

Interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“  
Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.)

Interdisciplinary Research Group „Gene Technology Report“  
Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities (Ed.)



**SYNTHETISCHE BIOLOGIE.  
ENTWICKLUNG EINER NEUEN INGENIEURBIOLOGIE?  
THEMENBAND DER INTERDISZIPLINÄREN  
ARBEITSGRUPPE „GENTECHNOLOGIEBERICHT“**

KURZFASSUNG

**SYNTHETIC BIOLOGY.  
IS A NEW KIND OF BIOLOGICAL ENGINEERING EMERGING?  
SUPPLEMENT OF THE INTERDISCIPLINARY  
RESEARCH GROUP “GENE TECHNOLOGY REPORT”**

SUMMARY



## KURZFASSUNG DES THEMENBANDES / SUMMARY OF THE SUPPLEMENT

Kristian Köchy, Anja Hümpel (Hrsg.)

Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie?

Themenband der interdisziplinären Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“

Forum W – Wissenschaftlicher Verlag, Dornburg, 2012

**SYNTHETISCHE BIOLOGIE.  
ENTWICKLUNG EINER NEUEN INGENIEURBIOLOGIE?  
THEMENBAND DER INTERDISZIPLINÄREN  
ARBEITSGRUPPE „GENTECHNOLOGIEBERICHT“**

KURZFASSUNG

**SYNTHETIC BIOLOGY.  
IS A NEW KIND OF BIOLOGICAL ENGINEERING  
EMERGING?**

SUPPLEMENT OF THE INTERDISCIPLINARY  
RESEARCH GROUP “GENE TECHNOLOGY REPORT”

SUMMARY



Kristian Köchy, Anja Hümpel (Hrsg.)

# SYNTHETISCHE BIOLOGIE

## ENTWICKLUNG EINER NEUEN INGENIEURBIOLOGIE?

GENTECHNOLOGIE

Themenband der Interdisziplinären Arbeitsgruppe  
„Gentechnologiebericht“

FORUM W

Kristian Köchy, Anja Hümpel (Hrsg.)

Synthetische Biologie.  
Entwicklung einer neuen  
Ingenieurbiologie?

Themenband der  
interdisziplinären Arbeitsgruppe  
„Gentechnologiebericht“

1. Auflage, 2012

Forschungsberichte der  
interdisziplinären Arbeitsgruppen  
der Berlin-Brandenburgischen  
Akademie der Wissenschaften;  
Bd. 30

ISBN 978-3-940647-07-8

Hardcover, 288 Seiten

EUR 39,90

## Inhalt des Buches

### Zusammenfassung

Interdisziplinäre Arbeitsgruppe  
„Gentechnologiebericht“  
**Kernaussagen – und  
Handlungsempfehlungen**

Kristian Köchy

#### 1. Was ist Synthetische Biologie?

Julia Diekämper, Anja Hümpel

#### 2. Synthetische Biologie in Deutschland. Eine methodische Einführung

Heiner Fangerau

#### 3. Zur Geschichte der Synthetischen Biologie

Nediljko Budisa

#### 4. Chemisch-synthetische Biologie

Natascha Hotz, Wilfried Weber

#### 5. Therapeutische Perspektiven der Synthetischen Biologie

Hanna Wagner, Volker Morath

**Spotlight I: iGEM – Eine studentische Ideenwerkstätte der Synthetischen Biologie**

Kristian Köchy

**6. Philosophische Implikationen der Synthetischen Biologie**

Hans-Jörg Rheinberger, Horst Bredekamp

**Spotlight II: Die neue Dimension des Unheimlichen**

Johannes Achatz, Martin O'Malley,

Peter Kunzmann

**7. Der Stand der ethischen Diskussionen um Synthetische Biologie**

Susanne Nessler

**Spotlight III: Biohacker – Über Laienforscher und die Synthetische Biologie**

Hille Haker

**8. Eine Verhältnisbestimmung von Theologie und Synthetischer Biologie aus ethischer Sicht**

Julia Diekämper

**9. Die Synthetische Biologie in den Medien**

Mila Burghardt

**Spotlight IV: Its hot, its new, its alive – Super Cell, der Supermarkt des Lebens**

Jürgen Hampel

**10. Synthetische Biologie – eine unbekannte Technologie**

Anja Hümpel, Julia Diekämper

**11. Daten zu ausgewählten Indikatoren**

**12. Anhang**



Forum W – Wissenschaftlicher Verlag  
Mühlenweg 2 · 65599 Dornburg

Email: [verlag@forum-w.org](mailto:verlag@forum-w.org)

Fax: 06436 288838

[www.forum-w.org](http://www.forum-w.org)

## Inhalt der Kurzfassung

<b>Zusammenfassung</b>	5
Was ist Synthetische Biologie?	5
Synthetische Biologie in Deutschland. Eine methodische Einführung	8
Zur Geschichte der Synthetischen Biologie	9
Chemisch-Synthetische Biologie	10
Therapeutische Perspektiven der Synthetischen Biologie	11
Philosophische Implikationen der Synthetischen Biologie	13
Der Stand der ethischen Diskussionen um Synthetische Biologie	14
Eine Verhältnisbestimmung von Theologie und Synthetischer Biologie aus ethischer Sicht	15
Die Synthetische Biologie in den Medien	16
Synthetische Biologie – eine unbekannte Technologie	18
Daten zu ausgewählten Indikatoren	19
<b>Kernaussagen und Handlungsempfehlungen</b>	21
Fachliche Verortung	21
Zukunftsperspektiven	21
Öffentliches Bild	21
Philosophische und ethische Implikationen	22
Wissenschaftspolitischer Regelungsbedarf	23

## Contents of the Summary

<b>Abstracts</b>	25
What is synthetic biology?	25
Synthetic biology in Germany. A methodological introduction	27
Synthetic biology – An historical perspective	29
Chemical synthetic biology	30
Therapeutic perspectives in synthetic biology	31
Philosophical implications of synthetic biology	32
Current status of ethical discussions surrounding synthetic biology	34
Defining the relationship between theology and synthetic biology – An ethical perspective	35
Synthetic biology in the media	36
Synthetic biology – An unknown technology	37
Data on the selected indicators	39
<b>Core Statements and Recommendations for Action</b>	40
Defining an appropriate scientific framework	40
Future prospects	41
Public image	41
Philosophical and ethical implications	41
Assessment of government policy requirements	42

## Zusammenfassung

Mit ihrem neuen Themenband – der hier zusammengefasst vorgestellt werden soll – wendet sich die interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften erstmalig der in der Öffentlichkeit noch weitgehend unbekanntem Synthetischen Biologie zu. Von besonderer Faszination ist dabei die noch im Fluss befindliche Auseinandersetzung, was denn nun eigentlich die Synthetische Biologie ist und welche Forschungsansätze ihr konkret zuzuordnen sind. Entsteht hier wirklich eine neue Ingenieurbiologie? Nach einer inhaltlichen (Kapitel 1) und methodischen (Kapitel 2) Einführung beginnt die thematische Auseinandersetzung mit einer wissenschaftshistorischen Perspektive auf synthetisch-technische Traditionen in der Biologie (Kapitel 3). Anschließend wird der aktuelle naturwissenschaftliche Sachstand präsentiert mit einem Fokus auf chemisch-synthetische Forschungsansätze (Kapitel 4) und neue Anwendungen in der Biomedizin (Kapitel 5). Überdies werden in interdisziplinärer Ausrichtung der Arbeitsgruppe auch neue philosophische (Kapitel 6) und ethische (Kapitel 7 und 8) Implikationen der Synthetischen Biologie diskutiert. Als letzter Themenbereich wird die aktuelle gesellschaftliche Wahrnehmung der Disziplin besprochen: sowohl die gegenwärtige Berichterstattung zum Thema (Kapitel 9) als auch die öffentliche Meinung in Deutschland und Europa (Kapitel 10). Die inhaltlichen Ausführungen werden in gewohnter Weise durch quantitative Daten in Form von Indikatoren unterstützt (Kapitel 11). Ergänzt werden die Beiträge durch die gemeinsamen Kernaussagen und Handlungsempfehlungen der Mitglieder der Arbeitsgruppe für die Synthetische Biologie.

### Was ist Synthetische Biologie? (Kapitel 1; Kristian Köchy)

Mit ihrem neuen Themenband wendet die Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“ der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften ihre Aufmerksamkeit auf das aktuelle Forschungsgebiet der Synthetischen Biologie. Dabei stellt sich die Frage, ob diese Disziplin noch in den Bereich der Gentechnologie und damit in den Forschungsfokus eines „Gentechnologieberichts“ fällt. In medialer Aufarbeitung und Selbstdarstellung einiger Forschender aus dem Feld scheint die neue Qualität der Synthetischen Biologie unstrittig. Die involvierten Fachwissenschaften und geisteswissenschaftlichen Reflexionen zum Fachgebiet hingegen bleiben in ihrer Beurteilung dieser Frage bezeichnenderweise weitgehend offen. Je nachdem jedoch, ob man die Synthetische Biologie als bloße Fortentwicklung der Gentechnologie oder als eigene neue Forschungsrichtung versteht, stellen sich andere Fragen zur Qualität der Forschungsprojekte der Synthetischen Biologie und ihrer Bedeutung im gesellschaftlichen Kontext. Die Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“ hat deshalb die offene Frage nach der Beziehung zwischen Gentechnologie und Synthetischer Biologie zu einem Leitfaden ihres Monitorings gewählt. Die Einzelbeiträge mit ihren je heterogenen Perspektiven auf die Entwicklungen der Synthetischen Biologie folgen dieser Leitlinie.

Das selbsterklärte Ziel der Synthetischen Biologie ist, komplexe Biosysteme herzustellen und zu untersuchen, die strukturell und funktionell so in der Natur nicht existieren. Dabei werden in interdisziplinärer Ausrichtung biologische Ansätze mit Verfahren und Konzepten aus anderen Wissenschafts- und Technologiefeldern kombiniert. Als wichtigster Punkt kann dabei die Vernetzung mit Ingenieurwissenschaften

angeführt werden. Als technische Ingenieurbiologie sollen durch rationale, datenbasierte Planung ganze Zellen oder Mikroorganismen von Grund auf im Labor neu konstruiert oder komplett umgestaltet werden. Oft wird diese „Konstruktion am Reißbrett“ im Gegensatz zu den „Ad-hoc-Verfahren“ der Gentechnologie gesehen, aber auch in der Synthetischen Biologie gibt es neben dem Denkstil des rationalen Designs das genau entgegengesetzte Ideal des pragmatischen, kreativen Ausprobierens und Bastelns. Des Weiteren wird die Synthetische Biologie häufig in Gegensatz zu auf Grundlagenforschung ausgerichteten Fachrichtungen gesetzt, aber eine scharfe Trennung von Grundlagenforschung und Anwendung wird den Bedingungen heutiger Forschung nicht gerecht. Nachbau, Manipulation und Neukonstruktion können in ein und demselben Forschungsansatz fließend ineinander übergehen. Zudem fallen große Teile der Synthetischen Biologie heute selbst noch in den Bereich der Grundlagenforschung.

Die Eingriffstiefe – von der Manipulation einzelner Gene bis hin zur Neukonstruktion von ganzen Biosystemen – und die Entfernung vom natürlichen Vorbild können zur Klassifizierung der einzelnen Ansätze herangezogen werden und zeigen auch die über die „klassische“ Gentechnologie hinausreichende Potenz der Synthetischen Biologie. Allerdings ist eine solche Abgrenzung nur relativ angesichts der jüngsten Entwicklungen innerhalb der Gentechnologie in Richtung auf immer umfassendere „Omics“-Methoden, die die Analyse ganzer Molekülklassen (wie z. B. DNA-Moleküle, Proteine oder auch andere Stoffwechselprodukte) in einem Experiment ermöglichen.

Die konstruierende, systemische Ausrichtung der Synthetischen Biologie setzt sie insbesondere in engen Bezug zur Systembiologie, die die komplexen Vorgänge in Organismen in ihrer Ganzheit untersucht und modelliert. Unter Rückgriff auf klassische Methodenideale der Chemie, bei der man eine Analytische und eine Synthetische Chemie unterscheidet, gelten die Daten aus der Systembiologie als Basis für die Ansätze der Synthetischen Biologie, auch wenn hier die Grenzen wie schon angemerkt fließend sein können.

In Anbetracht der Vielzahl unterschiedlicher Kennzeichnungen der Synthetischen Biologie, könnte man den Schluss ziehen, weiterer Streit um die adäquate Bestimmung der Synthetischen Biologie sei zu theoretisch und für die eigentliche Forschungsarbeit wenig zielführend. Synthetische Biologie wäre in diesem Sinne nicht mehr als ein erfolgversprechendes neues Verfahren, das verschiedene Methoden in sich vereint. Allerdings wird diese Ansicht Behauptungen an anderen Stellen nicht gerecht, dass die Synthetische Biologie *die* neue und innovative Forschungsprogrammatische sei, die unser bisheriges Verständnis biologischer Forschung umwälze. Angemessener wäre es deshalb, die Heterogenität der Disziplin zunächst als solche anzuerkennen und sie in die Sondierung des Feldes einfließen zu lassen. Hierzu galt es nicht den kleinsten gemeinsamen Nenner zu definieren, sondern eine vollumfängliche Beschreibung der Vielfalt der Programme, Verfahren und Zielsetzungen der Synthetischen Biologie zu suchen (Tabelle 1). In diesem Sinne spiegelt der vorliegende Themenband die verschiedenen Perspektiven auf aktuelle Forschung in Deutschland wider und will sie ergänzend zueinander stellen.

**Tabelle 1: Klassifikationsmöglichkeiten für die Forschungsansätze der Synthetischen Biologie**

Klassifikation nach Verfahrenstyp:
▶ Bottom-up-Ansatz – Top-down-Ansatz – Chassis-Ansatz – orthogonaler Ansatz
Klassifikation nach Anwendungsbezug:
▶ Grundlagenforschung – angewandte Forschung
Klassifikation nach den üblichen Anwendungsbereichen der Biotechnologie:
▶ rote – grüne – weiße – graue – blaue Synthetische Biologie
Klassifikation nach konkreten Forschungszeigebereichen:
▶ DNA-Synthese, synthetische Genome – genetische Schaltkreise, synthetische Oszillatoren, Signaltransduktionssysteme, Zell-Zell-Systeme – „metabolic pathway engineering“ – Herstellung von Biosensoren durch Protein-Engineering – Protozellen – Minimalgenome – Xenobiologie
Klassifikation nach der Komplexitätsebene der Forschungsobjekte:
▶ biomolekulare Grundbausteine – einfache Zusammenlagerungen von Grundbausteinen – funktionelle Einheiten auf makromolekularem Niveau – „self-assembling units“ – „self-replicating biological systems“
Klassifikation nach der biologischen Komplexität:
▶ Prokaryonten/Eukaryonten – Einzeller/Mehrzeller
Klassifikation nach Naturferne („divergence from nature“):
▶ natürliche Systeme – künstliche Systeme – Hybride
Klassifikation nach technischer Zielsetzung:
▶ mimetische Ansätze – konstruktiv-modifizierende Ansätze – optimierende Ansätze
Klassifikation nach dem ingenieurwissenschaftlichen Konzept:
▶ „blueprinting“ (rationale Planung) – „bricolage“/„tinkering“ (Basteln)
Klassifikation nach den Paradigmen und Leitbildern:
▶ Metaanalysen, die den Theorierahmen einer rein naturwissenschaftlichen Konzeption verlassen

▶ Quelle: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.) (2012): Zusammenfassung. In: dies.: Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:14.

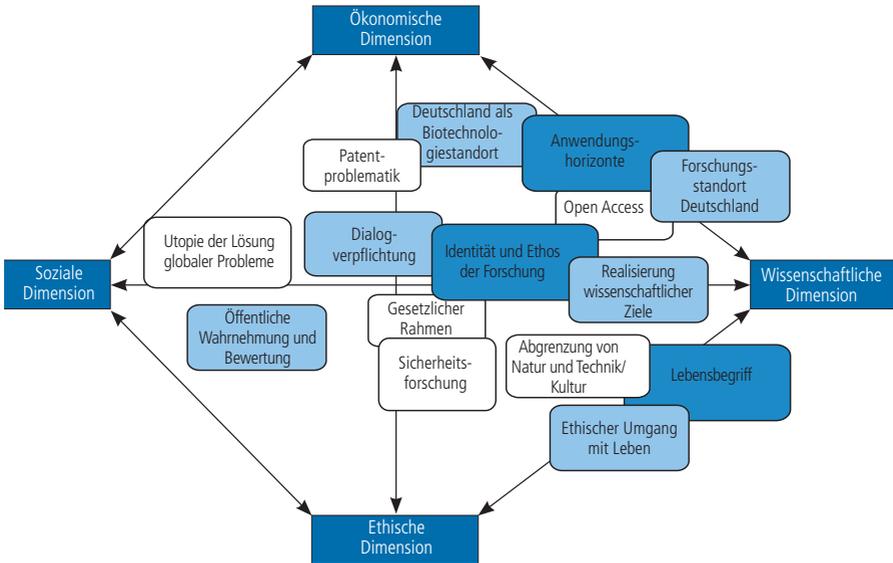
Die Gentechnologie stellt in ihrer fachlichen Breite und rasanten Entwicklung ein nur schwer zu überblickendes Element der modernen Biowissenschaften dar. Während einige ihrer Anwendungen, zum Beispiel in der Biomedizin, weithin Akzeptanz in Deutschland finden, sind andere ihrer Forschungsansätze heftig umstritten. Kritiker und Befürworter debattieren unvereinbar über deren wissenschaftliche Risiken, über die „Unantastbarkeit“ von Leben, über wirtschaftliche Vorteile und gesellschaftliche Nachteile. Hier sieht der „Gentechnologiebericht“ seinen Arbeitsauftrag: Er berichtet unabhängig und unvoreingenommen über die aktuellen Entwicklungen der Gentechnologie und methodisch verknüpfter Nachbardisziplinen in Deutschland. Ziel ist eine Basis für einen ergebnisoffenen Diskurs anzubieten. Ein wesentlicher Aspekt seiner Arbeitsweise ist ein sozialwissenschaftlich motiviertes Langzeit-Monitoring.

Als Grundlage des Monitorings dienen sogenannte Problemfelder, über die sich die vielschichtigen Konflikt- und Anwendungsbereiche für die einzelnen Themen des „Gentechnologieberichts“ strukturiert aufschlüsseln lassen. Hinter den Problemfeldern stehen Themenkomplexe, die für einen Teilbereich der Gentechnologie öffentlich in Deutschland diskutiert werden. Bezeichnenderweise sind die beiden prominentesten Problemfelder für die Synthetische Biologie (Abbildung 1) – als junge und noch nicht klar abgesteckte Disziplin – *Identität und Ethos der Forschung* sowie ihre zukünftigen *Anwendungshorizonte*. Als drittes wichtiges Problemfeld zeigte sich die Problematik um den *Lebensbegriff*.

Da die ermittelten Problemfelder vielschichtige Sachverhalte benennen, werden sie in einem zweiten Schritt mit geeigneten Indikatoren gefüllt. Indikatoren werden dabei als empirisch direkt ermittelbare Größen verstanden, die inhaltlich mit einem Problemfeld verknüpft sind und zu seiner objektiven Beschreibung herangezogen werden können. Verschiedene Aspekte eines Problemfelds werden so mit messbaren Daten belegt und langfristig dokumentiert. Das indikatorenbasierte Verfahren ermöglicht so eine objektive und kontinuierliche Beobachtung der Entwicklungen der Gentechnologie in Deutschland.

Allerdings lassen sich nicht allen Problemfeldern in gleichem Ausmaß geeignete Indikatoren zuordnen oder es fehlen zugängliche Messdaten. Für die Synthetische Biologie im Besonderen erweist sich die relative „Neuheit“ des Fachgebietes, das erst seit einigen Jahren verstärkt in den Fokus der öffentlichen Wahrnehmung gerückt ist, und die ausgewiesene Debatte um das, was Synthetische Biologie nun eigentlich ist, als nachteilig. Die aktuelle Datenlage ist im Vergleich mit anderen Bereichen der Gentechnologie noch unterentwickelt. Diese Diskrepanz wird durch die qualitativen Beschreibungen im vorliegenden Themenband aufgefangen.

**Abbildung 1: Aktuelle Problemfelder der Synthetischen Biologie in Deutschland**



► Quelle: Diekämper, J./Hümpel, A. (2012): Synthetische Biologie. Eine methodische Einführung. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:56.

### Zur Geschichte der Synthetischen Biologie (Kapitel 3; Heiner Fangerau)

Aus einer wissenschaftshistorischen Perspektive, die ein Zeitfenster von 150 Jahren betrachtet, zeigt Heiner Fangerau deutliche Parallelen hinsichtlich einer „synthetischen“ Biologie zwischen den Zeiträumen 1880 bis 1920 und 1970 bis 2010 auf. Es handelt sich dabei um mehr als nur begriffliche Ähnlichkeiten zwischen dem damaligen und heutigen Verständnis des Forschungsfeldes. Vielmehr bestehen erhebliche konzeptionelle Übereinstimmungen. Diese zeigen sich am deutlichsten in der Gegenüberstellung des „engineering ideals“ eines Jacques Loeb und der heutigen Synthetischen Biologie mit ihrem an Design und am Ingenieurwesen orientierten technischen Ideal. Insgesamt finden sich zusätzlich auch in den begleitenden öffentlichen medialen Debatten beachtenswerte Parallelitäten zwischen den Stellungnahmen um 1900, den 1970er Jahren und heute. Zuletzt ist die heute oftmals postulierte andere Qualität der Synthetischen Biologie im Vergleich zur Gentechnologie ebenfalls zu hinterfragen, da gerade diese für die Synthetische Biologie zumindest eine wichtige Traditionslinie darstellt.

Die epistemologische Orientierung der heutigen Synthetischen Biologie scheint sich von dem um 1900 für die Biologie formulierten und 1970 wiederholten synthetischen Erkenntnisinteresse nicht entfernt, sondern vielmehr verlagert zu haben. Während Biologen um 1900 das synthetische Wissen als Königsweg des „way of knowing“ für sich entdeckt zu haben glaubten und in den 1970er und 1980er Jahren genau dieser Weg der Wissensgenerierung wieder bemüht wurde, hat sich das Erkennt-

nisinteresse der aktuellen Synthetischen Biologie in vielen Stellungnahmen anscheinend auf den „way of working“ reduziert: Das gelungene und funktionierende Konstruieren von Biosystemen steht über der Frage nach den Grundlagen und Bedingungen des Lebendigen. Geblieben ist dabei das Ideal der Kontrolle von Lebensprozessen, das um 1900 aus der Technikeuphorie der sogenannten Moderne erwuchs und das heutige und damalige Forschende zu einen scheidet.

Die heutige Synthetische Biologie bringt damit nicht den häufig bemühten „Paradigmenwechsel“ innerhalb der Biologie im engeren Sinne Thomas Kuhns mit sich. Im Gegenteil folgt sie dem konzeptionellen und methodischen „Paradigma“, das schon gegen Ende des 19. Jahrhunderts in den Lebenswissenschaften um sich griff und erfolgreich Fuß gefasst hat. Die Synthetische Biologie des frühen 21. Jahrhunderts folgt in dieser Sichtweise den Ansprüchen, die an eine etablierte Normalwissenschaft in der Tradition der „Technischen Biologie“ des 19. und der Biotechnik des 20. Jahrhunderts gestellt werden.

Gleiches gilt für die gesellschaftliche Kritik an der Synthetischen Biologie, die sich um 2000 nur unwesentlich von der um 1900 geübten unterscheidet. Kritische Stimmen, die Natur, eine natürliche Ordnung oder die Grundfesten dessen, was als Leben gilt, durch eine Synthetische Biologie gefährdet sehen, gab es um 1900 ebenso wie heute. Neu hinzugetreten sind Sorgen, die eine Kommerzialisierung und konkrete Gefahren wie den Bioterrorismus durch synthetische Bakterien oder Viren aus dem Labor in den Blick nehmen. Allerdings sind deren oft formulierte „postmoderne“ Qualitäten angesichts des hier gegebenen Überblicks über die Synthetische Biologie zumindest ebenso zu hinterfragen wie der postulierte Paradigmenwechsel.

Die Traditionslinien der heutigen Synthetischen Biologie, ihre Postulate, ihre Begriffe, ihre Legitimation und Kritik lassen sich bis mindestens ins 19. Jahrhundert zurückverfolgen. Die Unterschiede scheinen allein im Bereich des technischen Könnens, nicht im technischen Denken an sich zu liegen.

## **Chemisch-Synthetische Biologie** (Kapitel 4; Nediljko Budisa)

Nediljko Budisa beschreibt die Synthetische Biologie aus dem Blickwinkel der Chemie, die neuartige biologische Systeme unter Verwendung von unnatürlichen (nicht-kanonischen) chemischen Verbindungen zu entwickeln sucht. Der deutsche Chemiker Emil Fischer sprach in diesem Sinne bereits Anfang des 20. Jahrhunderts von einer zukünftigen „chemisch-synthetischen Biologie“, die den Metabolismus lebender Zellen verändern werde, um organische Verbindungen mit gänzlich neuen Eigenschaften zu gewinnen.

Die hohe natürliche Komplexität der Vorgänge in lebenden Zellen ist dabei eine Herausforderung für die rationale Konstruktion von biologischen Systemen, wie sie die Synthetische Biologie generell anstrebt. Sogenannte Top-down-Verfahren zielen darauf ab, diese Komplexität und damit einhergehende unerwünschte Interferenzen für experimentelle Anwendungen zu verringern. Prominent ist hier die Reduzierung von Genomgrößen hin zu einem Minimalgenom. Minimalgenome – und entsprechend Minimalzellen – würden nur noch über die kleinstmögliche Ausstattung an Genen verfügen, die zur Erhaltung von grundsätzlichen Systemfunktionen notwendig ist. Ein Beispiel für ein solches Minimal-system ist das Chemoton-Model, das auf einer chemischen Denkweise basiert und ein stabiles, sich selbst erhaltendes (autopoietisches) System beschreibt. Es wird einem definierten Set an Kriterien des

„Lebendigen“ gerecht und kann als Modellsystem für jede Art von biologischem System – wenn auch auf einer sehr grundsätzlichen Ebene – herangezogen werden. Das Modell hat dabei nicht den Anspruch das Phänomen „Leben“ in seiner Gänze zu erklären, aber gibt einen klar definierten experimentellen Rahmen für die Chemisch-Synthetische Biologie.

Die Komplexität von natürlichen Organismen erlaubt ihnen die Anpassung an eine Vielzahl von Umweltbedingungen. Diese sogenannte Robustheit kann für chemisch-synthetische Ansätze ausgenutzt werden: Zellen können vollkommen neue Eigenschaften entwickeln, wenn sie naturfremde chemische Verbindungen in ihren Metabolismus integrieren müssen. Die für die biologische „Verarbeitung“ solcher Verbindungen notwendige Umwidmung von nativen Enzymen und anderen Proteinen schlägt sich auf der sie kodierenden DNA-Ebene in Form von stabilen Mutationen nieder. In einem experimentellen Ansatz wurde zum Beispiel durch künstliche Selektion im Bakterium *Escherichia coli* erfolgreich die DNA-Base Thymin durch die Chlorverbindung 5-Chloruracil ersetzt.

Die vier Basen Adenin (A), Thymin (T), Cytosin (C) und Guanin (G) sind die universellen Bausteine jeder natürlichen DNA. Ihre Abfolge im DNA-Strang kodiert die spezifischen Proteine und damit die spezifischen Charakteristika eines jeden Organismus. Der Codierungsmechanismus – der genetische Code – ist dabei universell für (fast) alle bekannten Organismen. Es kann von einem „Standardreperoire“ von nur 20 kanonischen Aminosäuren gesprochen werden, aus denen sich die natürlich vorkommenden Proteine über alle Arten hinweg zusammensetzen.

Modifizierende Eingriffe in diese grundsätzliche Chemie des Lebens sind ein diffiziles Unterfangen. Im oben angesprochenen Beispiel behielten die Bakterien die Fähigkeit bei, neben dem 5-Chloruracil auch weiterhin Thymin in ihre DNA einzubauen. Das letztendliche Ziel der Chemisch-Synthetischen Biologie ist die Entwicklung von Systemen, die auf die substituierten natürlichen Komponenten gerade nicht mehr zurückgreifen können und stabil getrennt vom natürlichen Kontext existieren. Solche Systeme könnten zukünftig zu einem zusätzlichen Sicherheitselement biologischer Forschung werden, da ihnen die universellen Informationsstrukturen fehlen, die alle natürlichen Organismen miteinander teilen. Der Austausch von genetischer Information zwischen natürlichen und gentechnisch veränderten Zellen wird damit durch eine Art „genetischer Firewall“ unterbunden. Damit kann die Synthetische Biologie nicht nur zu einem besseren Verständnis von Lebensprozessen in Zellen beitragen, sondern auf längere Sicht auch eine gezielte Entwicklung von neuen, sicheren biotechnischen Applikationen ermöglichen.

## **Therapeutische Perspektiven der Synthetischen Biologie** (Kapitel 5; Natascha Hotz, Wilfried Weber)

Bereits heute sind eine große Anzahl an unterschiedlichsten biologischen Komponenten in Zellen in ihrer Struktur und Funktion charakterisiert. Diese können als „biologische Bausteine“ im synthetischen Ansatz zu neuen Biosystemen mit bestimmten Zieleigenschaften kombiniert werden. Hotz und Weber stellen in ihrem Beitrag eine wichtige Gruppe dieser biologischen Bauteile vor: Sogenannte molekulare Schalter erlauben die Aktivität von Genen in Zellen künstlich zu steuern. Molekulare Schalter nutzen (Repressor-)Proteine, die gezielt an Gene binden und damit deren Expression künstlich beeinflussen. Gene werden – je nach Art des verwendeten Schalters – blockiert oder auch umgekehrt gerade aktiviert.

Durch Zugabe spezifischer Signalmoleküle können die Proteine wieder von der DNA abgelöst und die Genaktivität normalisiert werden. Solche synthetischen Schalter bilden die molekulare Basis für die im Beitrag präsentierten Fallbeispiele für zukünftige medizinische Anwendungen.

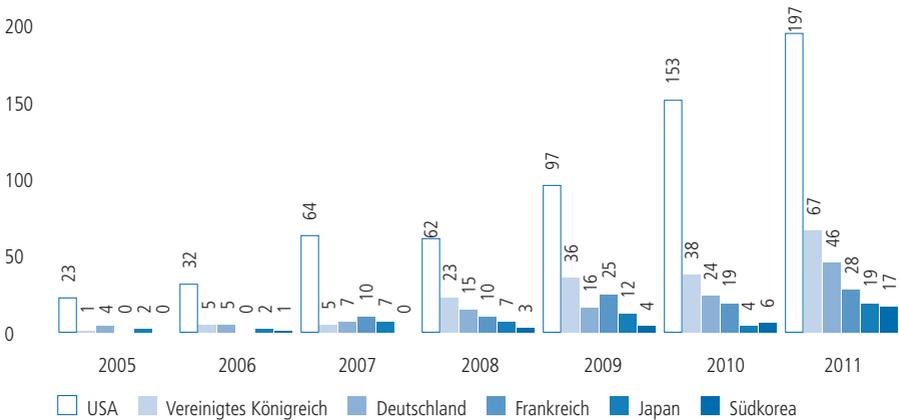
Ein wichtiges Anwendungsgebiet ist die Entwicklung von effizienten Testsystemen (sogenannte Screening-Verfahren) für die Identifizierung von neuartigen pharmakologischen Wirkstoffen. Ziel ist es, Substanzbibliotheken auf bestimmte – zum Beispiel antibiotische – Eigenschaften hin mit wenig Aufwand und Zeit zu durchsuchen. So wurde ein molekularer Schalter entwickelt, der sensitiv auf Streptogramin-Antibiotika reagiert – in Anwesenheit von Substanzen mit Streptogramin-Aktivität wird ein ausgesuchtes Zielgen über den Schalter aktiviert („angeschaltet“). Gekoppelt an ein Zielgen, dessen Aktivität sich im Labor leicht (z. B. über eine Farbreaktion) nachweisen lässt, erlaubt es die Suche nach neuen Streptograminen im Hochdurchsatzverfahren. Außerdem erlaubt das auf menschlichen Zelllinien basierte Testsystem erste Aussagen zur Toxizität und Zellgängigkeit der identifizierten Wirkstoffe.

Molekulare Schalter werden aber nicht nur zur Identifizierung neuer Wirkstoffe eingesetzt, sondern können auch Resistenzen gegen bewährte Arzneimittel bekämpfen, die zunehmend die Behandlung von bakteriellen Infekten im Gesundheitswesen erschweren. Ein wichtiges Beispiel ist die Tuberkulose, die weltweit jedes Jahr fast zwei Millionen Todesopfer fordert. Ein für die Tuberkulosebehandlung unentbehrliches Medikament ist Ethionamid. Hier wurde ein molekularer Schalter entwickelt, der auf einem bekannten Resistenzmechanismus des Tuberkulose-Erregers *Mycobacterium tuberculosis* gegen Ethionamid aufbaut und für die Entdeckung von Substanzen genutzt wurde, die in der Lage sind, genau diesen Resistenzmechanismus zu unterdrücken. Ein einfacher Lebensmittelaromastoff, 2-Phenyl-ethylbutyrat, wurde dabei identifiziert, der die Resistenz gegen Ethionamid im Tuberkuloseerreger erfolgreich abzuschalten vermochte und die Wirksamkeit des Medikaments erhielt. Vergleichbare Schalter sind denkbar, die für andere Antibiotika eingesetzt werden können, um hier langfristig Resistenzen zu überwinden.

Neben der Wirkstoffforschung sind auch synthetische Schalter für die Behandlung von Krankheiten denkbar. Ein bereits im Mausmodell mit Erfolg getesteter molekularer Schalter könnte zum Beispiel zukünftig die Behandlung von Gicht verbessern. Die krankhaft erhöhte Harnsäurekonzentration der Mäuse konnte erfolgreich über einen synthetischen Regelkreis auf einen niedrigen, physiologisch notwendigen Wert verlässlich eingestellt werden. Das Potenzial der synthetischen Schalter reicht aber über den biologischen Rahmen hinaus. Aktuell werden synthetische Ansätze auf die Materialwissenschaften angewendet, um „intelligente Materialien“ mit extern steuerbaren Eigenschaften zu entwickeln, die zum Beispiel im biomedizinischen Bereich als Medikamentendepots eingesetzt werden können und die dosierte, passgenaue Abgabe von Medikamenten ermöglichen.

Die hier vorgestellten Studien zeigen aktuelle Entwicklungen der Synthetischen Biologie für die biomedizinische Anwendung. Einige dieser Ansätze haben bereits Eingang in die kommerzielle Nutzung gefunden, andere befinden sich noch in der experimentellen Erforschung, aber gemessen an den rasanten Fortschritten der Synthetischen Biologie im letzten Jahrzehnt (Abbildung 2) ist zu erwarten, dass in nicht allzu ferner Zukunft innovative Lösungsansätze aus der Synthetischen Biologie für die Prävention und Therapie von Krankheiten zur Verfügung stehen werden.

**Abbildung 2: Anzahl an Artikeln zur Synthetischen Biologie in der internationalen Fachpresse**



► Quelle: abgeändert nach Hümpel, A./Diekämper, J. (2012): Daten zu ausgewählten Indikatoren. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:264–265.

### Philosophische Implikationen der Synthetischen Biologie (Kapitel 6; Kristian Köchy)

Für eine philosophische Betrachtung des „Forschungsprogramms“ der Synthetischen Biologie spielen eine Reihe von Aspekten eine Rolle: von konkreten methodischen Fragen, vom Ethos der mitwirkenden Wissenschaftsgemeinde bis hin zu denjenigen philosophischen Konzepten, an denen sich die Disziplin orientiert. Ein wichtiger Punkt ist dabei der wissenschaftliche „Denkstil“, der die Ideale und das Selbstverständnis der Forschungsrichtung beschreibt. Die Synthetische Biologie wird hier stark vom Ideal des technischen Konstruierens beherrscht. Es kann eine Verschiebung von einem biologischen hin zu einem ingenieurwissenschaftlichen Denkstil beobachtet werden, der einen Wandel im Verständnis des wissenschaftlichen Arbeitens und Strebens in der Biologie mit sich zieht. Entsprechend wird die Synthetische Biologie oft als neue Ingenieurbiologie umschrieben.

Typisch ist dabei die pragmatische Eingrenzung von Forschungsfragen auf das technisch Lösbare. Mit diesem Pragmatismus wird nicht mehr vollständiges Wissen über Lebensprozesse vorausgesetzt, um sie nachbauen zu können. In zweiter Spielrichtung bringt der ingenieurwissenschaftliche Denkstil auch eine rationale Planung von Leben „am Reißbrett“ mit, die eine gesteigerte Effizienz gegenüber der klassischen Gentechnologie verspricht. Dieses Forschungsverständnis weist viele Elemente des anthropologischen Konzepts des Homo faber auf, das den Menschen als Hersteller und in Bemächtigung über die Natur sieht. Die angestrebte Gestaltung von neuartigen biologischen Systemen bringt aber nicht nur den neuen technischen Aspekt der Synthetischen Biologie deutlicher zur Geltung, sondern wird auch als Beleg für die Richtigkeit der zugrunde liegenden Modelle herangezogen, und es wird ein erhöhter

Anspruch auf die Gestaltungskraft über die Natur formuliert. Dieser neue ingenieurwissenschaftliche Denkstil ändert dabei nicht nur das Verständnis von den zu erfüllenden Forschungsaufgaben, sondern sukzessive auch das Verständnis der ganzen Disziplin, möglicherweise sogar der Biologie insgesamt.

Trotz der Bedeutung des Technischen für die Synthetische Biologie und ihres technischen Verständnisses des Lebendigen sind die Forschungsziele und Forschungsobjekte hier an ihren biologischen Rahmen gebunden. Es werden zwar Analogien zu technischen Artefakten und Maschinen bemüht, aber dennoch müssen sich die Forschungsansätze an ihren biologischen Modellen orientieren sowie Designprinzipien und Eigenschaften von explizit biologischen Materialien berücksichtigt werden.

Die philosophische Diskussion um Organismus-Maschinen-Vergleiche ist nicht neu und hat von jeher die Grenzen der Biologie überschritten. Für den in der Synthetischen Biologie oft gezogenen Vergleich von Organismus und Maschine ist dabei festzuhalten, dass sich hier gerade durch den Wandel der philosophischen Maschinenkonzepte in den letzten Jahrzehnten eine Besonderheit der Synthetischen Biologie ausdrückt. Maschinen können allgemein als künstliche, durch den Menschen entworfene Gebilde gesehen werden, die zu einem definierten Zweck konzipiert wurden. Dabei haben sich die Vorstellungen, was eine Maschine ist, über die Zeit gewandelt: von antiken klassischen Energiewandlern hin zu den heutigen kybernetischen Maschinen. Während klassische Maschinen die Energieleistung von Organismen nachahmen und verstärken, stehen bei kybernetischen Maschinen Informationen im Vordergrund. Sie können Leistungen vollbringen, die gegenüber klassischen Maschinen qualitativ anders gelagert sind und eine andere philosophische Auseinandersetzung erfordern – gerade im Hinblick auf die Synthetische Biologie. Es werden nicht mehr simple Maschinen zur Deutung von Organismen herangezogen, sondern gerade umgekehrt organismische Abläufe zum Vorbild für ein neues Verständnis von komplexen Maschinen.

### **Der Stand der ethischen Diskussionen um Synthetische Biologie** (Kapitel 7; Johannes Achatz, Martin O'Malley, Peter Kunzmann)

Im Beitrag von Johannes Achatz, Martin O'Malley und Peter Kunzmann werden die aktuellen Konfliktfelder der Synthetischen Biologie aufgezeigt, die einer konkreten ethischen Aufmerksamkeit bedürfen. Was also ist neu an ethischen Herausforderungen durch die Synthetische Biologie? Erstens ist das Erkenntnisinteresse an der Funktion und Standardisierung biologischer Teile und Systeme, verbunden mit dem Ziel der Nach- und Umgestaltung ein Schritt, der Synthetische Biologie weiter in Richtung Ingenieurwissenschaften trägt und eine Integration anderer Hilfswissenschaften, von der Informatik bis zur Medizin, zur Folge hat. Daraus folgt die noch bevorstehende Entwicklung neuer Formen des Lebens und neuer Anwendungen, die, sollte sich der Erfolg einstellen, bekannten Regelungen für die Gentechnologie entschlüpfen könnten. Ein erwartungsvolles „wait and see“ wird daher staatlicherseits eingenommen, verbunden mit einem Monitoring der Entwicklungen im Bereich der Synthetischen Biologie, wie es in Deutschland etwa die Zentrale Kommission für die Biologische Sicherheit am Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit zur Aufgabe hat.

Zweitens kann der offene Charakter der Synthetischen Biologie und das Forschungsinteresse von Laien, die ihre Freizeit am privaten Labortisch verbringen, als relevante Neuerung gefasst werden.

Beides sind Chancen für eine freie und transparente Wissenschaft, bergen aber zugleich auch die Gefahr des Missbrauchs. In Form von Biosafety, Biosecurity und gerechten Zugangsmöglichkeiten zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen und wirtschaftlichem Nutzen neuer Techniken drücken sich diese neuen Chancen und Risiken aus.

Drittens können zwei Intuitionen, „Bioskonservatismus“ und „Bioliberalismus“, als äußere Pole ausgezeichnet werden, die diesen Wandel der Biowissenschaften zu einer Synthetischen Biologie entweder rundherum ablehnen oder ihn vollumfänglich gutheißen und zwischen denen sich die Haltungen verschiedener Interessengruppen einordnen lassen. Beide Positionen sind unvereinbar. Sie sind jedoch Kernelemente für die Beurteilung von Fragen nach der Philosophie des Lebens, nach gerechter Verteilung der Vor- und Nachteile Synthetischer Biologie und sie bezeichnen die Eckpunkte von Diskussionen, etwa um die Patentierbarkeit von Formen des Lebens.

Viertens sind Beschreibung und Bewertung Synthetischer Biologie noch in einem Stadium des „Framings“, in dem verschiedene Akteure bemüht sind, eine Deutungshoheit über das neue Forschungsfeld zu erlangen. Gerade die in „Drittens“ genannten Punkte sind Gegenstand dieses notwendigen gesellschaftlichen Prozesses der begrifflichen Fassung des neuen Forschungs- und Anwendungsbereichs der Synthetischen Biologie.

Um gegenüber diesen ethischen Herausforderungen schon im frühen Stadium der Synthetischen Biologie gewappnet zu sein, empfiehlt es sich, die verschiedenen Interessengruppen zu berücksichtigen und ein Mindestmaß an Transparenz zu etablieren, das Gegnern wie Befürwortern erlaubt, sich ein Bild über den Stand der Forschung zu machen. Ebenfalls empfiehlt es sich, etwa über geeignete Diskursmaßnahmen einen Überblick über Positionen betroffener Interessengruppen einzuholen, bevor einschneidende Regelungen für den Umgang mit Synthetischer Biologie getroffen werden. Auf diese Weise kann sichergestellt werden, dass die vielversprechenden Aussichten der Synthetischen Biologie auch gefahrlose Anwendung finden können und ihre Vor- wie Nachteile gesamtgesellschaftlichen Nutzen erbringen.

## **Eine Verhältnisbestimmung von Theologie und Synthetischer Biologie aus ethischer Sicht** (Kapitel 8; Hille Haker)

Die öffentliche Berichterstattung über die Synthetische Biologie setzt oft und unkritisch auf christlich-religiöse Bilder – wie der des Gott spielenden Wissenschaftlers, welcher leichtfertig mit der Schöpfung im Labor experimentiert. Der wissenschaftlich-theologischen Perspektive auf die aktuelle biotechnologische Forschung werden diese Metaphern aber kaum gerecht. Hille Haker stellt den ethischen Rahmen der katholischen Soziallehre für die Bewertungen der modernen Biotechnologie vor und weitet ihn prospektiv auf die Synthetische Biologie aus.

Die Theologische Ethik versteht sich gerade nicht als pauschal wissenschaftsabwehrend, sondern beruft sich auf eine biblisch fundierte, positive Interpretation von Wissenschaft, die einen verantwortlichen und lebensdienlichen Umgang mit Mensch und Natur pflegt. Moderne Technologien werden von der Kirche begrüßt, insofern sie im Einklang mit den Grundsätzen der kirchlichen Soziallehre stehen und Werten wie der Würde des Menschen und dem globalen gesellschaftlichen Gemeinwohl gerecht werden.

Auch wissenschaftlich-technische Eingriffe an lebenden Organismen, wie sie im Kontext der Biomedizin oder Biotechnologie oder eben auch der Synthetischen Biologie erfolgen (können), unterliegen diesen Prüfungskriterien. Dabei ist eine umfassende Analyse von wissenschafts- und sozialetischen Aspekten, die auch mögliche Gefahren und Alternativen sowie Gerechtigkeitsfragen berührt, unerlässlich, um die Verantwortbarkeit einer Technologie aus theologischer Sicht zu argumentieren.

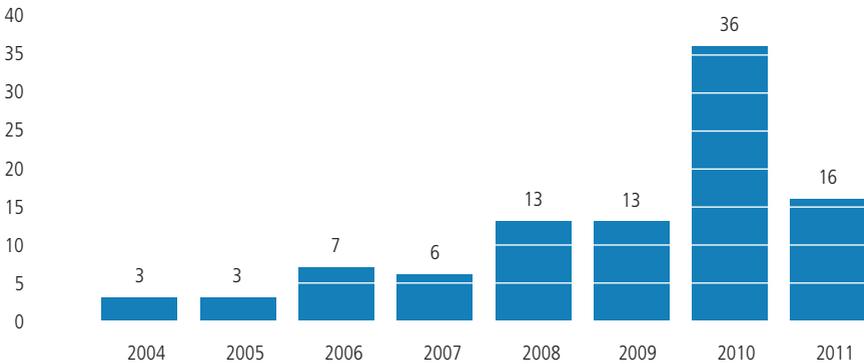
Eine offizielle Stellungnahme der katholischen Kirche zur Synthetischen Biologie steht noch aus, aber es kann von einer grundsätzlich positiven Beurteilung ausgegangen werden. Es gibt keine kategorischen theologischen Argumente gegen die Synthetische Biologie. Sie hat einen selbstverständlichen Platz, wo sie – aus der Perspektive der katholischen Soziallehre – verantwortliche Forschung betreibt. Allerdings sollte explizit nicht von *der* Synthetischen Biologie ausgegangen werden, da die Disziplin eine Vielzahl unterschiedlichster Forschungsansätze unter einem Dach vereint. Die zukünftigen Entwicklungen dieser noch jungen Disziplin müssen individuell in ihren komplexen globalen Zusammenhängen bewertet werden.

Exemplarisch zeigt sich das am synthetisch hergestellten Anti-Malariamittel Artemisinin. Nicht bestritten werden kann die hohe gesellschaftliche Relevanz von kostengünstigen Medikamenten, vor allem für schwere Infektionskrankheiten wie Malaria. Allerdings kann es nicht bei dieser einseitigen Begründung dieses Forschungsprojekts bleiben, denn die synthetische Herstellung des Medikaments ist weder medizinisch noch ökonomisch eine Notwendigkeit. In einem größeren gesellschaftlichen Kontext betrachtet stellt sich die Frage, ob das synthetische Artemisinin den Landwirten, die sich auf den Anbau von Beifußpflanzen zur natürlichen Artemisingewinnung spezialisiert haben, nicht die Existenzgrundlage rauben wird. Zudem werden zunehmende Artemisinin-resistente Malariastämme beobachtet, die die Wirksamkeit des Medikaments für die Malariatherapie reduzieren. Nur eine umfassende Analyse von wissenschaftlichen und sozialetischen Aspekten kann für den Einzelfall das Verhältnis von Theologie und Synthetischer Biologie bestimmen.

## Die Synthetische Biologie in den Medien (Kapitel 9; Julia Diekämper)

Julia Diekämper diskutiert die Darstellung der Synthetischen Biologie in den deutschen Medien anhand ausgewählter Zeitungs- und Zeitschriftenartikel, die in den letzten 15 Jahren zum Thema erschienen sind. Die Presse hat das Thema erst in den letzten Jahren verstärkt aufgegriffen (Abbildung 3). Ein beständiges Element der öffentlichen Berichterstattung ist dabei – ähnlich wie in der innerwissenschaftlichen Debatte – die fachliche Verankerung der Disziplin innerhalb der Biowissenschaften, wobei sich die Anfänge sowie das konkrete Forschungsanliegen der Synthetischen Biologie in den ausgewählten Artikeln sehr heterogen präsentieren. Insgesamt muss für die Leserschaft unscharf bleiben, was die Synthetische Biologie denn nun genau ist und will. Es treten allein die Konturen einer „jungen Disziplin“, die mit „Gentechnik“ und dem „synthetischen Machen“ von Leben im Labor zu tun hat, übergreifend hervor.

**Abbildung 3: Anzahl an Presseartikeln über die Synthetische Biologie in Deutschland**



► Quelle: Hümpel, A./Diekämper, J. (2012): Daten zu ausgewählten Indikatoren. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:267.

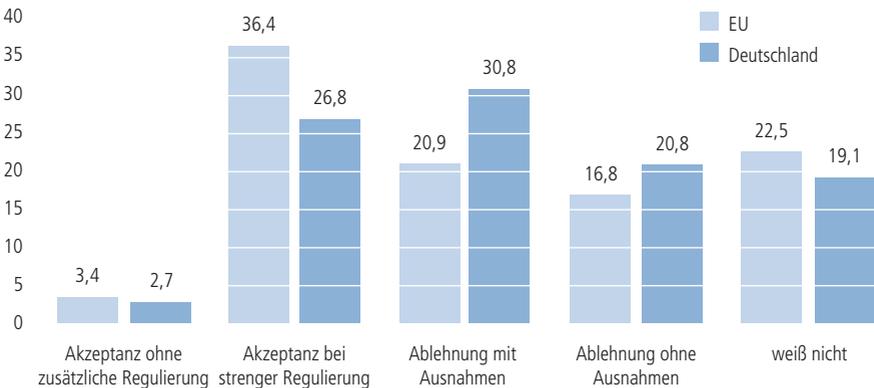
Auffällig ist auch die Betonung eines aus den Ingenieurwissenschaften entlehnten methodischen Zugriffs. Biologische Fragen scheinen zu technischen Fragen reduziert, bei der Leben als die Summe seiner einzelnen Bauteile verstanden wird, die beliebig ausgetauscht und kombiniert werden können für zukunftsweisende Anwendungen in Medizin, Umweltschutz oder Landwirtschaft. Da konkrete Produkte aktuell noch ausstehen, wird das Potenzial der Synthetischen Biologie in der Mehrheit der Artikel genauso weitläufig wie vage umschrieben. Dennoch ist gerade die Beschreibung der Möglichkeiten der Disziplin ein eindrückliches Motiv der öffentlichen Berichterstattung.

Die Artikel spielen auch mehrheitlich mit Verweisen auf christliche Motive. Vor allem die Schöpfungsgeschichte wird bemüht und die porträtierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler werden wahlweise anmaßend oder naiv-leichtfertig im Umgang mit einer göttlichen Schöpfung dargestellt: Die Genesis wird zum Projekt erklärt, neue Lebewesen am Reißbrett geplant, mit Genen wie mit Bauklötzchen im Kinderzimmer gespielt. Diese verwendeten Sprachbilder stellen dabei keine ethische oder theologische Auseinandersetzung mit der Synthetischen Biologie dar, es sind Schlagzeilen. Diese religiösen Motive sind aber gleichzeitig tradierte Vorstellungen, die der Leserschaft vertraut und mit moralischen Vorstellungen verknüpft sind, auch wenn diese im weitestgehend säkularisierten 21. Jahrhundert an Eindeutigkeit verloren. Angewandt auf die Synthetische Biologie wirken sie als „verkürzte Argumente“, die neue Sinnzusammenhänge schaffen und die öffentliche Wahrnehmung und Bewertung der Disziplin mitprägen. Religions-kulturelle Assoziationen werden generiert, die Wertevorstellung über das Verhältnis von Mensch und Natur betreffen. Gepaart mit der unklaren medialen Darstellung bieten diese Raum für Ängste und Misstrauen in die Forschung im Bereich der Synthetischen Biologie, die Leben mit Hybris oder spielerischer Naivität zu begegnen scheint. Es wird klar, dass die Medien in ihrer Präsentation der Synthetischen Biologie neue Bedeutungszusammenhänge transportieren und die öffentliche Meinung zur Disziplin in Deutschland mitprägen.

## Synthetische Biologie – eine unbekannte Technologie (Kapitel 10; Jürgen Hampel)

Jürgen Hampel beschreibt die aktuelle öffentliche Wahrnehmung der Synthetischen Biologie in Europa mit einem besonderen Augenmerk auf Deutschland. Die präsentierten Daten beruhen auf der Meinungsumfrage „Europeans and Biotechnology in 2010“ der Europäischen Kommission und belegen, dass die Synthetische Biologie noch nicht im Bewusstsein der europäischen Bevölkerung angekommen ist. Im Durchschnitt hatten vier von fünf Befragten noch nie von dem Forschungsfeld gehört. Für die wenigen, die mit dem Begriff etwas anfangen konnten, war sie weder Thema in der Alltagskommunikation noch stieß sie auf besonderes Interesse. Gefragt nach einer möglichen Befürwortung der Disziplin ergab sich ein leicht positives Meinungsbild in Europa. Die unregulierte Zulassung war eine Minderheitenposition, aber jeder Zweite konnte sich eine streng regulierte Synthetische Biologie oder zumindest die Zulassung von begründeten Ausnahmen vorstellen. In Deutschland wurde die Synthetische Biologie jedoch insgesamt weniger positiv gesehen (Abbildung 4). Kein anderes Land im europäischen Vergleich bewertete die Disziplin ablehnender.

**Abbildung 4: Einstellungen zur Synthetischen Biologie in Deutschland und Europa (in Prozent)**



► Quelle: Hampel, J. (2012): Synthetische Biologie – eine unbekannte Technologie. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:249.

Des Weiteren wurde der Informationsbedarf der Öffentlichkeit für Entscheidungen zur Synthetischen Biologie ermittelt. Es zeigte sich, dass für die Befragten hier europaweit Aspekte zu den möglichen Vorteilen und Risiken im Vordergrund standen. Von untergeordneter Bedeutung waren Finanzierung oder Regulierung sowie ethische oder soziale Fragen. Wenig Informationsbedarf bestand ebenfalls zu den wissenschaftlichen Techniken der Synthetischen Biologie – ganz im Gegensatz zur klassischen These, dass Informationen über eine Technologie ihre öffentliche Akzeptanz fördern. Die Analyse legte auch

nahe, dass für die Synthetische Biologie ein ausgeprägter Wunsch nach gesetzlicher Regulierung in der Bevölkerung besteht: Acht von zehn Europäerinnen und Europäern sahen hier den Staat in der Verantwortung, nicht den Markt. Im europäischen Durchschnitt zeigte sich dabei eine klare Präferenz für eine an technisch-wissenschaftlichen Kriterien orientierte Regulierung. Anders in Deutschland: Hier waren neben diesen Kriterien auch ethisch-moralische Aspekte als Entscheidungsgrundlage wichtig. Ebenfalls im Gegensatz zum europäischen Trend wurde in Deutschland die Einbeziehung der Mehrheitsmeinung der Bevölkerung gegenüber dem Rat von ausgewiesenen Sachverständigen bei Entscheidungsprozessen zur Synthetischen Biologie bevorzugt.

Die zukünftige Entwicklung der gesellschaftlichen Wahrnehmung der Synthetischen Biologie ist zurzeit noch offen, aber die präsentierten Daten geben Hinweise auf einige Rahmenbedingungen. Offensichtlich ist, dass die Disziplin in Deutschland – wie auch Europa – eine noch unbekannte Technologie ist, die nicht vorbehaltlos unterstützt wird. Wenn die Synthetische Biologie eine breite gesellschaftliche Bekanntheit und Akzeptanz erreichen will, wird sie sich gesellschaftlich legitimieren müssen. Im Dialog mit der Öffentlichkeit kann es aber dabei nicht nur um die Vermittlung der wissenschaftlichen Fakten der Synthetischen Biologie gehen. Die Wissenschaftskommunikation befindet sich hier im Wandel: Technologiepolitische Entscheidungsprozesse können nicht mehr nur auf technisch-wissenschaftlichen Kriterien begründet werden – es gilt die Öffentlichkeit miteinzubeziehen und ethische Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

### **Daten zu ausgewählten Indikatoren** (Kapitel 11; Anja Hümpel, Julia Diekämper)

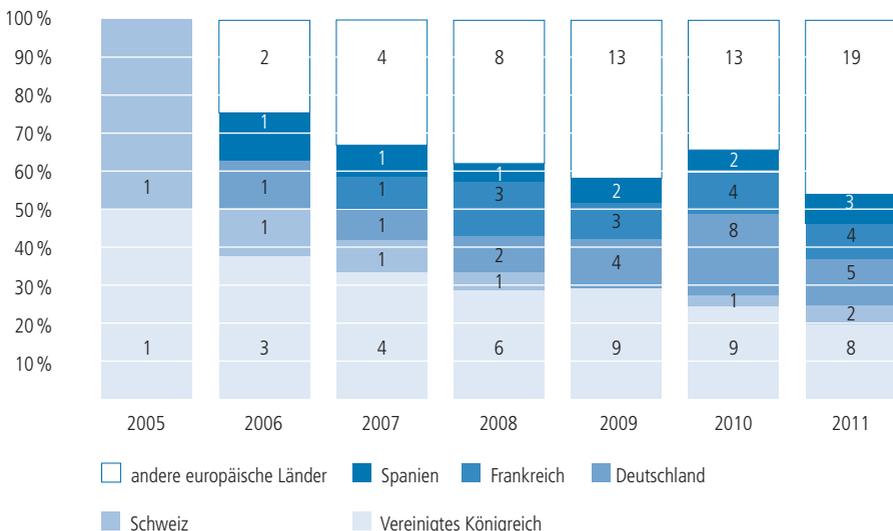
Die besondere Aufgabe des „Gentechnologieberichts“ und seiner Themenbände besteht darin, das komplexe Feld der Gentechnologie in Deutschland in einer messbaren und repräsentativen Form für fachlich Interessierte aufzuschließen. Qualitative Beschreibungen von einschlägigen Sachverständigen werden deshalb in der Publikationsreihe des „Gentechnologieberichts“ mit einem sozialwissenschaftlich motivierten Langzeit-Monitoring verknüpft. Aktuelle Problemfelder der Synthetischen Biologie wurden ermittelt und mithilfe relevanter Indikatoren quantitativ beschrieben. Allerdings lassen sich generell nicht allen Problemfeldern in gleichem Ausmaß geeignete Indikatoren zuordnen, oder es fehlen verlässliche empirische Daten. Für die Synthetische Biologie im Besonderen erweist sich die relative „Neuheit“ des Fachgebietes und die noch nicht beendete Debatte um dessen eigentlichen Charakter als problematisch. Verfügbare empirische Daten werden (noch) nicht dezidiert dem Themenbereich der Synthetischen Biologie zugeordnet. Hier wird nur ein langfristiges Monitoring die Entwicklungen der Disziplin abbilden können. Gegenwärtig verfügbares Datenmaterial für die Synthetische Biologie in Deutschland wird in standardisierten Datenblättern präsentiert und zeigt, dass die Synthetische Biologie erst in den letzten Jahren verstärkt Forschungsaktivitäten und öffentliche Aufmerksamkeit in Deutschland erfahren hat:

- ▶ Einschlägige Publikationen aus Deutschland lassen sich in der internationalen Fachpresse erst ab 2005 verfolgen, aber steigen seitdem kontinuierlich an.
- ▶ Im renommierten jährlichen internationalen Studentenwettbewerb der Synthetischen Biologie „iGEM“ sind Teams aus Deutschland seit 2006 vertreten. Der Wettbewerb verzeichnet seit seinem

Entstehen 2004 kontinuierlich eine jährlich steigende Beteiligung an Teams aus der ganzen Welt. Die Anzahl der deutschen Teams stieg bis 2010 ebenfalls an, um dann 2011 wieder abzufallen (Abbildung 5).

- ▶ Das Thema ist in der öffentlichen Berichterstattung generell unterrepräsentiert. Einschlägige Presseartikel lassen sich erst seit 2004 finden. Ihre Anzahl ist in den letzten Jahren gestiegen mit einem ausgewiesenen Höhepunkt in 2010 – dem Jahr, in dem der US-Amerikaner J. Craig Venter seine Ergebnisse zu einem künstlich synthetisiertem bakteriellen Genom publikumswirksam veröffentlichte.
- ▶ Analog lassen sich einschlägige Buchpublikationen erst ab 2009 und nur in geringer Anzahl finden.
- ▶ Es werden aktuell vom BMBF keine dezidierten Forschungsprojekte zum Thema Synthetische Biologie gefördert. Es wird nur im geringen Umfang begleitende Forschung zu gesellschaftlichen und ethischen Aspekten gefördert. Jedoch ist Deutschland seit 2002 in eine steigende Anzahl an EU-geförderten Projekten zur Synthetischen Biologie involviert.
- ▶ Die Bundesregierung und Sachverständigenkommissionen sehen die aktuelle Forschung im Bereich der Synthetischen Biologie übereinstimmend innerhalb des in Deutschland geltenden gesetzlichen Rahmens. Das Forschungsgebiet wird in seinen möglichen Risiken der bisherigen gentechnologischen Forschung gleichgesetzt. Jedoch wird die hohe Dynamik und Heterogenität der Synthetischen Biologie betont und eine unabhängige Beobachtung und gegebenenfalls erweiterte Kontrollmaßnahmen empfohlen.

**Abbildung 5: Anzahl europäischer Teams im internationalen Studentenwettbewerb „iGEM“**



Gesamtanzahl N internationaler Teams im Wettbewerb pro Jahr: N = 13 für 2005, N = 37 für 2006, N = 54 für 2007, N = 77 für 2008, N = 102 für 2009, N = 117 für 2010, N = 142 für 2011. ▶ Quelle: Hümpel, A./Diekämper, J. (2012): Daten zu ausgewählten Indikatoren. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:272.

## **Kernaussagen und Handlungsempfehlungen** (Interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“)

### **Fachliche Verortung**

Der Sammelbegriff „Synthetische Biologie“ bezeichnet gegenwärtig eine Vielzahl heterogener Forschungsprojekte und Forschungsansätze, deren gemeinsames Ziel es ist, biologische oder artifizielle Systeme auf biologischer Basis im Labor zu entwerfen, nachzubauen oder zu modifizieren. Diese technische Gestaltung soll auf verschiedenen Ebenen erfolgen – von einzelnen Molekülen bis hin zu kompletten Biosystemen.

Auch in den Reihen der involvierten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler existiert derzeit kein Konsens über die Definition der Synthetischen Biologie, über ihre Abgrenzungen und Bezugnahmen zu verwandten Disziplinen und insbesondere zur Gentechnologie, aber auch zur Systembiologie, Nanobiotechnologie, Materialwissenschaft oder fachübergreifenden „converging technologies“. Ähnliches gilt für die Bestimmungen aus der Metaperspektive von Wissenschaftsorganisationen oder Interessenverbänden. Um die aktuellen Debatten möglichst umfassend abzubilden, hat die Arbeitsgruppe Gentechnologiebericht daher den Rahmen für ihr Monitoring der Synthetischen Biologie weit aufgestellt.

In der Summe ist die Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Konstruktionsprinzipien und eines entsprechenden „Denkstils“ für die Disziplin kennzeichnend („Ingenieurbiologie“). Das Forschungsanliegen ist somit nicht nur ein besseres Verständnis von biologischen Prozessen oder eine Legitimation (system-)biologischer Modelle durch Nachbau, sondern auch die Entwicklung neuartiger biotechnischer Anwendungen.

Die Synthetische Biologie befördert Konzepte der Standardisierung und Automation biotechnischer Fertigungsprozesse im Sinne rationaler Planbarkeit von Produktionszielen. Daneben drückt sich im leitenden Ideal jedoch auch das Paradigma einer pragmatisch ausgerichteten – gewissermaßen „bastelnden“ – Ingenieurbiologie aus, das die innovativen Momente des Ansatzes unterstreicht, sowie in der Tendenz eine Aktivität von biologischen Laien begünstigt.

### **Zukunftsperspektiven**

Die Synthetische Biologie definiert sich momentan vor allem über ihre zukünftigen Potenziale in den Bereichen Umweltschutz, Energieversorgung, chemisch-technische Produktion oder Medizin. Bereits heute sind biomedizinische Anwendungen absehbar, die neue Wege in der Prävention und der Therapie von Krankheiten eröffnen, wie zum Beispiel für Malaria oder Gicht.

## Öffentliches Bild

Die Synthetische Biologie ist in der öffentlichen Berichterstattung gegenwärtig nur ein randständiges Thema und ihre Darstellung ist von vagen und teilweise gegensätzlichen Aussagen geprägt, was die Abgrenzung zur Gentechnologie, das Forschungsanliegen und mögliche ökologische sowie moralische Risiken betrifft.

Entsprechend ist die Synthetische Biologie in der deutschen Bevölkerung noch weitgehend unbekannt. Die Meinungen zu diesem Forschungszweig basieren mehrheitlich nicht auf konkreten Vorstellungen über die hier stattfindende Forschung, sondern vielmehr auf allgemeinen Erwartungen und Wertvorstellungen. Bedeutsam ist hierbei – wie in verwandten Entwicklungen auch (etwa im Kontext der Nanotechnologie) – die fließende Grenze zwischen den Bereichen „science“ und „fiction“ mit einer sich eröffnenden Schere zwischen positiven und negativen Zukunftsszenarien.

Die Synthetische Biologie wird gegenwärtig in Deutschland nicht mehrheitlich akzeptiert. Die Entwicklung einer breiteren öffentlichen Akzeptanz wird davon abhängig sein, ob es gelingt, im öffentlichen Diskurs nicht nur die wissenschaftlichen Grundlagen der eingesetzten Verfahren zu erklären, sondern auch deren möglichen Nutzen, wobei ethische Bedenken angemessen zu berücksichtigen sind.

## Philosophische und ethische Implikationen

Die ethische Relevanz der Synthetischen Biologie ist wegen der derzeit noch unklar strukturierten Forschungslage offen. Neben wichtigen grundsätzlichen Fragen, die alle biotechnologischen Innovationen betreffen (etwa allgemeine Risikofragen von „biosafety“ und „biosecurity“ oder Fragen zur Verteilungsgerechtigkeit), sind konkretere, über den Bereich der ethischen Debatten zur Gentechnologie hinausgehende Problemfelder derzeit nicht zu erkennen. Mit der Erweiterung über gentechnologische Verfahren hinaus können sich jedoch neue ethische Problemfelder ergeben. Diese können künftig eine eigenständige ethische Debatte zur Synthetischen Biologie erforderlich machen.

Neben konkreten Forschungen hat insbesondere das allgemeine Postulat einer Erzeugung von Leben im Labor auch ethisch begründete Einwände gegen die Synthetische Biologie generiert. Angesichts der derzeitigen Techniken sind solche Postulate einer Neukonstruktion von Leben zwar faktisch wenig überzeugend, die bekundete Absicht besitzt nichtsdestotrotz ethische Relevanz. Zudem ergeben sich weniger aus den existierenden Verfahren, mehr jedoch aus den sie begleitenden Behauptungen grundsätzliche Fragen nach dem durch die Synthetische Biologie getragenen Lebensbegriff. Wo Befürworter große Gewinne für das wissenschaftliche Verständnis vorhersehen, befürchten Gegner einen molekularbiologisch verengten Lebensbegriff oder eine auf technische Gestaltung und Nutzbarkeit eingeschränkte Perspektive.

Die durch die Synthetische Biologie beförderte technomorphe Deutung von Lebensprozessen erlaubt modelltheoretisch betrachtete bedeutsame Erklärungsleistungen für Lebensprozesse. Als simple Gleichsetzung von Organismus und Maschine liefert sie jedoch nur eine kurzschlüssige Konzeptualisierung, die insbesondere den Rückgriff auf die Selbstorganisationsleistungen lebender Systeme in der Synthetischen Biologie ausblendet. Mit der zunehmenden Ausrichtung am Ingenieurideal kündigt sich ein Wandel

im Verständnis der Funktion von Biologie an – als eines Werkzeugs für ingenieurtechnische Fragen –, was neben einer wissenschaftsphilosophischen oder -politischen Bedeutung auch (als Wandel gängiger Normen des Forschungsethos) mögliche ethische Relevanz besitzt.

### **Wissenschaftspolitischer Regelungsbedarf**

Die gegenwärtige Forschung im Bereich der Synthetischen Biologie fällt in den rechtlichen Rahmen für gentechnologische Forschung. Darüber hinaus reichende technische Entwicklungen werden gegenwärtig durch die Zentrale Kommission für Biologische Sicherheit (ZKBS) beobachtet, um den gesetzlichen Regelungsbedarf festzustellen.

Wissenschaftspolitische Regelungen für Forschung, Patente und Applikationen der Synthetischen Biologie sollten über einen offenen und transparenten gesellschaftlichen Diskurs begleitet werden. Insbesondere die Frage der Patentierung von biologischen Systemen ist mit erhöhter Sensibilität von der Forschungsgemeinde zu verhandeln. Hier spielen die weitgehende Ablehnung der Patentierung von Lebewesen sowie auch Fragen der Verteilungsgerechtigkeit eine Rolle.

Die durch die Synthetische Biologie tendenziell beförderte Laienforschung eröffnet neue Möglichkeiten der Partizipation und Transparenz. Sollte sich diese Entwicklung bestätigen, dann erfordert sie jedoch durch ihre Ablösung von den üblichen Fachorganisationen und deren Standesethos in politischer, rechtlicher und ethischer Hinsicht auch besondere Aufmerksamkeit.



## Abstracts

With their new thematic volume – presented here in summarised form – the Interdisciplinary Research Group “Gene Technology Report” of the Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities turns its attention to synthetic biology, a topic that remains largely ignored by the general public. Particularly fascinating here are the ongoing disagreements as to exact nature of synthetic biology, in addition to which research methods should be concretely recognised in this field. Does this indeed reflect the emergence of a new kind of biological engineering? After introducing the factual (chapter 1) and methodological (chapter 2) frameworks, the issue is discussed in a critical fashion from a scientific-historical perspective in connection with synthetic-technical traditions in biology (chapter 3). After that, the current state of scientific knowledge is elucidated with a focus on chemical-synthetic research methodologies (chapter 4), as well as new applications in biomedical science (chapter 5). Using an interdisciplinary approach, the Interdisciplinary Research Group also discusses new philosophical (chapter 6) and ethical (chapter 7 and 8) implications that arise in association with synthetic biology. Lastly, the topic of the public’s perception of this discipline is addressed, both in related contemporary media reports (chapter 9), as well as in a survey of German and European public opinion (chapter 10). As is customary, these substantive remarks are supported by quantitative data in the form of indicators (chapter 11). The individual contributions are complemented by joint key statements and recommendations for action by the members of the Interdisciplinary Research Group “Gene Technology Report”.

### What is synthetic biology? (chapter 1; Kristian Köchy)

In this latest thematic volume, the Interdisciplinary Research Group “Gene Technology Report” of the Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities turns its attention to the contemporary research field of synthetic biology. In doing so, one key question had to be answered: can this discipline still be considered to fall within the sphere of gene technology, and as such, is it an appropriate research focus for the “Gene Technology Report” to tackle? Media coverage of this topic and the self-perception of some researchers in this field tend to portray the innovative qualities of synthetic biology as indisputable. Significantly, the associated scientific fields and humanistic reflections are more reserved in their assessments of this specialist area. Nevertheless, depending on how synthetic biology is actually perceived – either as the normal progression of the field of gene technology, or as a distinct new line of research – further questions emerge with respect to the quality of synthetic biology research activities and the implications of such projects in a societal context. The Interdisciplinary Research Group “Gene Technology Report” thus chose the unresolved question of the relationship between gene technology and synthetic biology as an important focus of its ongoing monitoring tasks. The individual contributions presented in this thematic volume follow this leitmotif, each with its own different perspective on developments in the field of synthetic biology.

The self-proclaimed goal of synthetic biology is to construct and to study complex biological systems, the structures and functions of which do not exist in the natural world. In doing so, an interdisciplinary approach is followed that purposely links biological methods with procedures and concepts emanating

from other fields of science. Perhaps the most important aspect here is exactly how the discipline intends to interface with the engineering sciences. In technical biological engineering terms, the aim is to newly construct or to completely redesign whole cells or micro-organisms from scratch in the laboratory with the aid of rational, data-driven planning methods. This is often understood as a “drawing board” approach, rather than an ad-hoc gene technological process. Beyond this rational design approach, however, there is also a school of thought within synthetic biology circles that endorses the exact opposite ideal of pragmatic and creative trial-and-error methodologies. Synthetic biology is often contrasted with fundamental research, despite the fact that contemporary research methodology does not clearly differentiate between fundamental research and applications. Activities involving the reproduction, manipulation and redesign of genes can flow seamlessly between the various components of a single research endeavour. Moreover, even today large portions of the field of synthetic biology itself still fall under the category of fundamental research.

The extent of genetic intervention – from manipulating individual genes to redesigning complete biological systems – and the increasing disregard for nature’s model can be drawn on to classify individual methods with the goal of demonstrating the adequate potency of synthetic biology, even above and beyond the confines of “classical” gene technology. Still, such delineations should be seen in relative terms, particularly against the backdrop of recent developments within the sphere of gene technology in favour of ever more comprehensive “-omics” approaches, on whose basis entire classes of molecules can be analysed in a single experiment (e.g. DNA molecules, proteins or selected metabolites).

The constructive, systemic orientation of synthetic biology implies an especially close relationship with systems biology, a discipline that holistically examines and devises models of complex processes in organisms. In a throwback to the classical methodological ideal in chemistry that differentiated between analytical and synthetic chemistry approaches, data acquired from systems biology are considered to be the foundation of synthetic biology methodologies, even though as stated above, their boundaries can be quite blurred.

In view of the large number of designations used to describe synthetic biology, it might be concluded that any continued disagreement on a suitable categorisation of synthetic biology is simply too theoretical and ultimately counterproductive in the real world of research. Seen in this light, synthetic biology would be nothing more than a promising new process that combines various methodologies. This point of view stands nonetheless in contrast to assertions coming from other quarters claiming that synthetic biology is singly *the* most novel and innovative research agenda, one that will revolutionise our current understanding of biological research. It would therefore be more prudent to first acknowledge the heterogeneous nature of the discipline, which would then allow for more open discourse on the subject. The aim here is not to define the lowest common denominator, but rather to comprehensively describe the diverse programmes, methods and specific objectives that comprise the field of synthetic biology (Table 1). In this sense, the present thematic volume portrays the various perspectives and ongoing research activities in Germany today, as well as their interrelationships.

**Table 1: Possible classifications of synthetic biology research activities**

classification according to methodology categories:
▶ bottom-up method – top-down method – chassis method – orthogonal method
classification according to application categories:
▶ fundamental research – applied research
classification in Germany according to customary biotechnology application areas:
▶ red – green – white – grey – blue synthetic biology
classification according to concrete branches of research:
▶ DNA synthesis, synthetic genomes – genetic circuits, synthetic oscillators, signal transduction systems, cell-cell systems – metabolic pathway engineering – constructing biosensors by way of protein engineering – protocells – minimal genome – xenobiology
classification according to level of complexity of the specific research focus:
▶ basic biomolecular building blocks – simple assembling of basic building blocks – functional units at macromolecular level – self-assembling units – self-replicating biological systems
classification according to biological complexity:
▶ prokaryotes/eukaryotes – unicellular/multi-cellular organisms
classification according to “divergence from nature”:
▶ natural systems – artificial systems – hybrids
classification according to technical objectives:
▶ mimetic methods – constructive-modified methods – optimising methods
classification according to an engineering science concept:
▶ blueprinting – bricolage/tinkering
classification according to paradigms and models:
▶ meta-analyses outside the theoretical framework of purely natural science concepts

▶ Source: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.) (2012): Zusammenfassung. In: dies.: Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:14.

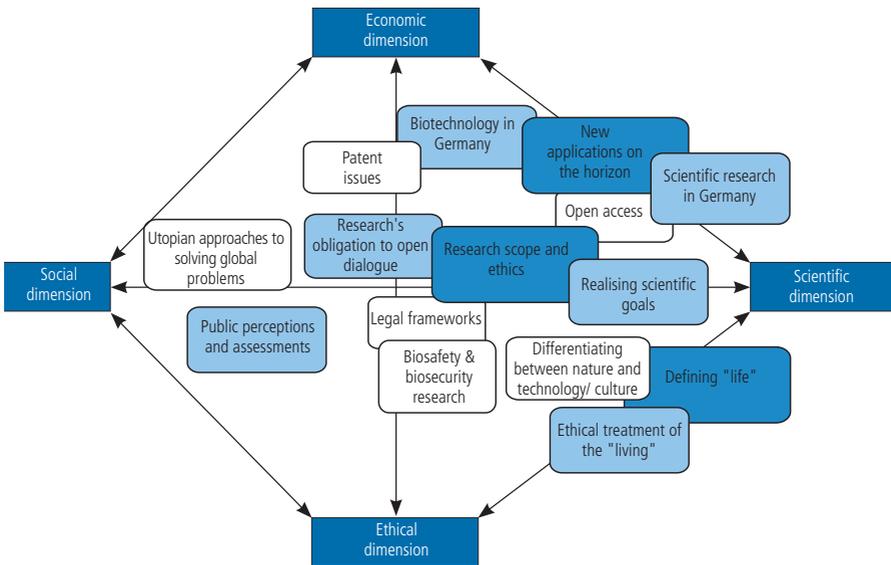
**Synthetic biology in Germany. A methodological introduction** (chapter 2; Julia Diekämper, Anja Hümpel)

Given its broad range and rapidly developing facets, it is difficult to readily gain a clear overview of gene technology as an element of modern bioscience. While certain applications such as biomedicine continue to find acceptance in Germany, other research paradigms remain highly controversial. Critics and supporters find little common ground when debating the associated scientific risks, the “inviolability” of life, and the scientific benefits and social disadvantages. This is where the “Gene Technology Report” serves a very useful purpose: it independently and impartially reports current developments in gene technology,

as well as in the methodologically-linked neighbouring disciplines in Germany. The aim is to construct a framework for unprejudiced discourse. One important aspect of this approach is a long-term monitoring scheme based on socio-scientific methods.

These monitoring tasks focus on so-called problem areas; these are the basis for carrying out structured analyses of the complex conflicts and application areas related to the individual topics addressed in the "Gene Technology Report". These thematic clusters are shaped by the various topics that are the object of public discourse in Germany, insofar as they pertain to a specific area of interest. Significantly, the framing of the research field of gene technology and what it potentially entails (Figure 1) – still a nascent and vaguely defined discipline – remains a prominent problem area in Germany. The defining of a "concept of life" constitutes a third important problem area.

**Figure 1: Current problem areas in the field of synthetic biology in Germany**



► Source: Diekämper, J./Hümpel, A. (2012): Synthetische Biologie. Eine methodische Einführung. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:56.

In view of the fact that the identified problem areas raise numerous complex issues, in a second step they are framed in the context of suitable indicators. In this context, indicators denote empirical, directly-determinable parameters that are purposely linked to a specific problem area and that serve to formulate an objective description. In this way it is possible to verify different aspects of a problem area on the basis of quantifiable data and to document this information over the long term. Indicator-based methods ensure objective and continuous scrutiny of developments in gene technology in Germany.

All the same, it is not possible to classify all problem areas according to suitable indicators, or the required measurement data do not exist or are inaccessible. For synthetic biology in particular, the relative “novelty” of this specialist field – one that has only recently gained public awareness – and the aforementioned debates addressing the question “just what is synthetic biology?”, tend to shed a somewhat negative light on this discipline. The currently-available data on this specific field remain underdeveloped in comparison with other areas of gene technology. This discrepancy is addressed in the qualitative descriptions presented in this present thematic volume.

### **Synthetic biology – An historical perspective** (chapter 3; Heiner Fangerau)

From an historical-scientific perspective spanning a timeframe of 150 years, Heiner Fangerau documents the distinct parallels with regard to “synthetic” biology that existed between 1880 to 1920 and 1970 to 2010. These parallels go far beyond any simple conceptual similarities between past and present understandings of this research field. In point of fact, many of these concepts are more or less identical. This becomes particularly apparent when the “engineering ideals” as put forward by Jacques Loeb are juxtaposed against contemporary synthetic biology, with its principles of design and technical-engineering-oriented approaches. On the whole, the accompanying public debates in the media reveal a notable parallelism between the statements made around 1900, in the 1970s, and today. And lastly, the “singular” quality of synthetic biology versus gene technology that is often purported nowadays also needs to be brought into question – since at the very least – it represents a long-standing and important traditional argument in favour of synthetic biology.

The epistemological orientation of contemporary synthetic biology does not appear to diverge from the synthetic epistemological orientation formulated within biology circles around 1900 and echoed in the 1970s – it has merely shifted. Although at the beginning of the 20th century biologists believed they had discovered synthetic knowledge as the prime “way of knowing”, and then in the 1970s and 1980s again sought to follow this path to knowledge creation, the epistemological interest in contemporary synthetic biology as formulated in numerous public statements is often reduced to a simple “way of working”, inferring that a successful and functioning biosystem construct trumps all questions related to the foundations and conditions of life itself. What remains is the view that life processes need to be controlled, a principle that emerged around 1900 from the technological euphoria of the so-called modern era, indeed a belief that both past and present researchers seem to share.

Contemporary synthetic biology has not been able to engender the frequently invoked “paradigm shift” in biology in a narrower sense as intended by Thomas Kuhn. On the contrary, the discipline’s conceptual and methodological paradigms took hold and successfully established themselves in the realm of life science towards the end of the 19th century. Now as the 21st century progresses, synthetic biology maintains this standpoint in its claims of being an established “normal” field of science in the tradition of the “technical biology” of the 19th century and biotechnology of the 20th century.

The same also applies for concerns voiced by civil society regarding synthetic biology, criticisms that changed little between 1900 and 2000. Just as today, critical voices around 1900 saw synthetic biology as a threat to nature, the natural order and its foundations, and even the concept of life itself. Now there

are fresh concerns about commercialisation and concrete bioterrorism threats stemming from synthetic bacteria or viruses escaping from laboratories. On the other hand, the post-modern character of certain condemnations of synthetic biology also need to be critically scrutinised, and at least to the same extent as the postulated paradigm shift.

The historical perspectives of contemporary synthetic biology, its postulates, its terminology, its legitimacy and condemnation can be traced back to the 19th century or even earlier. The only ascertained differences appear to fall exclusively within the sphere of technical know-how, not in the realm of technological thinking.

## **Chemical synthetic biology** (chapter 4; Nediljko Budisa)

Nediljko Budisa describes synthetic biology from a chemist's point of view, specifically a discipline that seeks to develop new biological systems with the aid of unnatural (non-canonical) chemical compounds. In the early 20th century, German chemist Emil Fischer similarly alluded to the prospects of "chemical-synthetic biology", which might be able to alter the metabolism of living cells and to create organic compounds with completely new characteristics.

The high natural complexity of processes occurring in living cells represents a challenge when attempting to rationally construct biological systems, indeed the general aim of synthetic biology. So-called top-down procedures seek to minimise this complexity and to thus reduce any related undesirable interference in experimental applications. A key feature here is a reduction in genome size in order to obtain minimal genomes. Minimal genomes and corresponding minimal cells would only retain the smallest-possible gene configuration required to maintain basic system functions. The chemoton model is an example of such a minimal system based on chemistry principles, one that describes a stable, self-sustaining (autopoietic) system. It complies with a specific set of criteria that define "life" and can be used as a model system for any type of biological system – even if only at a very fundamental level. The model does not pretend to explain the phenomenon of "life" in its entirety, but it does provide a clearly-defined experimental framework for chemical synthetic biology.

The complexity of natural organisms makes it possible to adapt them to a broad range of environmental conditions. This robustness can be exploited in chemical-synthetic methods, in that the cells are able to develop entirely new properties when forced to integrate non-natural chemical compounds into their metabolism. The re-designating of native enzymes and other proteins required for the biological "processing" of such compounds is reflected at the coding DNA level in the form of stable mutations. In one experiment, through artificial selection in the *Escherichia coli* bacterium, it was possible to successfully replace the DNA base thymine with the chlorine compound 5-chlorouracil.

The four nitrogenous bases adenine (A), thymine (T), cytosine (C) and guanine (G) are the universal building blocks of every natural DNA. Their sequence in the DNA strand acts to code the specific proteins and thereby the specific characteristics of each individual organism. This coding mechanism – the genetic code – is universal for (nearly) all known organisms. The "standard repertoire" here comprises only 20 canonical amino acids, from which naturally-occurring proteins are composed across all species.

Any intervention aiming to modify this basic chemistry of life is a difficult task. In the aforementioned example the bacteria maintained the ability not only to integrate 5-chlorouracil into their DNA, but thymine as well. The ultimate goal of chemical synthetic biology is to develop systems that lose their ability to fall back on substituted natural components and that can survive in a stable manner when separated from their natural context. Such systems can provide additional safety mechanisms for future biological research, in that the universal information structures shared by all natural organisms no longer exist. Here, the exchange of genetic information between natural and genetically modified cells is prevented by a kind of “genetic firewall”. In this way synthetic biology not only contributes to a better understanding of life processes in cells, over the long term its controlled development can lead to safe new biotechnical applications.

### **Therapeutic perspectives in synthetic biology** (chapter 5; Natascha Hotz, Wilfried Weber)

Numerous highly diverse biological cell components have already been characterised in terms of their structures and functions. Using a synthetic approach these components can be combined as “biological building blocks” to achieve new biosystems possessing certain desired properties. In their article, Hotz and Weber present an important group of such biological components: So-called molecular switches make it possible to artificially control gene activity in the cells. Molecular switches make use of (repressor) proteins, which purposely bind to the genes, thereby exerting an artificial influence on their expression. Depending on the type of switch, genes can be either blocked or deliberately activated. By admixing specific signalling molecules the proteins can be detached from the DNA and the gene activity normalised. Synthetic switches of this kind serve as the molecular basis for the case studies presented in the article with regard to future medical applications.

One important application area focuses on developing efficient testing systems (so-called screening procedures) that are able to identify new pharmacological agents. The goal here is to quickly and easily search substance libraries for certain properties, for instance to identify a certain antibiotic effect. One such molecular switch that reacts sensitively to streptogramin antibiotics has already been developed. When coupled with a target gene, whose activity can be easily proven in the laboratory (e.g. via colour reaction), it is easier to carry out high through-put screening for new candidate substances possessing streptogramin activity. Because this in-vitro screening system is based on human cell lines, it also allows for an initial assessment of the identified substances in terms of their toxicity towards, and their ability to permeate into human cells.

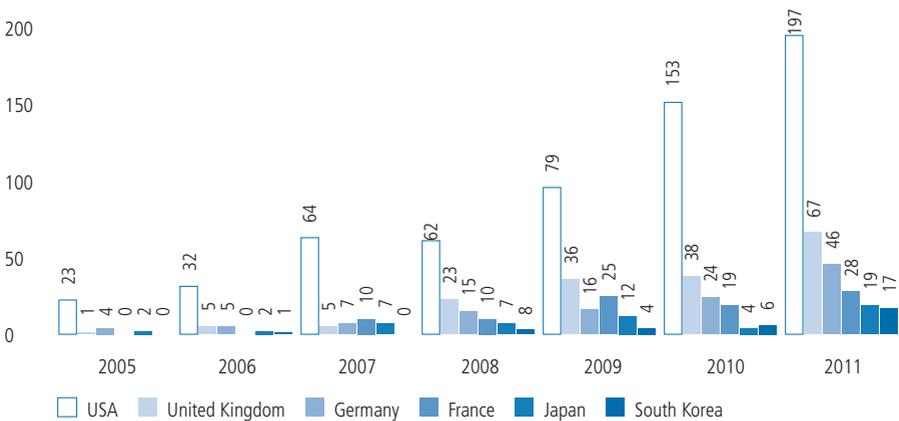
Molecular switches not only serve to identify new drug substances, they can also be used to counter resistance to established drugs, a phenomenon that is increasingly hampering the treatment of bacterial infections in the health care system. Tuberculosis is one important example of this, a disease responsible for nearly two million deaths each year worldwide. Ethionamide is an indispensable drug in the treatment of tuberculosis. One molecular switch has been developed that targets a known resistance mechanism of the tubercular pathogen *Mycobacterium tuberculosis* versus Ethionamide, and which is able to identify substances that can suppress this exact resistance mechanism. A simple food flavouring substance, 2-phenylethyl-butyrate, has been identified that can successfully switch off resistance to

Ethionamide in the tuberculosis pathogen, thereby preserving drug efficacy. It is possible that comparable switches might be used for other antibiotics in order to overcome long-term drug resistance.

In addition to drug substance research, the use of synthetic switches is also conceivable in the treatment of certain diseases. One molecular switch already successfully tested in the mouse model might be deployed in the future to expand gout treatment options. In this study – with the aid of a synthetic circuit – pathologically elevated concentrations of uric acid in mice were reliably adjusted to a lower, physiologically acceptable value. In fact, the potential of synthetic switches extends beyond the biological sphere. Synthetic approaches to the material sciences are currently being deployed to develop smart materials with properties that can be controlled externally and be used as drug depots in area of biomedicine to accurately dose medications.

The studies presented here shed light on ongoing developments in synthetic biology and its uses in biomedical applications. Some of these methods have already gained acceptance for commercial use, while others remain the subject of experimental research. Nevertheless, given the terrific pace at which progress has been made in synthetic biology over the past decade (Figure 2), it can be expected that synthetic biology will identify innovative solutions that can then be exploited to prevent and to treat certain diseases in the not-too-distant future.

**Figure 2: Number of publications on synthetic biology in international scientific journals**



► Source: modified from Hümpel, A./Diekämper, J. (2012): Daten zu ausgewählten Indikatoren. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg.

## Philosophical implications of synthetic biology (chapter 6; Kristian Köchy)

Numerous aspects play a role in any philosophical contemplation of the “research programme” that is synthetic biology: from concrete methodology-related issues to the professional ethos of the involved scientific community to the very philosophical concepts upon which the discipline is based. One important concern here is the scientific “mentality” that is used to describe the ideals and self-image of this line of research. Synthetic biology is dominated by the ideal of technical design. A shift from biological methodology to an engineering approach can be observed, and in its wake a change in the basic understanding of the scientific activities and aspirations within biology itself. Accordingly, synthetic biology is often described as a new kind of biological engineering.

Typical for this approach is a pragmatic limiting of research questions to the technically feasible. Such pragmatism no longer requires a comprehensive knowledge of life processes as a prerequisite to redesigning them. For another school of thought, this engineering mentality also implies a rational “drawing-board” planning approach to life, with its promises of improved efficiency versus classical gene technology. This underlying perception of the purpose of research entails many elements of the anthropological *Homo faber* concept of man as the creator holding dominion over nature. The envisaged design of novel biological systems not only puts greater emphasis on the newly adopted technical aspects of synthetic biology, it is also put forward as proof of the soundness of the underlying models, in addition to increased claims of man’s prerogative to hold sway over the natural world and to even alter it at will. This new engineering science mentality not only alters the perception of which research tasks need to be carried out, it also gradually changes the perception of the entire discipline, and perhaps even of biology as a whole.

Despite the significance that technical aspects hold for synthetic biology and its technical understanding of “the living”, the related research goals and research objects remain oriented to their biological frameworks. Even though attempts have been made to draw analogies between technical artefacts and machines, such research approaches must nevertheless remain oriented to their biological models and adhere to the design principles and characteristics of explicit biological materials.

The philosophical discussion surrounding comparisons between organisms and machines is not new and seems to have always transcended the boundaries of biological discourse. As for the comparison that is often made in synthetic biology circles between organisms and machines, it should be noted that such changes in the philosophical approach to machine concepts over past decades reflect a characteristic that is indeed specific to synthetic biology. Machines can generally be viewed as purpose-built, artificial human-designed devices. The concept of how machines are defined has nevertheless changed over time: ranging from ancient classical energy converters to contemporary cybernetic machines. While classical machines mimic and amplify the energy performance of organisms, information is the focus of cybernetic machines. They perform in a way that is qualitatively different from classical machines, one that necessitates another category of philosophical discourse – particularly in relation to synthetic biology. Any consideration of organisms should not be limited to the concept of simple machines. On the contrary, it is indeed the organismic processes themselves that should serve as the model for any new understanding of complex machines.

**Current status of ethical discussions surrounding synthetic biology** (chapter 7; Johannes Achatz, Martin O'Malley, Peter Kunzmann)

In their contribution, Johannes Achatz, Martin O'Malley and Peter Kunzmann describe the areas of ongoing conflict in synthetic biology that are worthy of concrete ethical consideration. So just what is new in terms of the ethical challenges facing synthetic biology? Firstly, an epistemic interest in the function and standardising of biological components and systems, whose ultimate goal is to duplicate and redesign any step that further propels synthetic biology in the direction of engineering science, as well as to integrate other ancillary sciences ranging from computer science to medicine. It follows that any creation of new forms of life and new applications, if successful, would no longer be subject to concrete gene technology regulations. Governments have assumed a hopeful wait-and-see stance in this regard, but are also monitoring developments in the field of synthetic biology, as in the case in Germany with its Central Committee on Biological Safety of the Federal Office of Consumer Protection and Food Safety.

Secondly, the open nature of synthetic biology and numerous laypersons conducting research in private are indeed remarkable innovations. Both represent opportunities for free and transparent science endeavours, but also entail the risk of abuse. The opportunities and risks associated with these new technologies include issues of biosafety, biosecurity, and maintaining equitable access to new scientific knowledge and related economic benefits.

Thirdly, the two intuitive approaches of "bioconservatism" and "bioliberalism" can be distinguished as the most extreme positions. In the context of the ongoing transformation of bioscience into synthetic biology, there are factions that either reject such developments outright or that embrace them with open arms, with the standpoints of the various interest groups falling within these two poles. Both are incompatible positions. Nevertheless, they remain the core elements of any assessment of philosophical concept-of-life questions and endeavours to ensure the equitable distribution of both the benefits and disadvantages of synthetic biology; they are also the key points for discussions on such issues as the patentability of forms of life.

Fourthly, the descriptions and assessments of synthetic biology are still in the framing stage, with the various actors determined to gain interpretational sovereignty over this new research field. The same points cited above in "Thirdly" are also the focus of the necessary social process of delineating a framework for this new research and application area of synthetic biology.

In order to properly face the ethical challenges posed in these early stages of synthetic biology, it is recommended that all the different interest groups be taken into account and that a minimum of transparency be established, which will give both opponents and supporters an exact picture of the actual state of research. It is also recommended that the standpoints of the involved interest groups be fully documented, for instance through suitable discursive measures, before agreeing to any restrictive regulations for synthetic biology. In this way it can be ensured that the promising prospects of synthetic biology are implemented safely and that the related advantages and disadvantages are well understood by the general public.

## Defining the relationship between theology and synthetic biology – An ethical perspective (chapter 8; Hille Haker)

Public reporting on synthetic biology often imparts generally uncritical and Christian-religious motifs, for instance God-playing scientists carelessly experimenting with God's creation in the laboratory. Such metaphors are hardly suited to gaining a scientific-theological perspective on current biotechnology research. Hille Haker describes the role of ethical framework of the Church's social doctrine in assessing modern biotechnology and prospectively expands this approach to include synthetic biology.

Theological ethics does not aim to summarily dismiss science, but rather to invoke Bible-founded positive interpretations of science reflecting responsible and life-affirming approaches to man and nature. The Church welcomes modern technologies insofar as they are compatible with the tenets of the Church's social doctrine and values, for instance human dignity and the good of global society as a whole. Moreover, any scientific-technical intervention in living organisms, such as those initiated in the context of biomedicine, biotechnology or synthetic biology (even theoretically), are also subject to these same assessment criteria. Any debating of technological accountability from a theological point of view thus requires a comprehensive analysis of the pertinent scientific and socio-ethical aspects, in addition to the potential risks, alternatives and fairness issues.

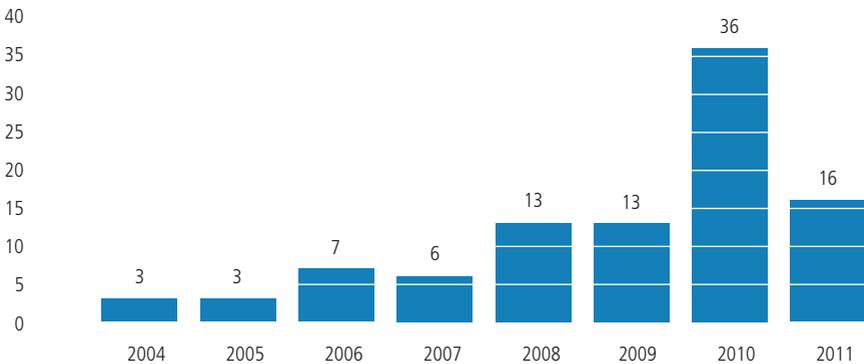
The Catholic Church has not yet issued an official opinion on synthetic biology, although a generally positive assessment is to be expected nevertheless. There are no purely theology-based arguments against synthetic biology. It will assume its rightful place, where – from the perspective of Catholic social teaching – it is to carry out responsible research activities. This does not imply, however, that synthetic biology in and of itself is a unified discipline, since in actual fact it combines numerous different research approaches under a single aegis. Future developments in this still young discipline must be assessed both on individual merit, as well as in complex global contexts.

A prime example here is the synthetically-produced, anti-malarial drug artemisinin. The high social relevance of inexpensive malaria medications is undeniable, particularly in dealing with serious infectious diseases such as malaria. Nevertheless, in view of the fact that the synthetic manufacture of this drug is not absolutely necessary, neither for medical nor for economic reasons, the one-sided rationale for this research project should not be simply accepted without criticism. Viewed in a broader social context, the question arises of whether artemisinin is putting at risk the means of subsistence of those farmers who have specialised in growing mugwort plants from which the naturally-occurring artemisinin is extracted. Moreover, certain malaria strains continue to develop resistance to artemisinin, which in turn reduces the efficacy of the drug's active substance in malaria therapy. In each individual case, only a comprehensive analysis of the scientific and socio-ethical aspects will be able to properly characterise the relationship between theology and synthetic biology.

## Synthetic biology in the media (chapter 9; Julia Diekämper)

In describing how synthetic biology is presented in the German media, Julia Diekämper draws on selected newspaper and magazine articles that have appeared on this topic over the past 15 years. It was only a few short years ago that the press started to regularly cover this issue (Figure 3). Similar to the debates taking place within the scientific community itself, one consistent component of such public reporting is how the topic is portrayed as a discipline that is already firmly anchored in the biosciences, despite the fact that – in the selected articles – the origins and concrete research interests of synthetic biology are presented in a remarkably heterogeneous manner. Generally speaking, readers are not able to acquire a clear sense of the true nature of synthetic biology, nor of what it purports to be. Catchwords such as a “young discipline” using “gene technology” to “synthetically create” life in the laboratory are common.

**Figure 3: Number of published press reports on synthetic biology in Germany**



► Source: Hümpel, A./Diekämper, J. (2012): Daten zu ausgewählten Indikatoren. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:267.

What is also remarkable here is the emphasis on methodological approaches “borrowed” directly from the engineering sciences. The tendency is to reduce biological questions to strictly technical ones, where life itself is perceived as the sum of its individual components, all of which are interchangeable and/or combinable to meet the needs of forward-looking applications in the areas of medicine, the environment or agriculture. Since concrete products of this kind are not currently available, most articles present synthetic biology’s potential in a more or less vague and rambling manner. Nonetheless, it is this very description of the discipline’s potential that remains an impressive motif of public reporting.

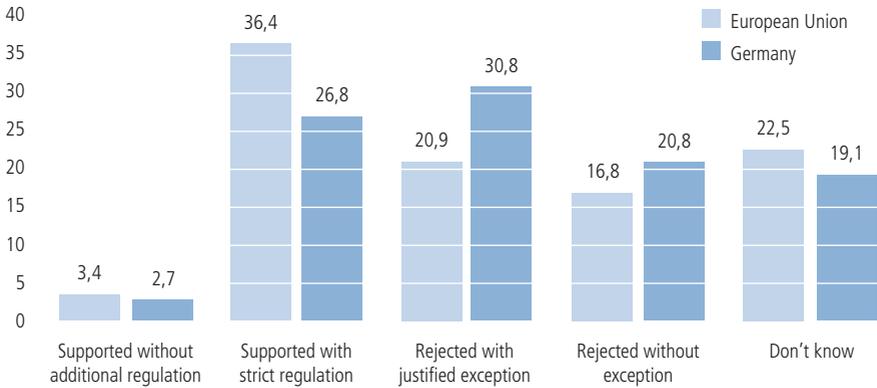
The majority of the articles are keen on citing references to Christian motifs. In particular, allusions are made to the “creation story”, as well as to scientists portrayed as either hubristically or naively and frivolously playing with “God’s creation”: the story of Genesis is equated to a scientific project, new

living organisms are being planned on the drawing board, and genes are played with as if they were children's toy building blocks. The verbal images here are expressed in the form of headlines, which are by no means meant to stimulate ethical or theological debates on synthetic biology. Such religious motifs also reflect traditional ideals, ones that are familiar to readers and that are firmly linked with moral concepts, despite the fact that such clarity of meaning has been lost in an otherwise wholly secularised 21st century. When applied to synthetic biology, such commentaries propagate "abridged arguments" that serve to engender a new complex of meanings and to influence public perceptions of the discipline. Religious-cultural associations are triggered in the form of moral concepts pertaining to the relationship between man and nature. Coupled with ambiguous media portrayals, such reporting creates a space within which fear and suspicion of synthetic biology research can thrive, a place where life itself appears to be treated with hubris or playful naïveté. Through their representation of synthetic biology, it is obvious that the media are conveying new contextual concepts about the discipline to the German public.

### **Synthetic biology – An unknown technology** (chapter 10; Jürgen Hampel)

Jürgen Hampel describes the current public perception of synthetic biology in Europe, with a special emphasis on Germany. The presented data were taken from the European Commission's opinion poll "Europeans and Biotechnology in 2010", the findings of which demonstrate that synthetic biology has not yet established itself in the consciousness of the Europeans. On average, four of every five of those polled had never even heard of this research field. For those few somewhat familiar with the term, the issue was neither a topic of everyday communication, nor did it arouse any particular interest. Public opinion is slightly positive when asked about possibly endorsing this field. While only a minority supported unregulated approval, every second respondent preferred strict regulatory frameworks for synthetic biology, or only allowing it in justified exceptional cases. In Germany, however, synthetic biology is seen in an overall less positive light. No other country in Europe registered such high disapproval rates (Figure 4).

**Figure 4: Attitudes towards synthetic biology in Germany and Europe (in percent)**



► Source: Hampel, J. (2012): Synthetische Biologie – eine unbekannte Technologie. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg: 249.

The amount of information required by the public to assess synthetic biology was also measured. It was found that aspects relating to the possible benefits and risks were a main focus for respondents Europe-wide. Funding or regulatory aspects were perceived as ancillary issues, as were ethical or social questions. Furthermore, there were few demands for information on the scientific techniques used in synthetic biology – quite in contrast to the classical postulate that the more information the public receives, the more apt it is to accept a specific technology. These findings also suggest a pronounced desire among the population to legally regulate synthetic biology: eight of ten Europeans saw this as a governmental task that should not be left to market forces. At a pan-European level, there is a clear preference for regulations with an orientation towards technical-scientific criteria. How different in Germany: here, in addition to these criteria, the ethical-moral aspects were also considered to be important elements of assessment. Moreover, contrary to European trends, when asked how synthetic biology policy should be framed, German respondents preferred a public referendum to the advice of a committee of certified experts.

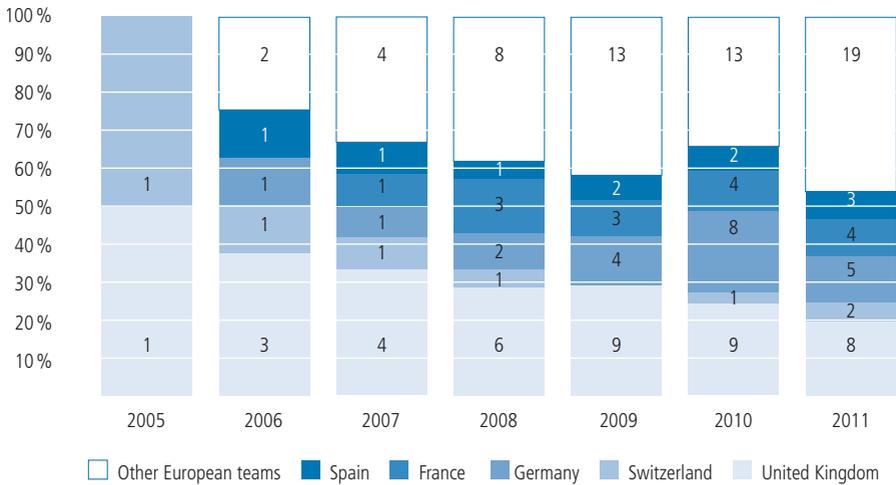
How society's perception of synthetic biology will evolve remains unclear at the present time, however, the presented data do indicate potential framework conditions. It is evident that the discipline remains a largely unknown technology in Germany and Europe, one that it does not enjoy unreserved support. Synthetic biology needs to earn societal legitimacy if it is to achieve broad societal recognition and acceptance. Any dialogue with the general public needs to go beyond a simple conveying of scientific facts about synthetic biology. Science communication approaches are presently in a transition phase: technology policy decision-making processes can no longer be justified on the sole basis of technical-scientific criteria – societal and ethical considerations also need to be taken into consideration.

## Data on the selected indicators (chapter 11; Anja Hümpel, Julia Diekämper)

The specific task of the "Gene Technology Report" is to elucidate the complex field of gene technology in Germany in a measurable and representative form for the interested German public. Qualitative descriptions by the appropriate experts are thus linked with socio-scientific, long-term monitoring in the published series of "Gene Technology Reports". Current problem areas in synthetic biology were identified and quantitatively described on the basis of the relevant indicators. Nevertheless, suitable indicators can not always be assigned to all problem areas in the same measure, or empirical data are simply not available. As regards synthetic biology in particular, the relative novelty of the discipline and ongoing debates about its true nature are proving to be problematic. Currently available empirical data are often not explicitly attributed to synthetic biology. Long-term monitoring is required here to map developments in this discipline. The data available in Germany concerning synthetic biology are presented in standardised datasheets; they show rapidly increasing activities in synthetic biology research which started just a few short years ago, in addition to a nascent public interest in Germany:

- ▶ Related publications from Germany first appeared in international scientific journals starting in 2005 and have been on the increase ever since.
- ▶ Since 2006, teams from Germany have participated in the prominent annual international student competition in synthetic biology "iGEM". Since its inception in 2004, the number of teams from around the world participating in the competition has increased steadily from year to year. The number of German teams also rose steadily until 2010, but decreased in 2011 (Figure 5).
- ▶ The topic is generally underreported in public media. The first pertinent press articles started to appear as late as 2004. The number of published articles has increased over the past few years and peaked in 2010 – the year that in a direct appeal to the public the American biologist and entrepreneur J. Craig Venter published his findings on an artificially synthesised bacterial genome. This also applies for the few dedicated books on this subject, first published in 2009.
- ▶ Presently, no concrete research projects on the topic of synthetic biology receive support from the Federal Ministry of Education and Research (BMBF). Accompanying research on societal and ethical aspects enjoy only limited support. However, Germany has been involved since 2002 in an increasing number of research projects in this field funded by the European Union.
- ▶ The German federal government as well as expert committees regard current research in synthetic biology to be well within the prevailing legal framework in Germany. Risks concerning biosafety and biosecurity are compared to (ordinary) gene technology research. However, the dynamic and heterogeneous nature of synthetic biology is acknowledged, and an independent monitoring is recommended as well as additional measures of regulation should the situation arise.

**Figure 5: Number of European teams participating the international student competition “iGEM”**



Total number of participating student teams per year: N = 13 in 2005, N = 37 in 2006, N = 54 in 2007, N = 77 in 2008, N = 102 in 2009, N = 117 in 2010, N = 142 in 2011. ▶ Source: Hümpel, A./Diekämper, J. (2012): Daten zu ausgewählten Indikatoren. In: Köchy, K./Hümpel, A. (Hrsg.): Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie? Dornburg:272.

## Key conclusions and recommendations for action (Interdisciplinary Research Group “Gene Technology Report”)

### Defining an appropriate scientific framework

The generic term “synthetic biology” presently denotes numerous heterogeneous research projects and research methods, whose common goal is the biology-based designing, replicating or modifying of biological or artificial systems in the laboratory. This technology-based design approach is carried out at different levels, ranging from individual molecules to entire biosystems.

There is currently no consensus among the involved researchers on how to define synthetic biology, its boundaries and position vis-à-vis related disciplines, in particular in relation to gene technology, systems biology, nanobiotechnology, material science or interdisciplinary converging technologies. This also holds true for designations emanating from the metaperspective of science organisations or interest groups. To ensure a comprehensive examination of these ongoing debates, the Interdisciplinary Research Group “Gene Technology Report” maintains the widest possible scope in its monitoring of synthetic biology.

In sum, it is characteristic for this discipline (biological engineering) to embrace a principle of engineering construction and its corresponding “mentality”. The aim of research is thus not only to better

understand biological processes or to obtain legitimisation by replicating models of biological systems, but also to develop innovative biotechnical applications.

Synthetic biology promotes the concept of the standardising and automating of biotechnical production processes in the sense of rationally predictable production goals. Furthermore, the discipline's leitmotif also expresses the paradigm of a pragmatically oriented – quasi “tinkered” – biological engineering approach, one that underscores the innovative advantages of the method and that encourages laypersons to actively participate in biological research.

## Future prospects

Synthetic biology presently defines itself chiefly in terms of its future potential in the areas of environmental protection, energy supply, chemical-technical production, and medicine. Certain biomedical applications are already envisioned that will open new avenues in disease prevention and therapy, for malaria or gout for instance.

## Public image

Synthetic biology remains a marginal issue in today's media reports, often characterised in vague terms and through contradictory statements on how it is differentiated vis-à-vis gene technology, as well as research-related concerns and potential ecological and moral risks.

Accordingly, the German population remains largely unfamiliar with synthetic biology. Most opinions voiced on this field of research are not based on concrete concepts emanating from concrete research, but focus rather on general expectations and values. A significant aspect here, one that can also be found in related technological developments (e.g. in the context of nanotechnology), is the extent to which the boundaries between “science” and “fiction” remain blurred, with the gap widening between positive and negative future scenarios.

Synthetic biology does not presently enjoy majority acceptance in Germany. The ability to generate broad public acceptance will require science-based public discussions on the specific procedures, which not only emphasise the potential benefits, but the related ethical concerns as well.

## Philosophical and ethical implications

Given the current loosely structured research approaches, the ethical relevance of synthetic biology remains open to debate. No further, more concrete problem areas beyond the ethical debates concerning gene technology are presently discernable, other than the important fundamental questions pertaining to all biotechnological innovations (general biosafety and biosecurity-related risk issues or questions of equitable distribution). Nevertheless, new ethical problem areas can arise in the context of ever-expanding gene technology methodology. These may require separate ethical debates on synthetic biology in the future.

Over and above concrete research activities, it is especially the general postulate concerning the creation of life in the laboratory that has also engendered reasoned, ethical objections against synthetic biology. In view of the techniques in current use, such postulates on the redesigning of life are perhaps unconvincing in real terms, but the aspirations they manifest do possess ethical relevance nonetheless. Moreover, fundamental questions concerning the concept of life as promulgated by synthetic biology are based less on existing processes than on ancillary claims. Where supporters see great gains in scientific understanding, opponents fear a narrowing in the molecular-biological concept of life, or a perspective that is limited to mere technical design and usefulness.

From a model-theoretical point of view, the technomorphic interpretation of life processes, such as those promoted by synthetic biology, assume important explanatory power when dealing with life processes. Any simple comparison between organisms and machines yields nothing more than a short-circuited conceptualisation, which in the sphere of synthetic biology in particular, completely ignores any recourse to the self-organising abilities of living systems. The growing orientation towards this embracing of engineering ideals is coupled with a change in the way the function of biology is increasingly perceived as a technical engineering tool, a fact that is not only significant in scientific-philosophical or political terms (expressed as changes in the prevailing research ethics standards), but possibly in ethical terms as well.

## **Assessment of government policy requirements**

Ongoing research in the field of synthetic biology falls under the legal framework of gene technology research. Any technical developments going beyond this framework are currently subject to scrutiny by the Central Committee on Biological Safety (ZKBS) for the purpose of determining the need for regulation.

Science policy regulations pertaining to research, patents and applications associated with synthetic biology need to be accompanied by open and transparent social discourse. In particular, the research community needs to demonstrate greater sensitivity when addressing the issue of the patenting of biological systems. Important topics here include the broad public rejection of the patenting of living organisms, in addition to equitable distribution issues.

The tendency of synthetic biology to promote lay research is creating new opportunities for broader participation and transparency. If this trend continues, however, synthetic biology is bound to lose the support of many professional organisations and their ethical standing in both political, legal and ethical terms, which in turn will require even closer scrutiny.

## **Mitglieder der interdisziplinären Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“ Fellows of the Interdisciplinary Research Group “Gene Technology Report”**

Prof. Dr. Bernd Müller-Röber\* (Sprecher/Spokesperson)  
Universität Potsdam, Institut für Biochemie und Biologie

Prof. Dr. Ferdinand Hucho\* (Stellv. Sprecher der Arbeitsgruppe/Acting Spokesperson)  
Freie Universität Berlin, Institut für Biochemie

Prof. Dr. Nediljko Budisa  
TU Berlin, Institut für Chemie, Arbeitskreis Biokatalyse

Prof. Dr. Boris Fehse  
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Klinik für Stammzelltransplantation

Dr. Jürgen Hampel  
Universität Stuttgart, Abteilung für Technik- und Umweltsoziologie

Prof. Dr. Dr. Kristian Köchy  
Universität Kassel, Institut für Philosophie

Prof. Dr. Jens Reich\*  
Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin, Berlin-Buch

Prof. Dr. Hans-Jörg Rheinberger\*  
Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte, Berlin

Prof. Dr. Hans-Hilger Ropers\*  
Max-Planck-Institut für Molekulare Genetik, Berlin

Prof. Dr. Jochen Taupitz  
Universität Mannheim, Fachbereich Rechtswissenschaft

Prof. Dr. Jörn Walter  
Universität des Saarlandes, Fachbereich Bioscience, Epigenetik

\* Ordentliches Mitglied der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften / Ordinary Member of the Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities

## Bisherige Publikationen der interdisziplinären Arbeitsgruppe

Fehse, B./Domasch, S. (Hrsg.) (2011): Genterapie in Deutschland. Eine interdisziplinäre Bestandsaufnahme. 2. Auflage. Dornburg.

Müller-Röber, B. et al. (2009): Zweiter Gentechnologiebericht. Analyse einer Hochtechnologie in Deutschland. Dornburg.

Schmidtke, J. et al. (Hrsg.) (2007): Gendiagnostik in Deutschland. Status quo und Problemerkundung. Limburg.

Müller-Röber, B. et al. (2007): Grüne Gentechnologie. Aktuelle Entwicklungen in Wissenschaft und Wirtschaft. Limburg.

Wobus, A. M. et al. (2006): Stammzellforschung und Zelltherapie. Stand des Wissens und der Rahmenbedingungen in Deutschland. Supplement zum Gentechnologiebericht. München.

Hucho, F. et al. (2005): Gentechnologiebericht. Analyse einer Hochtechnologie in Deutschland. Berlin.

## Publikationen in Planung

Grüne Gentechnologie, 3. völlig neubearbeitete und ergänzte Auflage, 2013

Dritter Gentechnologiebericht. Analyse einer Hochtechnologie in Deutschland, 2013

Der aktuelle Stand der Reihe sowie einzelne Texte sind online unter [www.gentechnologiebericht.de](http://www.gentechnologiebericht.de) einsehbar. An gleicher Stelle sind auch Hinweise auf aktuelle Vorträge, Workshops und Tagungen der Arbeitsgruppe zu finden.

## Kontakt und Impressum

Synthetische Biologie. Entwicklung einer neuen Ingenieurbiologie?  
Themenband zum Gentechnologiebericht. Eine Zusammenfassung.

Herausgeber  
Interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“  
der Berlin-Brandenburgischen Akademie der Wissenschaften  
Jägerstr. 22/23, 10117 Berlin, [www.bbaw.de](http://www.bbaw.de)  
[info@gentechnologiebericht.de](mailto:info@gentechnologiebericht.de)

Konzeption und Redaktion: Dr. Anja Hümpel, [www.gentechnologiebericht.de](http://www.gentechnologiebericht.de), Berlin  
Layout und Satz: Typographie & Grafik Design Petra Florath, [www.typo-p-florath.de](http://www.typo-p-florath.de), Berlin  
Übersetzung: Jonathan MacKerron, [www.proz.com/profile/34828](http://www.proz.com/profile/34828), Berlin

Berlin, Oktober 2012

Diese Publikation erscheint mit Unterstützung der Senatsverwaltung für Wirtschaft, Technologie und Forschung des Landes Berlin und des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kultur des Landes Brandenburg.



Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften  
Interdisziplinäre Arbeitsgruppe „Gentechnologiebericht“  
Jägerstraße 22/23 10117 Berlin [www.bbaw.de](http://www.bbaw.de)  
[www.gentechnologiebericht.de](http://www.gentechnologiebericht.de)

Berlin-Brandenburg Academy of Sciences and Humanities  
Interdisciplinary Research Group “Gene Technology Report”  
Jägerstraße 22/23 D – 10117 Berlin [www.bbaw.de/en](http://www.bbaw.de/en)  
[www.gentechnologiebericht.de/gen/english-pages](http://www.gentechnologiebericht.de/gen/english-pages)