Art und Weise, wie die Synthetische Biologie mit Mikroorganismen umgeht, unseren Umgang mit anderen Lebewesen einschliesslich der Menschen tatsächlich negativ beeinflusst. Es müsste gezeigt werden, ob und inwiefern die der Synthetischen Biologie zugrunde liegende Denkweise unsere Wahrnehmung anderer Lebewesen und des Menschen verändert. Und falls eine Wahrnehmungsänderung einträte und sich unsere Beziehung zu anderen Lebewesen und unser Umgang mit ihnen veränderte, müsste dargelegt werden, weshalb sie moralisch negativ zu bewerten wäre. Weiter müsste aufgezeigt werden, dass diese Veränderung nicht nur unser Selbstbild, sondern in der Folge auch den Schutz der Menschenwürde gefährdet.

Die EKAH-Mitglieder sind sich einig, dass Argumente der Schiefen Ebene geeignet sind, mögliche Folgen unter dem ethischen Blickwinkel frühzeitig zu thematisieren, um sie im Auge zu behalten. Sie vertreten jedoch die Auffassung, dass sich aus den Bedenken, die die Kritik hier vorbringt, zurzeit kein Veto gegen die Vorhaben der Synthetischen Biologie ableiten lässt.

7.2 Gerechtigkeitsüberlegungen

Alle Technologien und deren Anwendungen, nicht nur die Synthetische Biologie, sind auch unter den Gesichtspunkten der Gerechtigkeit zu beleuchten und zu beurteilen. Gerechtigkeit hat



mehrere Dimensionen. Wie die EKAH bereits in ihrem Bericht «Gentechnik und Entwicklungsländer»²⁵ ausführte, liegen zentrale Aspekte eines gerechten Gemeinwesens in der Gewährleistung von Grundrechten, in einer gerechten Verteilung materieller und immaterieller Güter einer Gesellschaft und in einer prozeduralen Gerechtigkeit, die dem Einzelnen die Beteiligung an den Prozessen gesellschaftlicher Willensbildung und Entscheidungsfindung garantiert. An den Auswirkungen auf diese Gerechtigkeitsdimensionen ist die Synthetische Biologie wie alle Technologien zu messen.²⁶ Ein besonderes Augenmerk ist dabei auf die Auswirkungen der Technologie auf die Entwicklungs- und Schwellenländer zu legen.

Die Diskussion über Gerechtigkeitsfragen im Zusammenhang mit der Synthetischen Biologie greift die Debatte zur Gentechnologie in weiten Teilen wieder auf. Statt einzelne Projekte und Visionen der Synthetischen Biologie herauszugreifen und aus ethischer Sicht zu beurteilen, beschränkt sich die EKAH hier auf Kriterien, die unter den Gesichtspunkten der Gerechtigkeit bei der Beurteilung der Synthetischen Biologie und ihrer konkreten Anwendungen immer auch berücksichtigt werden müssen.

Auswirkungen auf die Nahrungssicherheit, Nahrungssouveränität und Biodiversität: Die öffentliche Diskussion über die Synthetische Biologie hat sich insbesondere an den Bestrebungen entzündet, mit Hilfe von synthetisch hergestellten Organismen

Energie zu produzieren. Auf der einen Seite wird ins Feld geführt, dass damit ein zentraler Beitrag zur Energieproduktion und zugleich zur Bekämpfung der globalen Klimaerwärmung geleistet werden kann. Andererseits wird befürchtet, dass die für eine solche Energieproduktion notwendigen Landressourcen die Nahrungssicherheit, Nahrungssouveränität und Biodiversität insbesondere in den Entwicklungs- und Schwellenländern zusätzlich gefährden.²⁷ Mögliche Lösungsansätze für Probleme, die auch in Entwicklungs- und Schwellenländern eine Rolle spielen (wie z.B. die Wiederaufbereitung verunreinigter Böden mit Hilfe von synthetischen Organismen), könnte eine gleichzeitige Verletzung zentraler Aspekte der Gerechtigkeit nicht aufwiegen. Dann wären andere Lösungen zu suchen.

Vertiefung des «technologischen Grabens»: Kritiker befürchten, dass die Synthetische Biologie und ihre Anwendungen die Abstände weiter vergrößern, die zwischen dem technologischen Wissen in Industrie-, Schwellen- und Entwicklungsländern bestehen. Dieser Einwand gilt für alle technologischen Entwicklungen. Die Souveränität von Ländern fordert, dass als Antwort darauf besonders benachteiligte Länder unterstützt werden, eigenes Fachwissen und -können aufzubauen, und ebenso, dass auf Wunsch dieser Länder der Technologie-Transfer gefördert wird. So wird ihnen ermöglicht, mit den neuen Technologien sachgerecht umzugehen und auch kontextspezifische Risikoforschung zu betreiben.

25 EKAH, «Gentechnik und Entwicklungsländer», Bern, 2004.

26 Der Report der European Molecular Biology Organization (EMBO-Report), Vol. 10, Nr. 1, August 2009, SS. S1–S53, widmet sich gesellschaftlichen Fragen, die die Synthetische Biologie aufwirft, siehe <http://www.nature.com/embor/journal/v10/n1s/index.html>.

27 Im Fokus öffentlicher Diskussion stehen zurzeit Projekte, die zum Ziel haben, Energie aus Zucker zu gewinnen, indem Zucker mittels synthetisch hergestellter Zellen fermentiert und in Energie umgewandelt wird. Die Auswirkungen auf Entwicklungs- und Schwellenländer werden im ETC-Bericht «Commodifying Nature's Last Straw? Extreme Genetic Engineering and the Post Petroleum Sugar Economy» (2008) kritisch diskutiert.



Schutz des intellektuellen Eigentums im Bereich der Synthetischen Biologie:

Auch hier sind, wie schon bei Patenten im Bereich der Gentechnologie, die ethische Zulässigkeit und die detaillierten Auswirkungen des Schutzes von intellektuellem Eigentum zu prüfen. Hierzu verweist die EKAH auf ihre Überlegungen, die insbesondere in der Botschaft zur Änderung des Patentgesetzes vom 23. November 2005²⁸ dargelegt wurden.

Wirtschafts- und forschungspolitische Auswirkungen:

Wenn der Staat Anschubfinanzierungen leistet (und damit staatliche Forschungsanstalten oder private Firmen unterstützt) und/oder strukturelle Rahmenbedingungen für eine besondere Förderung einer bestimmten Technologie oder ihre Anwendungen schafft, schafft er Tatsachen und trifft Vorentscheidungen. Diese Eingriffe führen zu Marktverschiebungen. Dies kann im Einzelfall gerechtfertigt sein, die Auswirkungen solcher Entscheide auf andere Lösungsansätze müssen aber bei der Beurteilung im Auge behalten werden. Staatliche Förderung von Technologien mit Risikopotential soll auf jeden Fall mit angemessener Risikoforschung verbunden werden, die auch die langfristigen Risiken mit einbezieht.

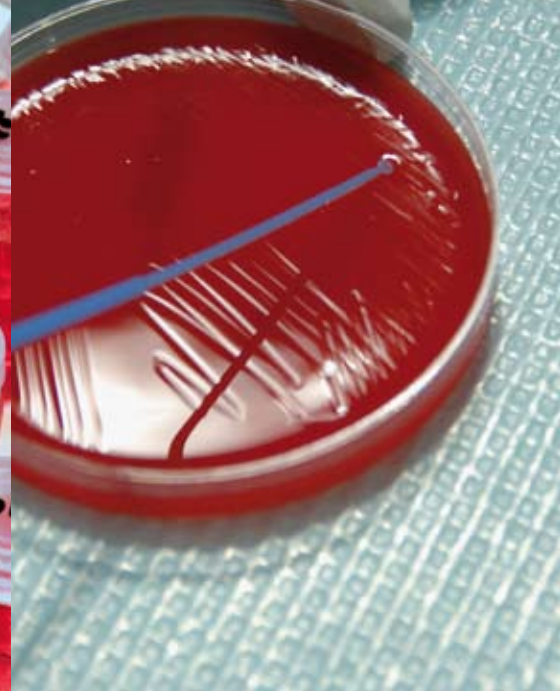
7.3 Risikoethische Überlegungen

Die Mitglieder vertreten die Auffassung, der moralische Status von Mikroorganismen, mit denen die Synthetische Biologie zurzeit arbeitet, stehe ihrer synthetischen Herstellung nicht entgegen. Auch greifen gemäss der Mehrheit der Kommissionsmitglieder zurzeit keine Schiefe-Ebene-Argumente. Es bleibt, die risikoethische Dimension der Synthetischen Biologie zu prüfen.

Auch die Risiko-Diskussion zur Synthetischen Biologie erinnert in weiten Teilen an die Anfänge der Debatte über die Gentechnologie. Wie bei der Gentechnologie lautet ein Grundeinwand gegen die Synthetische Biologie, dass sie mit einer Materie arbeite, die sie nicht beherrsche und deshalb auch nicht kontrollieren könne. Indem sie mit Lebewesen arbeite, hantiere sie mit unbekanntem Grössen (die entweder *prinzipiell* unbekannt oder aufgrund ihrer Komplexität nicht fassbar sind), die aufgrund ihrer Unbekanntheit eine hohe Potenz haben, Mensch und Umwelt zu gefährden. Evozieren Vertreter der Synthetischen Biologie in einer wissenschaftlichen Zeitschrift mit Comics zudem das Bild des jungen Zauberers²⁹, ist auch die bereits aus der Diskussion über die Gentechnologie bekannte Assoziation zu Goethes Zauberlehrling nicht weit: Der Zauberlehrling verwendet die Sprüche seines Meisters, ohne sie in all ihren Konsequenzen zu verstehen. Im Unterschied zu Goethes Geschichte kehrt hier jedoch, so die Kritik an der Synthetischen Biologie, kein Zaubermeister rechtzeitig zurück, um das

28 Botschaft zur Änderung des Patentgesetzes und zum Bundesbeschluss über die Genehmigung des Patentrechtsvertrags und der Ausführungsordnung vom 23. November 2005, S. 18–20, publiziert im Bundesblatt 2006 1, siehe auch <http://www.admin.ch/ch/d/ff/2006/1.pdf>.

29 <http://www.nature.com/nature/comics/syntheticbiologycomic/index.html>.



Schlimmste zu verhindern. Auf der anderen Seite werden die ebenfalls schon aus der Gentechnik-Debatte bekannten Argumente vorgebracht, dass die Produkte der Synthetischen Biologie relativ einfach zusammengesetzt seien. Ihr Gefährdungspotenzial sei deshalb abschätzbar und handhabbar. Als Laborwesen seien sie auf die Bedingungen im Labor angewiesen und in natürlicher Umgebung nicht überlebensfähig. Und falls synthetisch hergestellte Lebewesen freigesetzt würden, wäre ihr Gefährdungspotenzial gering, da sie sich in einem natürlichen Ökosystem nicht durchsetzen könnten.

Beide Seiten übertreiben aus Sicht der EKAH-Mitglieder. Weder darf die Hoffnung, dass nichts Schlimmes passiert, im Umgang mit potenziell gefährlichen Stoffen und Organismen handlungsleitend sein, noch dürfen Befürchtungen in jedem Fall jegliches Handeln unterbinden. Offensichtlich ist, dass auch wenn jede technologische Weiterentwicklung an bereits Bestehendes und Bekanntes anknüpft, teilweise Neues geschaffen wird. Zudem darf aus der Referenz zum Bekanntem nicht abgeleitet werden, dass das teilweise Neue abschätzbar ist. Man bleibt mit Unsicherheiten und damit mit einer *typischen Risikosituation* konfrontiert.

Die Synthetische Biologie eröffnet ein weites Forschungs- und Anwendungsfeld. Anwendungen der Synthetischen Biologie sind bis jetzt noch wenig konkretisiert, und gleichzeitig entwickelt sich das Gebiet rasant. Beim derzeitigen Stand der Synthetischen Biologie dominieren Visionen, Ungewissheiten und Nichtwissen. Konkrete Daten aus der Risikoermittlung liegen noch kaum vor; Risikobewertungen lassen sich deshalb nur annäherungsweise vornehmen. Die EKAH beschränkt sich deshalb hauptsächlich darauf, die einzelnen Schritte zu diskutieren, die in einer Risikosituation unternommen werden müssen, und nur am Rande vereinzelte, in der öffentlichen Diskussion thematisierte Beispiele anzusprechen.

Im Umgang mit Risiken sind die sachgerechte Risikobeschreibung und -ermittlung sowie die Risikobewertung zu unterscheiden. Hinzu kommen Sorgfaltspflichten, die sowohl auf der Ebene der Risikoermittlung wie auch der Risikobewertung eine Rolle spielen.³⁰ Die folgenden teilweise allgemeinen Überlegungen zum Vorgehen bei Risikosituationen mögen den meisten vertraut und selbstverständlich sein. Die Erfahrung, insbesondere bei der Beurteilung von Projekten mit gentechnisch veränderten Organismen in der Umwelt, zeigt jedoch, dass es sinnvoll ist, sich die Anforderungen, die Risikosituationen an uns stellen, immer wieder sorgfältig zu bedenken.

30 vgl. zum Umgang mit Risiken auch die Regelungen zur ausserhumanen Gentechnologie im Bundesgesetz über die Gentechnik im Ausserhumanbereich (Gentechnikgesetz, GTG) vom 21. März 2003, SR 814.91.



7.3.1 Sachgerechte Risikoermittlung und -beschreibung

Risikoermittlung ist Sache der empirischen Wissenschaften. Mit ihrer Hilfe werden die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Ausmass von Wirkungen der Handlungen ermittelt. Die Risikoermittlung zielt auf probabilistische Aussagen, nicht auf Bewertungen. Damit die Risikoermittlung korrekt erfolgt, muss die Risikobeschreibung sachgerecht sein.

In der Synthetischen Biologie werden wie in der Biotechnologie *Biosafety*-Risiken und *Biosecurity*-Risiken unterschieden.³¹ Als *Biosafety*-Risiken werden Risiken für Mensch und Umwelt bezeichnet, die bei einem grundsätzlich erlaubten Umgang mit synthetischen Organismen unabsichtlich entstehen. Zum einen entstehen Risiken im Umgang mit solchen Organismen im geschlossenen System (im Labor). Hier sind die Risiken, die im Kontext der Forschung und der Herstellung synthetischer Organismen entstehen, in den Blick zu nehmen. Die gesundheitlichen Risiken für die Forschenden und Mitarbeitenden spielen eine zentrale Rolle. Es sind aber auch die Risiken für Mensch und Umwelt zu ermitteln, die trotz Einhalten aller Sicherheitsvorkehrungen durch ein unbeabsichtigtes Entweichen eines Organismus aus dem Labor entstehen. Zu einem späteren Zeitpunkt der Entwicklung der Synthetischen Biologie werden solche Risiken aufgrund von beabsichtigten versuchsweisen und noch später kommerziellen Freisetzungen synthetisch hergestellter

Organismen zu untersuchen sein. All diese Risiken sind jeweils *ex ante*, also vor einer Handlung, zu ermitteln, um Wahrscheinlichkeitsaussagen über ihr Eintreten machen zu können.

Biosecurity-Risiken sind Risiken, die durch unerlaubten, weil missbräuchlichem oder unsachgemäßem Umgang mit solchen Organismen entstehen. Als Beispiele von Risiken aufgrund eines unerlaubten Umgangs werden verbotene private Transporte genannt, z.B. wenn Forschende ihre Stelle wechseln und Organismen unerlaubterweise in ihr neues Labor mitnehmen. Unter dem Aspekt der der Biosecurity sind Risiken zu beurteilen, die durch nicht professionell geführte Labors (sog. Garagenlabors) entstehen. Missbräuche werden auch unter dem Begriff des *Bioterrorismus* und teilweise unter dem Titel des *Dual use* diskutiert. Von Dual use ist die Rede, wenn eine Technologie sowohl für zivile als auch für militärische bzw. terroristische Zwecke verwendet werden kann. Die Synthetische Biologie ermöglicht, mit relativ einfachen Mitteln gefährliche Viren oder Bakterien herzustellen. Dies weckt Befürchtungen, dass genau dies die Möglichkeiten des Missbrauchs erhöht. 2002 haben Forscher in den USA den Poliovirus aus kommerziell hergestellten, frei zugänglichen DNA-Sequenzen im Labor nachgebildet. 2005 hat eine andere Gruppe in den USA den ausgestorbenen Virus der Spanischen Grippe synthetisiert. Die Baupläne dieser Viren wurden veröffentlicht und damit für jedermann einsehbar. Diese Beispiele zeigen, dass die Befürchtungen im Hinblick

³¹ siehe hierzu auch J. Boldt et al., Synthetische Biologie, 2009, S. 65 ff.



auf Missbräuche begründet sind, auch wenn es bis heute noch einfacher ist, hoch pathogene und damit für Mensch und Umwelt gefährliche Organismen aus der Natur zu gewinnen. Mit der technischen Entwicklung der Apparate und der damit einhergehenden zunehmenden Kommerzialisierung der DNA-Sequenzierung werden jedoch auch die finanziellen und technischen Hürden gegen Missbrauch immer einfacher überwindbar.

Da in Risikosituationen die Datenlage von Unwissen und Ungewissheiten geprägt ist, müssen auch *plausible* von der Mehrheitsmeinung abweichende *Hypothesen* einbezogen werden. Es müssen zudem Aussagen über vorliegende Erkenntnislücken gemacht werden, die die Risikoermittlung einschränken. Eine häufig vorgebrachte allgemeine Kritik an der Risikobeschreibung und -ermittlung von Projekten der Synthetischen Biologie knüpft daran an, dass der Blick für mögliche Risiken aufgrund einer technokratischen Engführung eingeschränkt wird. Ob und wie stark eine solche als reduktionistisch erachtete Haltung und Herangehensweise und im Ergebnis eine inadäquate Risikobeschreibung vorliegen, wäre zu untersuchen.

Für die Risikobeschreibung und -ermittlung sei hier im Weiteren auf die Kompetenzen der beratenden Eidgenössischen Fachkommission für biologische Sicherheit (EFBS) und die fachlich zuständigen Behörden verwiesen.

7.3.2 Risikobewertung

Von der deskriptiven Risikoermittlung ist die normative Risikobewertung zu unterscheiden. Die Risikobewertung findet auf dem Stand der ermittelten Daten statt, im Wissen, dass sich dieser Stand stetig ändert. Sie befasst sich mit der Gewichtung der zu erwartenden Auswirkungen, aber auch mit der Gewichtung der verbleibenden Wissenslücken. Die Risikobewertung beurteilt die ermittelten Wahrscheinlichkeiten und Schadensszenarien und entscheidet, ob und welcher Handlungsbedarf besteht. Der Handlungsbedarf bestimmt sich in einer demokratisch organisierten Gesellschaft dadurch, dass diese entscheidet, welche Wahrscheinlichkeiten und welche Schäden sie als zumutbar und damit als akzeptabel erachtet.

Für die Gewichtung der Aussagen, die aus der Risikoanalyse resultieren, und für die Akzeptabilität von Risiken spielt auch eine Rolle, ob und welche Alternativen es zum gewählten Vorgehen gibt. Das Vorhandensein von Alternativen ist für die Gewichtung deshalb relevant, weil man eher bereit ist, höhere Risiken in Kauf zu nehmen, um ein drängendes Problem zu lösen (z.B. die Befriedigung von Grundbedürfnissen), wenn daneben keine weniger risikanten Vorgehensmöglichkeiten existieren. Drei Ebenen von Alternativen sind zu berücksichtigen:



1. Alternativen *zum Objekt*, an dem die Technologie angewandt wird: z.B. wasserstoffproduzierende Bakterien als Alternative zu synthetisch hergestellten Algen für die Energiegewinnung;
2. Alternativen *zur Methode*: andere Technologien zur Energiegewinnung aus erneuerbaren Ressourcen (Solar-, Windenergie u.a.);
3. Alternativen *zur Zielsetzung*: z.B. Technologien, die den Energieverbrauch senken.

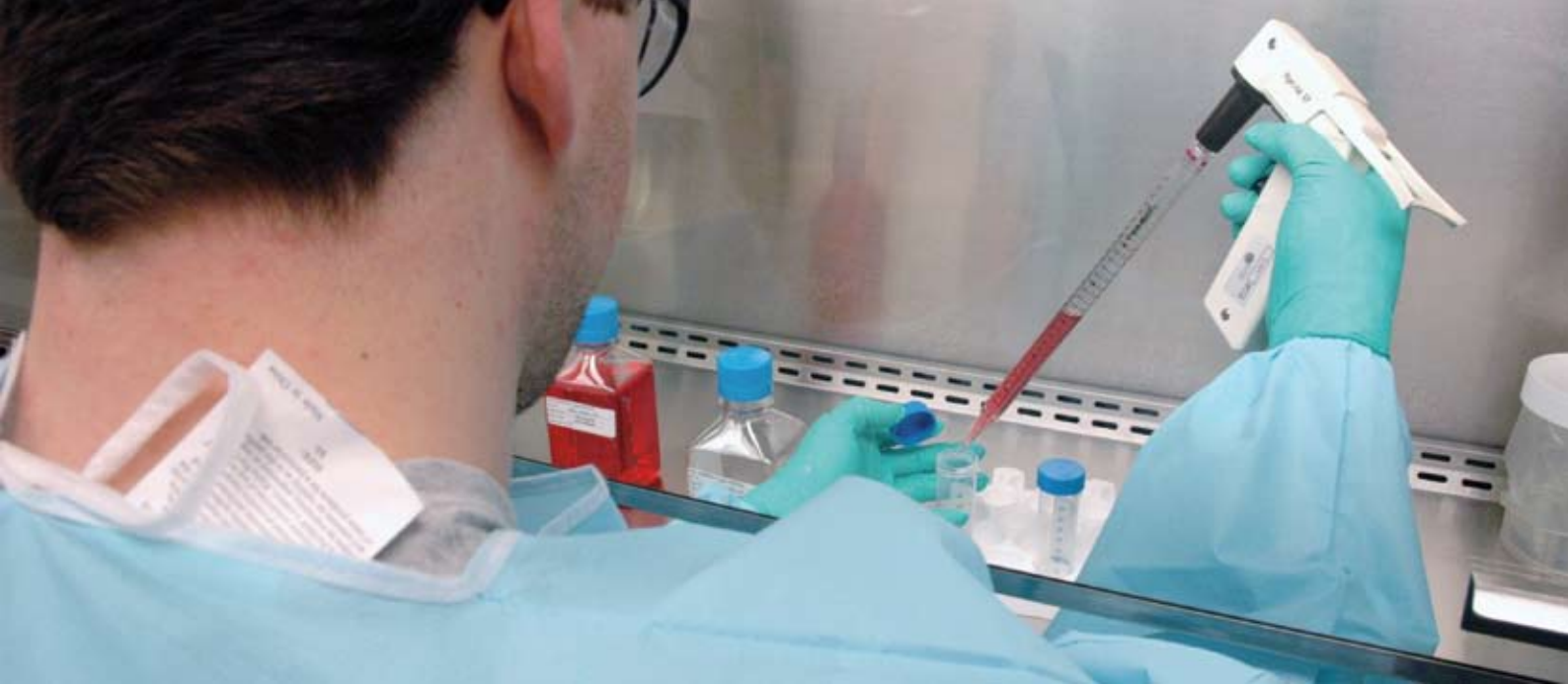
7.3.3 Sorgfaltspflichten

Die Sorgfaltspflichten erfüllen zwei Funktionen. Erstens verlangen sie vom Handelnden, dass er sich auf dem Stand des Wissens der möglichen Folgen seines Tuns und des davon ausgehenden Schadenspotentials bewusst ist. Seine Verantwortung erstreckt sich dabei auf das, was er aufgrund dieses Wissensstandes hätte vorhersehen müssen. Er muss mögliche Folgen und deren Schadenspotenzial antizipieren. Unvorhersehbares kann ihm hingegen nicht zugerechnet werden.

Zweitens fordern die Sorgfaltspflichten, dass der Handelnde alle Vorsichtsmassnahmen ergreift, die erforderlich sind, um zu vermeiden, dass der erwartete Schaden eintritt. Wie weit er dieser Anforderung zu genügen hat, hängt von zwei Parametern ab: von der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens und von dessen Höhe. Je höher die Eintrittswahrscheinlichkeit und je höher der Schaden, desto grösser sind die Anforderungen an die Sorgfaltspflichten. Es muss dafür gesorgt

werden, dass der Schaden möglichst nicht eintritt und, falls er doch eintritt, dass er möglichst gering ausfällt.

Diese zweite Ebene der Sorgfaltspflichten beeinflusst die Risikobewertung. Mögliche Massnahmen, um die Eintrittswahrscheinlichkeit und das Ausmass von Schäden zu reduzieren, die auch in anderen Technologiebereichen diskutiert und teilweise ergriffen werden, sind z.B. systematische Monitoringprogramme. Mit Hilfe solcher Programme sollen möglichst frühzeitig schädliche Effekte auf die Umwelt und die Gesundheit erkannt werden. Eine weitere Massnahme ist die Verpflichtung zu einem schrittweisen Vorgehen. Diese verlangt, stufenweise – von Versuchen auf verschiedenen Sicherheitsstufen im Labor zu begrenzten und kontrollierten Versuchen in der Umwelt bis zum Inverkehrbringen von Organismen – vorzugehen. Sie liegt darin begründet, dass das nötige Wissen für eine adäquate Risikobewertung bei neuen Technologien erst Schritt für Schritt generiert werden muss. Liegen die nötigen Daten aus der Risikoermittlung für einen nächsten Schritt nicht vor, können keine Aussagen über die Wahrscheinlichkeit eines Schadeneintritts gemacht werden. Ohne diese Wahrscheinlichkeitsaussagen kann keine Risikobewertung stattfinden. Und wo keine Risikobewertung vorliegt, kann keine rationale Entscheidung über die weiteren Schritte getroffen werden. Es ist dann unzulässig, den nächsten Schritt zu machen und andere blindlings Risiken auszusetzen.



7.3.4 Schlussfolgerungen für den risikoethischen Umgang mit synthetisch hergestellten Organismen

Aus Sicht der EKAH liegen plausible Risikoszenarien, aber zu wenig empirische Daten über die Eigenschaften synthetisch hergestellter Organismen vor, um eine sachgerechte Risikobeurteilung vornehmen zu können. Aus risikoethischer Sicht ist bei einer solchen Datenlage im Umgang mit synthetisch hergestellten Organismen besondere Vorsicht geboten. Es kommt das Vorsorgeprinzip zur Anwendung. Bis die für eine sachgerechte Risikobeurteilung benötigten empirischen Daten für Freisetzungsversuche vorliegen, darf mit synthetisch hergestellten Organismen nur im geschlossenen System und gemäss des Stufenprinzips unter der Berücksichtigung der dem Organismus angemessenen besonderen Vorsichtsmassnahmen gearbeitet werden.

Ob die bereits existierenden konkreteren rechtlichen Regelungen für den Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen auch für den Umgang mit synthetisch hergestellten Organismen ausreichen, darüber kann derzeit mangels Daten noch keine Aussage gemacht werden.



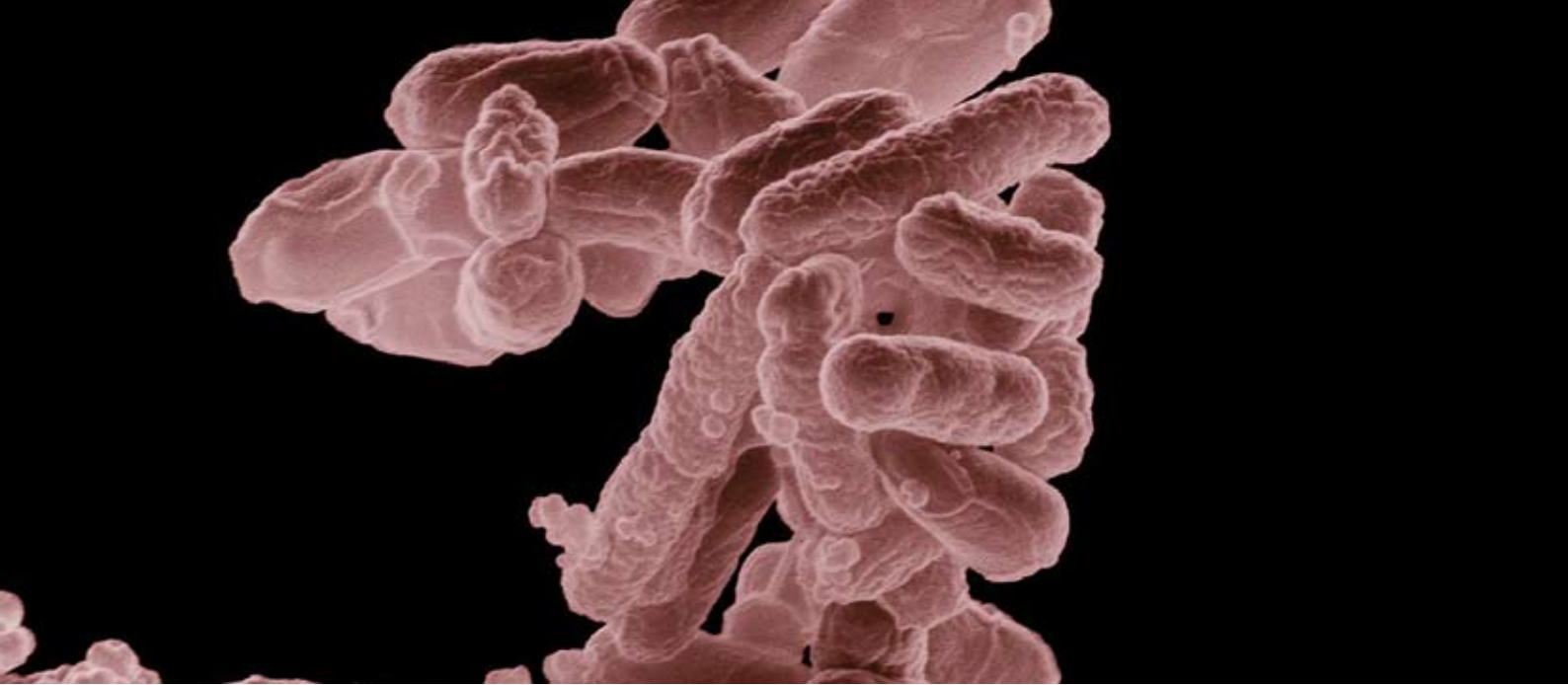
8 Zusammenfassung

In ihrem Bericht untersucht die EKAH die unterschiedlichen Ziele und Methoden der Synthetischen Biologie und insbesondere deren Anspruch, aus sogenannten Biobricks neue Lebewesen kontrolliert herstellen zu können, auf ihre ethische Vertretbarkeit. Im ersten Teil des Berichts konzentriert sie sich auf die Frage, was das Produkt der Synthetischen Biologie ist, und ob und inwiefern gegenüber diesen Produkten eine ethische Verpflichtung besteht, die der Anwendung der Synthetischen Biologie entgegensteht. Den zweiten Teil des Berichts widmet sie den verantwortungsethischen Fragen.

Der Bericht legt dar, dass die Beantwortung der Frage, inwiefern es prinzipiell möglich oder unmöglich ist, Lebewesen kontrolliert herstellen zu können, davon abhängt, welches Lebensverständnis der Beurteilung zugrunde gelegt wird. Es werden verschiedene ontologische Grundsatzpositionen unterschieden. Die Mehrheit der Mitglieder vertritt ein monistisches Lebenskonzept, d.h. das, was wir als Leben bezeichnen, bezieht sich auf rein physikalisch-chemische Eigenschaften von Lebewesen. Die anderen Positionen, die vitalistische

und dualistische Position, aber auch eine skeptische Haltung werden von Minderheiten vertreten. Alle ontologischen Positionen lassen jedoch die Möglichkeit offen, dass die Vision der Synthetischen Biologie erfolgreich sein kann und als Produkt ihrer Methoden Lebewesen entstehen können.

Auch wenn bestimmte langfristige Visionen der Synthetischen Biologie die Herstellung aller Arten von Lebewesen ins Blickfeld rückt, stehen zurzeit Mikroorganismen im Vordergrund, mit denen gearbeitet wird oder die als Produkte hergestellt werden sollen. Im Kontext von Art. 120 der Schweizerischen Bundesverfassung, der verlangt, dass im Umgang mit Tieren, Pflanzen und anderen Organismen der Würde der Kreatur Rechnung zu tragen ist, muss die Frage eines Eigenwertes von Mikroorganismen geklärt werden. Die Art und Weise, wie Lebewesen entstehen, ob künstlich oder auf natürliche Weise, hat aus Sicht der EKAH keinen Einfluss auf ihren moralischen Status. Ob Mikroorganismen über etwas verfügen, das man Eigenwert oder «Würde» nennt, und sie deshalb



um ihrer selbst willen moralisch zu berücksichtigen sind, hängt vom umweltethischen Ansatz ab, der vertreten wird. Die Mehrheit der Kommissionsmitglieder vertritt einen biozentrischen Ansatz: Mikroorganismen verfügen über einen Eigenwert, weil sie leben. Eine erste Minderheit vertritt einen pathozentrischen Ansatz. Da keine Indizien vorliegen, dass Mikroorganismen einen Schaden in irgendeiner Weise als Schaden wahrnehmen können, gehören Mikroorganismen gemäss dieser Minderheit nicht zum Kreis der moralisch zu berücksichtigenden Wesen. Eine zweite Minderheit vertritt einen anthropo-relationalen Ansatz. Mikroorganismen sind aufgrund ihrer Beziehung zum Menschen moralisch zu achten. Im Rahmen einer Güterabwägung wird aber auch von jenen Mitgliedern, die Mikroorganismen einen Eigenwert zuerkennen, aufgrund einer hierarchischen Position dem Eigenwert von Mikroorganismen nur ein vernachlässigbares Gewicht zugeschrieben. In der Praxis stehen einem Projekt mit Mikroorganismen für alle Mitglieder deshalb keine ethischen Einwände entgegen.

Die Unterschiede der ontologischen Positionen, die innerhalb der EKAH vertreten werden, kommen in der unterschiedlichen Art zum Ausdruck, in der über die Kontrollierbarkeit des Prozesses und der Produkte der Synthetischen Biologie gesprochen wird. Sie haben Auswirkungen auf die Diskussion der verantwortungsethischen Fragen. In der öffentlichen Diskussion werden im Zusammenhang mit der Synthetischen Biologie Schiefe Ebene-Argumente angeführt. Die Mitglieder

sind sich einig, dass diese Argumente zwar geeignet sind, mögliche Folgen frühzeitig zu thematisieren, um sie im Auge zu behalten. Aus ihrer Sicht lässt sich aus den bisher geäusserten Bedenken zurzeit jedoch kein Veto gegen die Projekte der Synthetischen Biologie ableiten.

Die Synthetische Biologie ist jedoch, wie alle Technologien und deren Anwendungen, auch unter den verschiedenen Gesichtspunkten der Gerechtigkeit zu messen und zu beurteilen. Weiter ist die risikoethische Dimension zu prüfen. Die EKAH stellt fest, dass die Synthetische Biologie ein weites Forschungs- und Anwendungsfeld eröffnet. Anwendungen sind bis jetzt jedoch trotz rasanter Entwicklung noch wenig konkretisiert. Es dominieren Visionen, Ungewissheiten und Nichtwissen, kurz, es liegt eine typische Risikosituation vor. Aus Sicht der EKAH liegen zwar plausible Risikoszenarien vor, aber zu wenig empirische Daten, um eine Risikobeurteilung vornehmen zu können. Die EKAH beschränkt sich deshalb in diesem Bericht hauptsächlich darauf, das ethisch geforderte (und in anderen Technologiebereichen auch bereits rechtlich verankerte) Vorgehen bei Risikosituationen in Erinnerung zu rufen. Es kommt das Vorsorgeprinzip zur Anwendung und gemäss des Stufenprinzips darf nur unter besonderen, dem Organismus angemessenen, Vorsichtsmassnahmen gearbeitet werden. Ob die heute existierenden rechtlichen Regelungen für den Umgang mit gentechnisch veränderten Organismen für den Umgang mit synthetisch

hergestellten Organismen ausreichen, darüber kann aus Sicht der EKAH mangels Daten zurzeit noch keine Aussage gemacht werden.



9 Literatur

BAERTSCHI, BERNARD: La vie artificielle – Le statut moral des êtres vivants artificiels, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, Band 6, Hrsg. EKAH, Bern, 2009.

BENNER, STEVEN A.: Act natural. In: Nature. Vol. 421, 9. Januar 2003, S. 118 (zitiert nach A. Brenner, Leben, 2007, S. 158).

BOLDT, JOACHIM/OLIVER MÜLLER/
GIOVANNI MAIO: Synthetische Biologie – Eine ethisch-philosophische Analyse, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, Band 5, Hrsg. EKAH, Bern, 2009.

BOTSCHAFT zur Änderung des Patentgesetzes und zum Bundesbeschluss über die Genehmigung des Patentrechtsvertrags und der Ausführungsordnung vom 23. November 2005, S. 18–20, publiziert in: Bundesblatt 2006 1 (www.admin.ch/ch/d/ff/2006/1.pdf).

BRENNER, ANDREAS: Leben – Eine philosophische Untersuchung, Beiträge zur Ethik und Biotechnologie, Band 3, Hrsg. EKAH, Bern, 2007.

ECKHARDT, ANNE: Synthetische Biologie. Organisation und Ziele, Bericht für die EKAH, 2008. www.ekah.admin.ch/de/dokumentation/externe-gutachten/index.html

EKAH
Gentechnik und Entwicklungsländer, Bern, 2004.

EMBO-REPORT: Vol. 10, Number S1, August 2009, S1–S53 (www.nature.com/embor/journal/v10/n1s/index.html).

ETC: Commodifying Nature's Last Straw? Extreme Genetic Engineering and the Post Petroleum Sugar Economy, 2008.

GENTECHNIKGESETZ (GTG): Bundesgesetz über die Gentechnik im Ausserhumanbereich vom 21. März 2003, SR 814.91.

KUTSCHERA, FRANZ VON: Jenseits des Materialismus, mentis, Paderborn, 2003.

SCHWEIZERISCHE BUNDESVERFASSUNG vom 18. April 1999, SR 101, Art. 120, Gentechnologie im Ausserhumanbereich.

SZOSTAK, JACK W./DAVID P. BARTEL/
PIER LUIGI LUISI: Synthesizing life. In: Nature: Vol. 409, 18. Januar 2001, S. 387 (zitiert nach A. Brenner, Leben, 2007, S. 156).

Webquellen

(alle aufgerufen am 6. April 2010)

<http://sb4.biobricks.org/field>

<http://syntheticbiology.org>

www.ethz.ch/news/ethupdate/2007/070619_1/index

www.nature.com/nature/comics/syntheticbiologycomic/index.html

www.synbiosafe.eu/index.php?page=other-sb-projects

www.tessy-europe.eu/public/_docs/TESSY-final-Report_D5-3.pdf

Bildnachweis:

Umschlag	Zeichnung: Atelier Bundi, Bild: Bakterien, © Sebastian Kaulitzki	Seite 14	Links: Stoffwechsel, Janssen-Cilag Rechts: Shewanella sp, University of California, Riverside
Seite 3	Beugungsbild eines Biomoleküls, Max-Planck-Arbeitsgruppen für Strukturelle Molekularbiologie	Seite 15	Pseudomonas-aeruginosa, Janssen-Cilag
Seite 4	Links: Staphylococcus aureus, Janssen-Cilag Rechts: Mycoplasma mycoides bacterium, J. Craig Venter Institute	Seite 16	Microbiological agrar plate, © Claudia Disqué, Ph.D.
Seite 5	Links: DNA double helix, © The University of Waikato Rechts: Laborproben, Jürgen Haacks, Uni Kiel	Seite 17	Mikroorganismen, Wilhelm Foissner, Andreas Zankl, University of Salzburg, Austria
Seite 6	Links: DNA-Chip, Flad & Flad Communication GmbH Rechts: Forschung, Janssen-Cilag	Seite 18	Mikroorganismen, © vangorpreunion, Picasa
Seite 7	Agent release module, © bioss – Center for Biological Signalling Studies	Seite 19	Mitose, IMP
Seite 8	Escherichia-coli, Janssen-Cilag	Seite 20	Computer, Digital Media Lab, KAIST
Seite 9	Links: Anophelesmücke, Birgit Betzelt/action medeor Rechts: Artemisinin, Birgit Betzelt/action medeor	Seite 21	Second generation biofuel from algae oil, Global Energy
Seite 10	Streptococcus pyogenes, © S. Lowry, University of Ulster	Seite 22	Forschung, Janssen-Cilag
Seite 11	Links: Forschung, Janssen-Cilag Rechts: Aral Forschung, Deutsche BP AG	Seite 23	Links: Laborproben, Jürgen Haacks, Uni Kiel Rechts: Hautbakterien, Bill Branson, NIH
Seite 12	Forschung, Janssen-Cilag	Seite 24	Anti anthrax pesticide, Stanford University
Seite 13	Phytoplankton bloom, © NASA	Seite 25	Bacillus anthracis, Oregon State University
		Seite 26	Algenproduktionsanlage, Jülich Forschungszentrum
		Seite 27	Labor, Microtest Laboratories
		Seite 28	Acinetobacter, Janssen-Cilag
		Seite 29	Bakterie, Indiana University
		Seite 30	Bacteria on Culture, Bill Branson, NIH

Mai 2010

Herausgeberin: Eidgenössische Ethikkommission
für die Biotechnologie im Ausserhumanbereich
EKAH

Redaktion: Ariane Willemsen, Sekretariat EKAH
c/o Bundesamt für Umwelt BAFU
CH-3003 Bern
Tel. +41 (0)31 323 83 83
Fax +41 (0)31 323 03 69
ekah@bafu.admin.ch

Gestaltung: Atelier Bundi AG, Boll

Druck: Ackermanndruck AG, Liebefeld

Diese Broschüre ist in Deutsch, Französisch und
Englisch gedruckt erhältlich, elektronisch und auf
www.ekah.admin.ch zudem auch in Italienisch.

Nachdruck mit Quellenangabe erwünscht. Rechte
an Bildern müssen gesondert eingeholt werden.

Gedruckt auf chlorfreiem Papier.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

**Eidgenössische Ethikkommission
für die Biotechnologie im
Ausserhumanbereich EKAH**

