

> Synthetische Biologie

Die Geburt einer neuen
Technikwissenschaft

Alfred Pühler/Bernd Müller-Röber/
Marc-Denis Weitze (Hrsg.)

acatech DISKUSSION

 Springer

 acatech

DEUTSCHE AKADEMIE DER
TECHNIKWISSENSCHAFTEN

> Synthetische Biologie

Die Geburt einer neuen Technikwissenschaft

Alfred Pühler/Bernd Müller-Röber/
Marc-Denis Weitze (Hrsg.)

acatech DISKUSSION

Prof. Dr. habil. Alfred Pühler
Universität Bielefeld
CeBiTec
Postfach 10 01 31
33594 Bielefeld

Prof. Dr. habil. Bernd Müller-Röber
Universität Potsdam
Institut für Biochemie und Biologie
Karl-Liebknecht-Straße 24-25
14476 Golm

Dr. Marc-Denis Weitze
acatech – Deutsche
Akademie der Technik-
wissenschaften
Residenz München
Hofgartenstraße 2
80539 München

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2011

Geschäftsstelle
Residenz München
Hofgartenstraße 2
80539 München

Hauptstadtbüro
Unter den Linden 14
10117 Berlin

T +49(0)89/5203090
F +49(0)89/5203099

T +49(0)30/206309610
F +49(0)30/206309611

E-Mail: info@acatech.de
Internet: www.acatech.de

ISSN 2192-6182/ISBN 978-3-642-22353-2/e-ISBN 978-3-642-22354-9

DOI 10.1007/978-3-642-22354-9

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Redaktion: Dunja Reulein
Koordination: Marc-Denis Weitze, Steven Seifert
Layout-Konzeption: acatech
Konvertierung und Satz: Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme IAIS, Sankt Augustin
Einbandgestaltung: WMX Design GmbH, Heidelberg

Gedruckt auf säurefreiem Papier

springer.com

> Synthetische Biologie

Die Geburt einer neuen Technikwissenschaft

Alfred Pühler/Bernd Müller-Röber/
Marc-Denis Weitze (Hrsg.)

acatech DISKUSSION

> INHALT

> VORWORT	7
Utz-Hellmuth Felcht	
EINFÜHRUNG	
> EINBLICKE IN DIE SYNTHETISCHE BIOLOGIE	11
Alfred Pühler	
> EINE WISSENSCHAFT VOM KÜNSTLICHEN UND KOMPLEXEN: SYNTHETISCHE BIOLOGIE ALS TECHNIKWISSENSCHAFT DES 21. JAHRHUNDERTS	19
Klaus Mainzer	
TECHNIKEN	
> CODE ENGINEERING: TECHNIKEN UND ANWENDUNGEN	39
Nediljko Budisa/Michael Hösl	
> SYNTHETISCHE BIOLOGIE MIT KÜNSTLICHEN NUKLEIN- SÄURESTRUKTUREN	53
Friedrich Simmel	
> SYNTHETISCHE GENETISCHE SCHALTKREISE: VON GRÜN BLINKENDEN ZELLEN ZUR ENTDECKUNG NEUER MEDIKAMENTE	61
Wilfried Weber	
> SYNTHETISCHE BIOLOGIE ZUM DESIGN MASSGESCHNEIDERTER STOFFWECHSELWEGE	69
Volker F. Wendisch	

WIRTSCHAFTLICHES POTENZIAL

- > **SYNTHETISCHE BIOLOGIE – EIN INNOVATIONSMOTOR FÜR DIE INDUSTRIELLE BIOTECHNOLOGIE?**

Oskar Zelder

77
- > **HERSTELLUNG VON PHARMAWIRKSTOFFEN DURCH DESIGN VON STOFFWECHSELWEGEN**

Klaus-Peter Koller

89
- > **SYNTHETISCHE BIOLOGIE UND BIOTREIBSTOFFE**

Olaf Kruse

95

ELSI

- > **SYNTHETISCHE BIOLOGIE: GESELLSCHAFTLICHE VERANTWORTUNG DER WISSENSCHAFT**

Armin Grunwald

103
- > **BIOSICHERHEIT UND SYNTHETISCHE BIOLOGIE**

Markus Schmidt

111
- > **WIRD IN DER SYNTHETISCHEN BIOLOGIE „GOTT GESPIELT?“ EINE THEOLOGISCH-ETHISCHE DEKONSTRUKTION**

Peter Dabrock/Jens Ried

129

DOKUMENTATION

- > **SYNTHETISCHE BIOLOGIE BEI acatech: VORBEREITENDE, BEGLEITENDE UND NACHBEREITENDE KOMMUNIKATION**

Marc-Denis Weitze/Jann Gerrit Ohlendorf

141
- > **STELLUNGNAHME VON DFG, acatech UND LEOPOLDINA (ZUSAMMENFASSUNG)**

151
- > **acatech VERANSTALTUNGEN ZUR „SYNTHETISCHEN BIOLOGIE“ 2009/2010**

157
- > **AUTORENVERZEICHNIS**

165

> VORWORT

UTZ-HELLMUTH FELCHT

Die Synthetische Biologie ist in ihrer Bedeutung abschließend wohl noch kaum einzuschätzen. Für mich steht aber fest: Es gibt nur wenige Felder in der Wissenschaft, die so spannend sind und mittelfristig ein derart hohes ökonomisches Potenzial haben. Die Technikakademie im Vereinigten Königreich, die Royal Academy of Engineering, hat die Relevanz der Synthetischen Biologie für die Wirtschaft gar mit der Erfindung des Halbleiters im vorigen Jahrhundert verglichen. Drei Anwendungsbeispiele mögen die Bedeutung des Feldes illustrieren:

- Die in Deutschland traditionell starke chemische Industrie nutzt bereits heute vielfältige Verfahren der Weißen Biotechnologie. Hieran lässt sich erkennen, welches Potenzial in der Schaffung neuer Prozesse mittels Synthetischer Biologie liegt. Diese Prozesse könnten neue Rohstoffquellen nutzen, natürliche Ressourcen sparen helfen und Abfälle vermeiden.
- Unsere auf fossilen Rohstoffen basierte Produkt- und Energiewirtschaft wird mittelfristig auf erneuerbare Ressourcen umgestellt werden. Hier könnte die Synthetische Biologie wichtige Beiträge liefern, zum Beispiel bei Verfahren zur Herstellung von Biokraftstoffen der 2. Generation oder bei der Gewinnung von Biowasserstoff aus Wasser und Sonnenenergie mithilfe maßgeschneiderter Mikroorganismen oder biomimetisch konzipierter Katalysatoren.
- Vielfältige Marktpotenziale, und damit zugleich auch sehr nützliche und dem Menschen dienende Anwendungsmöglichkeiten, bieten sich für die Synthetische Biologie schließlich im Bereich der medizinischen Diagnostik und Prävention, der Arzneimittelentwicklung sowie dem Einsatz alternativer Therapieverfahren. Synthetische DNA findet sich schon heute in DNA-Impfstoffen und wird in der somatischen Gentherapie genutzt.

Alles in allem also viele Möglichkeiten für die Synthetische Biologie. Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) hat daher bereits im Sommer 2009 gemeinsam mit der Deutschen Forschungsgemeinschaft und der Nationalen Akademie der Wissenschaften (Leopoldina), eine Stellungnahme erarbeitet und Empfehlun-

gen formuliert, wie Deutschland am besten vom Potenzial der Synthetischen Biologie profitieren kann. Wir haben dabei bewusst auch ethische Fragestellungen mit aufgegriffen:

- Wird jetzt die Grenze zwischen Lebendigem und Technischem verwischt?
- Welche Folgen hat die Synthetische Biologie für die Einschätzung und den Umgang mit lebenden Organismen?
- Handelt es sich bei den neuen Methoden der Synthetischen Biologie um unzulässige Eingriffe in die Natur?
- Wird der Mensch durch Methoden der Synthetischen Biologie in seiner Gesundheit und Umwelt Schaden nehmen?

Im Präsidium hatten wir uns vor der Veröffentlichung der Stellungnahme gefragt, wie die Öffentlichkeit in Deutschland auf diese ganz neue Technikwissenschaft reagieren würde. Hatten wir uns auf apokalyptische Szenarien einzustellen? Auf wilde Phantasien und scharfe Ablehnung? Die Medienresonanz hat uns dann sehr positiv überrascht – genauso wie der Sprachwitz der Journalisten. Ob „Lebewesen maßgeschneidert“, wie Patrick Illinger in der Süddeutschen Zeitung seinen Bericht auf der ersten Seite überschrieb, oder im Artikel „Lego des Lebens“ aus der Zeit – die Berichterstattung fiel erfreulich unideologisch und sachlich aus. Auch die FAZ hat ihren Leserinnen und Lesern unter der nicht minder kreativen Überschrift „Leben aus dem Nichts“ einen sehr anschaulichen und ausgewogenen Bericht geliefert. Ich denke, die Resonanz ist insgesamt so ausgefallen, weil wir in der Stellungnahme nicht nur von den Chancen schwärmen, sondern gleichzeitig mögliche Risiken in den Blick nehmen. Denn „Heilmittel und Horror“ (Tagesspiegel) liegen hier tatsächlich eng beisammen.

Ob nun schrill, subtil, ob laut oder platt: Ich denke, wir sollten bei neuen Technologien sehr frühzeitig den sehr vielstimmigen Dialog mit der Öffentlichkeit suchen und über naturwissenschaftliche, rechtliche, wirtschaftliche, aber auch ethische Fragen diskutieren. Deshalb versammelt acatech in diesem Band allgemeinverständliche Beiträge, die das Feld dieser neuen Technikwissenschaft in den verschiedenen Facetten beleuchten.

Utz-Hellmuth Felcht
Mitglied acatech Präsidium

EINFÜHRUNG

> EINBLICKE IN DIE SYNTHETISCHE BIOLOGIE

ALFRED PÜHLER

DIE MEDIALE GEBURTSSTUNDE DER SYNTHETISCHEN BIOLOGIE

Eine der spektakulärsten Publikationen des Jahres 2010 war die Arbeit der Craig Venter-Gruppe, in der es um die Synthese eines bakteriellen Genoms im Reagenzglas und um den Nachweis geht, dass ein solches chemisch synthetisiertes Genom¹ in einer Bakterienzelle zum Leben erweckt werden kann.² Der Craig Venter-Gruppe fiel dieses Ergebnis nicht in den Schoß. Sie musste eine Vielzahl von Technologien neu entwickeln und dabei unvorhergesehene Probleme lösen. Zunächst wurde ein geeignetes bakterielles Genom, nämlich das des Bakteriums *Mycoplasma mycoides*, ausgewählt. *M. mycoides* ist als der Erreger der Lungenseuche bei Rindern bekannt und besitzt ein circa eine Million Basenpaare großes Genom.³ Damit gehört dieses Genom zu den kleineren bakteriellen Genomen, ist aber immer noch fast doppelt so groß wie das Genom von *Mycoplasma genitalium* mit einer Länge von nicht ganz 0,6 Millionen Basenpaaren.⁴

Die Venter-Gruppe konzentrierte sich ursprünglich auf das *M. genitalium*-Genom und entwickelte mit seiner Hilfe die Methode der Totalsynthese von bakteriellen Genomen. Voraussetzung für die chemische Synthese eines bakteriellen Genoms ist das Vorhandensein seiner Nukleotidsequenz, die für *M. genitalium* schon frühzeitig zu Beginn der bakteriellen Genomsequenzierung bestimmt worden war.⁵ Die Methodik der chemischen Synthese eines bakteriellen Genoms ist aufwendig, da das Genom nicht in einem Zug chemisch synthetisiert werden kann. Vielmehr konnten nur kurze Oligonukleotide synthetisiert werden, die dann in mühevoller Kleinarbeit in dem Darmbakterium *Escherichia coli* und in der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* zusammengesetzt werden müssen. Als Endprodukt konnte die Venter-Gruppe das chemisch synthetisierte *M. genitalium*-Genom als centromerisches Plasmid in Hefe vorweisen.⁶ Die korrekte Nukleotidsequenz des Genoms wurde durch Sequenzierung überprüft. Als Nächstes galt es, ein Verfahren

¹ In der Craig Venter-Arbeit wird von einem chemisch synthetisierten Genom gesprochen. Hierbei handelt es sich um ein bakterielles Genom, das – wie bei Bakterien öfters der Fall – nur aus einem einzigen ringförmigen Chromosom besteht. Im vorliegenden Fall wird der Begriff Genom anstelle des Begriffs Chromosom beibehalten.

² Gibson et al. 2010.

³ Westberg et al. 2004.

⁴ Fraser et al. 1995.

⁵ Fraser et al. 1995.

⁶ Gibson et al. 2008.

zu entwickeln, das die Verpflanzung eines bakteriellen Genoms in eine Bakterienzelle erlaubte. Eine solche Methode wird Transformation genannt und wurde anhand des natürlichen *M. genitalium*-Genoms entwickelt.⁷ Damit waren nun alle Einzeltechniken vorhanden, um den Beweis anzutreten, dass ein chemisch synthetisiertes bakterielles Chromosom in einer geeigneten Bakterienzelle „zum Leben erweckt“ werden kann.

Die Venter-Gruppe synthetisierte – wie oben beschrieben – das *M. mycoides*-Genom und transplantierte dieses dann nach *Mycoplasma capricolum*, ein Bakterium, das als Erreger der Lungenseuche bei Ziegen bekannt ist. In *M. capricolum* liegen kurzzeitig zwei Genome vor, nämlich das native von *M. capricolum* und das chemisch synthetisierte von *M. mycoides*. Bei Zellvermehrung werden die beiden Genome nach Tochterzellen segregiert. Nach Selektion werden Tochterzellen mit den chemisch synthetisierten Genomen weitervermehrt. Sie erweisen sich als lebensfähig und besitzen die bekannten Eigenschaften von *M. mycoides*-Zellen. Das chemisch synthetisierte *M. mycoides*-Genom kontrolliert also das Zellgeschehen in der transformierten Zelle, wie die Überschrift der jüngsten, oben zitierten Craig Venter-Arbeit verkündet.

Diese Arbeit der Craig Venter-Gruppe erlebte eine enorme publizistische Aufmerksamkeit. In allen Medien wurde von dieser Großtat berichtet, sodass man nicht umhinkommt, die Publikation mit der medialen Geburtsstunde der Synthetischen Biologie gleichzusetzen. Es ist jedoch angebracht, zwischen Synthetischer Biologie und künstlichem Leben zu unterscheiden. Die Craig Venter-Arbeit handelt – wie auch die Überschrift verdeutlicht – nicht vom künstlichen Leben, sondern lediglich von einem chemisch synthetisiertem Genom, das in einer vorhandenen Bakterienzelle zum Leben erweckt wurde. Dabei griff die Craig Venter-Gruppe an zwei Stellen auf vorhandene Biologie zurück: Zum einen nutzte sie die natürliche Genomsequenz von *M. mycoides* für die chemischen Synthese und zum anderen die nah verwandte *M. capricolum*-Zelle für die Genomtransplantation. Mit dem Endprodukt der Craig Venter-Gruppe, der synthetischen Zelle, ist man also noch meilenweit vom künstlichen Leben entfernt. Hierfür müsste man fordern, dass man die Genomsequenz am Computer entwickelt und für die Transplantation des chemisch synthetisierten Genoms auch eine chemisch hergestellte Zelle nutzt. Bis wann diese Schritte realisiert werden können, ist zurzeit nicht absehbar. Man muss sogar davon ausgehen, dass eine solche Entwicklung in den nächsten Jahrzehnten nicht erreicht werden kann, denn hierzu müsste man die Evolution der vergangenen vier Milliarden Jahre am Computer nachvollziehen und die zur Transplantation genutzte bakterielle Zelle ebenfalls künstlich generieren.

⁷ Lartigue et al. 2009.

DIE SYNTHETISCHE BIOLOGIE AUF DER SCHWELLE ZUR TECHNIKWISSENSCHAFT

Die Synthetische Biologie stellt eine logische Fortentwicklung der molekularen Lebenswissenschaften dar. Speziell für die Bakterienzelle ist es in den letzten Jahren gelungen, das zelluläre Geschehen in vielen Einzelheiten ganzheitlich zu beschreiben. Dies beginnt bei der Genomsequenz einer Zelle, die in der Zwischenzeit mit den vorhandenen Hochdurchsatzsequenziermethoden innerhalb kürzester Zeit erstellt werden kann. Mittels bioinformatischer Methoden können dann alle Gene einer solchen Genomsequenz, aber auch die dazugehörigen regulatorischen Sequenzen, identifiziert werden. Welche Gene zu welchem Zeitpunkt aktiv sind, erfährt man anschließend über eine Transkriptomanalyse, die meist auf Microarrays zurückgreift. Die Proteinausstattung einer Bakterienzelle kann schließlich mittels Proteomik und die Metabolitenausstattung mittels Metabolomik erfasst werden. Eine solche ganzheitliche Beschreibung des zellulären Lebens zieht es nach sich, dass vermehrt Methoden zur Systembeschreibung etabliert werden, die schließlich die Grundlage für die kürzlich aus der Taufe gehobene Systembiologie bilden. Mittels Systembiologie sollte es in Zukunft möglich sein, das zelluläre Geschehen unter Zuhilfenahme von Biocomputing zu modellieren und dann nach Veränderung der genetischen Information auch zu modellieren. Solche Modellierungen geben dann Auskunft darüber, ob die angebrachten genetischen Veränderungen mit den Lebensvorgängen in einer Zelle verträglich sind und zum gewünschten Ziel führen. Ist dies der Fall, dann kommt die Synthetische Biologie ins Spiel, die eine mehr oder weniger stark veränderte Genomsequenz im Reagenzglas im Sinne einer Blaupause als Vorlage für eine chemische Synthese nutzen kann. Das chemisch synthetisierte Genom kann dann – wie von der Craig Venter-Gruppe gezeigt – nach Transplantation in eine geeignete Zelle zum Leben erweckt werden. Mittels einer solchen synthetischen Zelle lassen sich dann die genetischen Veränderungen *in vivo* testen.

Ein solcher Versuchsablauf ist für die Technikwissenschaften nichts Neues. Auch hier entwickelt man zum Beispiel beim Auto- oder Flugzeugbau Computermodelle, die dann mittels Simulation einer intensiven Überprüfung unterzogen werden. Erfüllen die Modelle schließlich die geforderten Eigenschaften, wird man an die Konstruktion des Prototyps gehen und schließlich das neu entwickelte Auto oder Flugzeug bauen. Auf dem Gebiet der biologischen Wissenschaften stellt die Synthetische Biologie offensichtlich den Schlussstein dar, den man zum Übergang zu den Technikwissenschaften noch benötigte.

Die Synthetische Biologie eröffnet damit ein komplett neues Forschungs- und Entwicklungsgebiet. Sie weist den Weg, wie durch eine Technologisierung der Biologie das Zeitalter der biologischen Technikwissenschaften eingeläutet wird.

NACHWUCHSFÖRDERUNG UND AUSBILDUNG AUF DEM GEBIET DER SYNTHETISCHEN BIOLOGIE

Die Ausbildung und Nachwuchsförderung auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie benötigen keine neuen Studiengänge. Es muss allerdings sichergestellt werden, dass eine fundierte Grundausbildung auf dem Sektor der molekularen Biologie besteht, die insbesondere auch die neuen „omics“-Technologien, also Genomik, Transkriptomik, Proteomik und Metabolomik, mit einschließt. Auf dieser Grundausbildung aufbauend sollte dann Wert darauf gelegt werden, Grundelemente der Bioinformatik und des Biocomputings in die Ausbildung mit einzubeziehen, um letztendlich eine ausreichende Basis für eine Systembiologie zu legen. Die Synthetische Biologie baut auf einer solchen zielorientierten Ausbildung auf. Mit den heute praktizierten, gegliederten Studiengängen kann man sich gut vorstellen, dass ein Bachelorstudiengang die Molekularbiologie und „omics“-Technologien umfasst, während der Masterstudiengang Bioinformatik, Biocomputing, Systembiologie und schließlich die Grundelemente der Synthetischen Biologie vermittelt. Nach einer solchen Ausbildung können in einem sich anschließenden Promotionsstudium interessante Projekte der Synthetischen Biologie bearbeitet werden.

Die Ausbildung und Nachwuchsförderung auf dem Gebiet der Synthetischen Biologie voranzutreiben ist mit dem weltweiten iGEM-Wettbewerb exzellent gelungen. Die Abkürzung iGEM steht für „international Genetically Engineered Machines“⁸. Der Wettbewerb, der sich an nicht graduierte Studenten der Lebenswissenschaften richtet, wird seit dem Jahr 2003 vom MIT in Boston, USA, durchgeführt. Gesucht werden innovative Systeme und Ideen im Bereich der Synthetischen Biologie. Die Studententeams setzen sich jeweils aus acht bis 15 Studenten zusammen, die von ein bis drei graduierten Personen betreut werden.

Dieser Wettbewerb hat in der Zwischenzeit enorme Aufmerksamkeit erzeugt. Am iGEM-Wettbewerb, der im Oktober 2010 in Boston stattfand, nahmen insgesamt 128 Teams aus aller Welt teil. Deutschland war durch acht Teams vertreten, und zwar von Hochschulen aus Bielefeld, Dresden, Freiburg (2 Teams), Heidelberg, Weimar und München (TU und LMU). Die Erfolgsbilanz der deutschen Vertreter kann sich sehen lassen. Die deutschen Beiträge wurden immerhin mit fünf Goldmedaillen ausgezeichnet. Am Beispiel des Teams aus Bielefeld soll deren wissenschaftlicher Beitrag kurz skizziert werden. Das Bielefelder Team konstruierte einen bakteriellen Biosensor, der die Schärfe von Speisen, speziell die Substanz Capsaicin aus Chillischoten, messen kann und die Bezeichnung Bakterieller Vorkoster erhielt. Dazu rüsteten die Studenten das Darmbakterium *Escherichia coli* mit einem modifizierten Sensor des Bodenbakteriums *Agrobacterium tumefaciens* aus und koppelten diesen an die Signalkette des Leucht-systems des Glühwürmchens. Die entsprechenden genetischen Elemente aus *A. tumefaciens* und dem Glühwürmchen wurden nach Modifikation in *E. coli* eingebaut und auf ihre Funktionstüchtigkeit getestet. Offensichtlich handelt es sich bei diesem Projekt um ein Paradebeispiel der Synthetischen Biologie. Der iGEM-Wettbewerb zeichnet sich dadurch aus, dass die studentischen Teams ihre

⁸ <http://ung.igem.org/About>.

Projekte selbst entwickeln und umsetzen müssen. Da die iGEM-Projekte neben dem üblichen Studium erstellt werden, wird von den Teilnehmern viel Engagement und Einsatz gefordert. Andererseits zeigt dieser Wettbewerb aber auch deutlich, dass der universitäre Nachwuchs von der Synthetischen Biologie fasziniert ist und dass sich dieses Forschungsfeld bereits erfolgreich etabliert hat.

POLITIK- UND GESELLSCHAFTSBERATUNG ZUR SYNTHETISCHEN BIOLOGIE

Die Craig Venter-Gruppe hat mit ihrer Publikation zur chemischen Synthese eines bakteriellen Genoms und der sich anschließenden erfolgreichen Transplantation in eine Bakterienzelle international Aufmerksamkeit hervorgerufen. Das Ereignis wurde weltweit in allen Medien verbreitet, gefeiert, aber auch kritisch diskutiert. Die wissenschaftliche Gemeinschaft hat in der Zwischenzeit gelernt, dass die Interpretation einer neuen wissenschaftlichen Entwicklung nicht alleine den Medien überlassen werden darf, sondern dass vielmehr eine kritische Würdigung, die sich auf eine wissenschaftliche Basis stützt und alle gesellschaftlichen und ethischen Aspekte mit einbezieht, rechtzeitig erstellt und der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden muss. Für das Fachgebiet Synthetische Biologie agierte man in Deutschland antizipativ. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft sowie acatech und Leopoldina schlossen sich zusammen und legten im Juli 2009 eine Stellungnahme zur Synthetischen Biologie vor, die große Resonanz hervorrief und allgemein als Grundlage für die öffentliche Debatte betrachtet wird.⁹

AUFBAU DES BANDES

Diese Stellungnahme steht im Zentrum der Aktivitäten zur Synthetischen Biologie von acatech: Mehrere wissenschaftliche Tagungen haben ihre Entstehung begleitet, und vielfältige Kommunikationsaktivitäten der Akademie beförderten und befördern den Dialog von Wissenschaft und Öffentlichkeit in diesem Feld. Der vorliegende Band dokumentiert einerseits die Aktivitäten der Akademie und soll andererseits eine Grundlage bilden für den weiteren Dialog. Dazu werden hier aktuelle Felder der Synthetischen Biologie dargestellt, deren wirtschaftliches Potenzial eingeordnet sowie ethische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte diskutiert.

Einführend beschreibt Klaus Mainzer Synthetische Biologie als eine Wissenschaft vom Künstlichen, die in einer Tradition steht mit Forschung zu „Künstlicher Intelligenz“ und „Künstlichem Leben“. Computer stehen hier jeweils im Zentrum, um die Komplexität der Systeme zu zähmen. Die folgenden vier Beiträge schildern beispielhaft den konstruktiven Ansatz der Synthetischen Biologie auf verschiedenen Ebenen biologischer Systeme: Nediljko Budisa und Michael Hösl beschreiben Grundlagen und Anwendungen des Code Engineering, Friedrich Simmel nutzt Nukleinsäuren als programmierbares Baumaterial, Wilfried Weber konstruiert genetische Schaltkreise und Volker Wendisch entwirft Stoffwechselwege, um Wertstoffe biotechnologisch auf neue Weise herzustellen.

⁹ DFG/acatech/Leopoldina 2009, vgl. auch die Zusammenfassung im Anhang.

Der darauf folgende Teil des Bandes hebt das wirtschaftliche Potenzial hervor: Oskar Zelder eruiert die Relevanz der Synthetischen Biologie für die Industrielle Biotechnologie, Klaus-Peter Koller diejenige für die Erforschung und Herstellung pharmazeutischer Wirkstoffe, während Olaf Kruse die neuen Möglichkeiten darlegt, die sich durch den Einsatz der Synthetischen Biologie bei der Biotreibstoff-Herstellung ergeben.

„ELSI“, also Ethical, Legal, and Social Issues, werden von Armin Grunwald, Markus Schmidt bzw. Peter Dabrock und Jens Ried thematisiert: Fragen der gesellschaftlichen Verantwortung, der Biosicherheit und (fragwürdige) Selbst-Ansprüche stehen hier im Blickpunkt.

Im Anhang schließlich werden die Kommunikationsmaßnahmen der Akademie zur Synthetischen Biologie dokumentiert. Zudem sind hier eine Zusammenfassung der Stellungnahme von DFG, acatech und Leopoldina abgedruckt sowie die Programme relevanter acatech-Veranstaltungen.

LITERATUR

DFG/acatech/Leopoldina 2009

Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech), Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina: Synthetische Biologie – Stellungnahme. Weinheim: Wiley, 2009.

Fraser et al. 1995

Fraser, C. M./Gocayne, J. D./White, O./Adams, M. D./Clayton, R. A./Fleischmann, R. D./Bult, C. J./Kerlavage, A. R./Sutton, G./Kelley, J. M./Fritchman, R. D./Weidman, J. F./Small, K. V./Sandusky, M./Fuhrmann, J./Nguyen, D./Utterback, T. R./Saudek, D. M./Phillips, C. A./Merrick, J. M./Tomb, J. F./Dougherty, B. A./Bott, K. F./Hu, P. C./Lucier, T. S./Peterson, S. N./Smith, H. O./Hutchison, C. A. 3rd/Venter, J. C.: The minimal gene complement of *Mycoplasma genitalium*. In: *Science* 270(5235) (1995), S. 397-403.

Gibson et al. 2008

Gibson, D. G./Benders, G. A./Andrews-Pfannkoch, C./Denisova, E. A./Baden-Tillson, H./Zaveri, J./Stockwell, T. B./Brownley, A./Thomas, D. W./Algire, M. A./Merryman, C./Young, L./Noskov, V. N./Glass, J. I./Venter, J. C./Hutchison, C. A. 3rd/Smith, H. O.: Complete chemical synthesis, assembly, and cloning of a *Mycoplasma genitalium* genome. In: *Science* 319(5867) (2008), S. 1215-1220.

Gibson et al. 2010

Gibson, D. G./Glass, J. I./Lartigue, C./Noskov, V. N./Chuang, R. Y./Algire, M. A./Benders, G. A./Montague, M. G./Ma, L./Moodie, M. M./Merryman, C./Vashee, S./Krishnakumar, R./Assad-Garcia, N./Andrews-Pfannkoch, C./Denisova, E. A./Young, L./Qi, Z. Q./Segall-Shapiro, T. H./Calvey, C. H./Parmar, P. P./Hutchison, C. A. 3rd/Smith, H. O./Venter, J. C.: Creation of a bacterial cell controlled by a chemically synthesized genome. In: *Science* 329(5987) (2010), S. 52-56.

Lartigue et al. 2009

Lartigue, C./Vashee, S./Algire, M. A./Chuang, R. Y./Benders, G. A./Ma, L./Noskov, V. N./Denisova, E. A./Gibson, D. G./Assad-Garcia, N./Alperovich, N./Thomas, D. W./Merzlyan, C./Hutchison, CA 3rd/Smith, H. O./Venter, J. C./Glass, J. I.: Creating bacterial strains from genomes that have been cloned and engineered in yeast. In: *Science* 325(5948) (2009), S. 1693-1696.

Westberg et al. 2004

Westberg, J./Persson, A./Holmberg, A./Goesmann, A./Lundeberg, J./Johansson, K. E./Pettersson, B./Uhlén, M.: The genome sequence of *Mycoplasma mycoides* subsp. *mycoides* SC type strain PG1T, the causative agent of contagious bovine pleuropneumonia (CBPP). In: *Genome Res.* 14(2) (2004), S. 221-227.