

Was synthetische Biologie ist

Basteleien, mit denen sich die Bioingenieure beschäftigen

Chancen und Risiken

## Bonuskapitel 1

# Synthetische Biologie: Biobasteln für Profis

Zum Schluss möchte ich Sie noch in ein sehr interessantes Randgebiet der molekularbiologischen Forschung führen – die *synthetische Biologie*. Diese habe ich für Sie ausgesucht, weil sie sich direkt »am Puls der Zeit« bewegt und ein paar der modernsten und revolutionärsten Fachgebiete unserer Tage miteinander kombiniert wie beispielsweise die Molekularbiologie und die Informationstechnologie. Hinzu kommt noch viel mehr Spannendes, wie Sie gleich noch sehen werden.

Dieses aufstrebende Forschungsgebiet ist auf die brandneuen Techniken der verschiedensten Wissenschaften angewiesen, denn synthetische Biologen konstruieren *künstliche* biologische Systeme, Maschinen und Organismen mit neuartigen oder verbesserten Eigenschaften wie beispielsweise synthetische Genome, Chromosomen oder Organismen. Hört sich für uns Außenstehende eher wie Science-Fiction und vielleicht zunächst auch ein bisschen gruselig an, oder? Wir haben tatsächlich ein paar dieser Dinge wie zum Beispiel die Designerproteine (siehe Kapitel 19) bereits so ganz nebenbei angesprochen, ohne an der Stelle richtig zu erklären, was da eigentlich dahintersteckt. Dies möchte ich nun nachholen und Sie außerdem mit wichtigen Informationen über dieses supermoderne Thema versehen, sodass Sie – ebenso wie bei anderen brisanten Themen, die den Molekularbiologen so bewegen – mitreden und sich vor allem eine eigene Meinung bilden können.

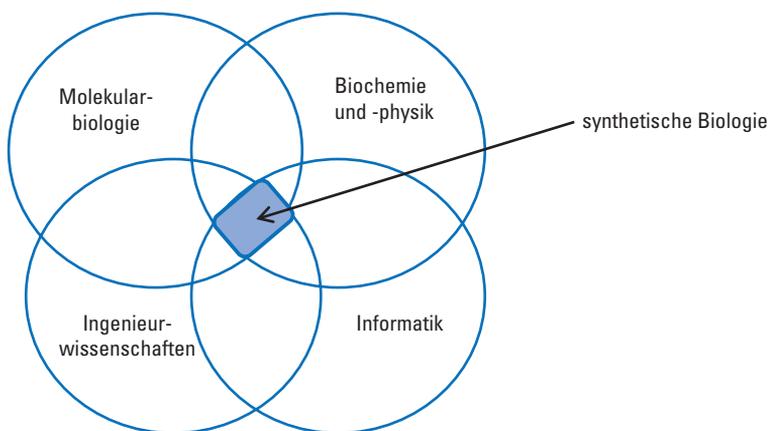
## Was synthetische Biologie genau ist, ist noch schwer zu sagen

Die *synthetische Biologie* wird oft als »nächste Stufe der Bio- und Gentechnologie« bezeichnet; was das aber konkret bedeutet, ist auf den ersten Blick nicht so leicht zu erklären.

## 2 BONUSKAPITEL 1 Synthetische Biologie: Biobasteln für Profis

Warum? Weil sich der Experimentator bei dieser Disziplin der Lebenswissenschaften nicht nur biologischer Prinzipien bedient, sondern auch aus den Werkzeugkisten einer ganzen Reihe anderer moderner Fachrichtungen, wie Abbildung B1 zeigt. Zu Arbeiten in der synthetischen Biologie können beispielsweise folgende Fachrichtungen beitragen:

- ✓ natürlich (aus unserer Sicht) zuallererst die **Molekularbiologie**,
- ✓ die Ingenieurwissenschaften – deshalb wird der synthetische Biologe auch *Bioingenieur* genannt –,
- ✓ die **Informatik**,
- ✓ die **Biophysik** und die **Biochemie**.



**Abbildung B1:** Die synthetische Biologie als Schnittmenge aus verschiedenen modernen Disziplinen. Beispielhaft sind nur vier der vielen Fachrichtungen dargestellt, die synthetische Biologen für ihre Arbeit nutzen.

Hinzu kann – je nach Aufgabenstellung – noch eine ganze Reihe an Spezialdisziplinen kommen wie zum Beispiel:

- ✓ **Nanobiotechnologie:** Das ist Biotechnologie auf der fast unvorstellbaren kleinen Ebene von Nanoteilchen. Hier bewegt sich der Bioingenieur in kleinsten Einheiten von etwa einem milliardstel Meter (zum Vergleich: ein menschliches Haar ist in etwa hunderttausendmal dicker als ein solches Nanoteilchen!).
- ✓ **Systembiologie,** die versucht, die komplizierte Zusammenarbeit zwischen DNA, RNA und Proteinen und anderen für den Stoffwechsel wichtigen Zellbestandteilen in Raum und Zeit mithilfe von computergestützten mathematischen Modellen zu beschreiben und zu erforschen.
- ✓ **Membranphysiologie,** die sich mit den physikalischen und chemischen Vorgängen an den Membranen, den Grenzschichten der Zellen, beschäftigt.

Wenn Sie dann noch bedenken, dass auch schon in der Molekularbiologie allein wiederum Teile von Genetik, Biotechnologie und Biochemie stecken, wird das Ganze schnell unübersichtlich. Die Einzelheiten sind aber an dieser Stelle eigentlich gar nicht so wichtig, denn sie variieren sowieso je nach Aufgabenstellung. Sie sollen nur einen Eindruck davon gewinnen, wie vielfältig die synthetische Biologie sein kann. Merken Sie sich einfach Folgendes:

*In der synthetischen Biologie spielt eine Vielzahl moderner Wissenschaftsdisziplinen eine Rolle.*

Und weil so viele verschiedene Fachrichtungen die synthetische Biologie ausmachen, ist es auch schwierig, eine einzige, allgemeingültige Definition zu finden. Man könnte den Begriff aber beispielsweise wie folgt beschreiben:



Die synthetische Biologie nutzt eine Vielzahl verschiedenster Techniken, um komplett *neuartige, künstliche* biologische Funktionen und Systeme zu entwerfen und herzustellen. Dadurch sollen sowohl neue Erkenntnisse über Lebensvorgänge gewonnen als auch neue nützliche Organismen und Produkte hergestellt werden können.

## Künstliche Zellen, Organismen oder Viren – so wird's gemacht

Noch vor nur ein paar Jahren hätte dieses Kapitel über synthetische Biologie sicher nicht in einem seriösen Buch über Molekularbiologie gestanden, sondern eher in einem Science-Fiction-Roman über durchgeknallte Forscher. Ja, lachen Sie nicht! Obwohl es den Begriff an sich schon seit über hundert Jahren gibt, ist das noch gar nicht so lange her. Erst modernste und zunehmend kostengünstigere Methoden zur Sequenzierung und Synthese von Biomolekülen wie das Next Generation Sequencing (siehe Kapitel 17) und die künstliche Gensynthese (siehe Kapitel 11) sowie die Errungenschaften der Informationstechnologie wie superschnelle Computer mit entsprechender Software haben es möglich gemacht, überhaupt an künstliche Lebensformen zu denken.

Und weil die synthetische Biologie heutzutage schon einen so vielfältigen Werkzeugkasten mit den unterschiedlichsten Hilfsmitteln von der Genschere bis zum hoch komplizierten Computeralgorithmus zur Hand hat, gibt es auch ganz verschiedene Beispiele für Aufgaben, an denen gearbeitet wird. Synthetische Biologen beschäftigen sich unter anderem damit,

- ✓ künstliche Zellen, ganze Organismen oder Viren zu konstruieren.
- ✓ vorhandene Zellen, Organismen oder Viren mit neuartigen Eigenschaften zu versehen.
- ✓ Schaltkreise aus programmierbaren Nukleinsäurekonstrukten bis hin zu Biocomputern zu entwerfen.

- ✓ künstliche Chromosomen zu schaffen.
- ✓ genetische Codes neu zu schreiben (diese heißen dann *synthetische DNA-Codes*).
- ✓ Maschinen aus Biomolekülen zu bauen.
- ✓ Biosensoren herzustellen, beispielsweise Zellen, die Schwermetalle aufspüren können.

Aber fast immer spielen die Biomoleküle DNA, RNA und Proteine – wie könnte es anders sein in der Welt der Molekularbiologen? – eine tragende Rolle!



Generell gibt es zwei verschiedene Strategien, um eine Zelle, einen Organismus oder ein Virus mit neuartigen Eigenschaften zu versehen – solche Eigenschaften sind natürlich im Genom gespeichert, deshalb muss der Bioingenieur auch hier ansetzen.

- ✓ **Erste Möglichkeit:** *Information gezielt hinzufügen*, also einzelne Sequenzen ins Erbgut **integrieren** oder das Genom komplett **neu synthetisieren**.

Dabei kann bei kleineren Stücken beispielsweise die Genschere (siehe Kapitel 19) ins Spiel kommen, um Sequenzen umzuschreiben. Wird ein Genom komplett neu zusammgebaut, beginnt die Herstellung immer zunächst mit der Synthese kürzerer, künstlicher DNA-Stücke, die zu größeren Bausteinen (*Synthons* genannt), Genen oder letztendlich gar dem kompletten Genom zusammengesetzt (der Profi sagt dazu *assembliert*) werden. Es werden also je nach Wunsch nur kürzere DNA-Stücke in eine Zelle bis hin zum ganzen Genom in einen Organismus eingeführt.

- ✓ **Zweite Möglichkeit:** *Information gezielt wegnehmen*, also das Genom **verkleinern**.

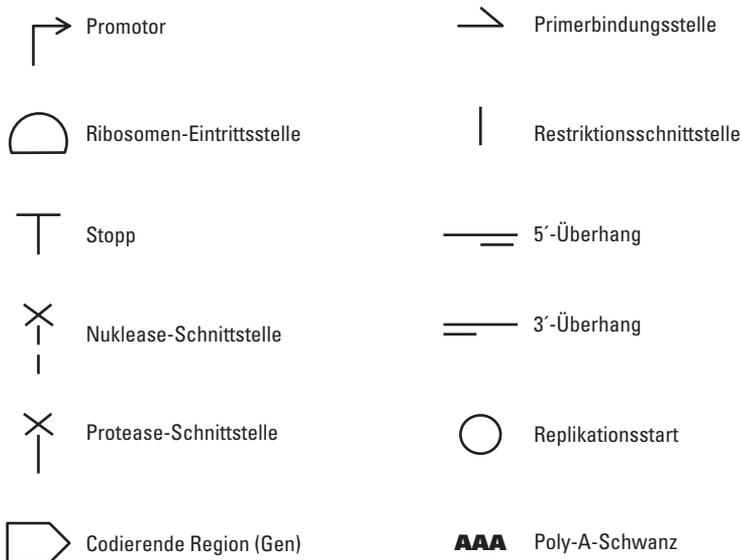
Im Gegenteil zur Integrationsstrategie wird einem Organismus oder einer Zelle dabei Erbinformation weggenommen. Es bleibt gerade nur die Information übrig, die fürs Überleben gebraucht wird – Zelle oder Organismus werden auf das Allernotwendigste reduziert. Man nennt das Ergebnis *minimale Organismen* oder *Minimalzellen*, und sie werden zum Beispiel als *Bioparts* dazu verwendet, biologische Schaltkreise (angelehnt an elektronische Schaltkreise und die Informatik) zu erzeugen. Auch für die Produktion von verschiedensten Stoffen sollen solche Minimalzellen entwickelt werden. Sie liefern eine höhere Ausbeute, weil der Platz in der Zelle nicht mit unnötigen Dingen verschwendet wird, die die Zellen gar nicht unbedingt braucht.

Minimalorganismen sind zudem für Forschungszwecke geradezu prädestiniert, weil man mit ihrer Hilfe Zellfunktionen prima untersuchen kann und sie dazu beitragen, den Ursprung des Lebens zu erforschen. Zudem sind sie als Sicherheitsstämme besser kontrollierbar (wenn man das im Design so festgelegt hat) als ihre natürlichen Pendanten.

Erinnern Sie sich noch an Kapitel 16? Dort hatten wir bei der Klonierung ein (beispielsweise menschliches) Gen auf einen anderen Organismus (zum Beispiel ein Bakterium) transferiert. Im Gegensatz dazu verfolgt die synthetische Biologie einen völlig anderen Ansatz: Sie schafft komplett neue künstliche biologische Systeme und Komponenten. Und genau das macht den Unterschied zwischen gentechnischen Methoden der »klassischen« Molekularbiologie auf der einen Seite und der synthetischen Biologie auf der anderen Seite aus. Nun verstehen Sie vielleicht auch besser, warum man sie die nächste Stufe der Gentechnologie nennt!



Neue biologische Bausteine, die mithilfe von Techniken der synthetischen Biologie geschaffen werden, nennt der Experimentator auch **Bioparts** oder **Biobricks**. Biobricks sind DNA-Sequenzen, die einem vereinbarten Standard entsprechen und als Bausteine im Prinzip ganz genauso eingesetzt werden wie Legosteine. Auch sie sind ähnlich leicht beliebig zu größeren Einheiten kombinierbar, aber nicht aus Plastik, sondern aus *Standardplasmiden mit gleichen Restriktionsschnittstellen* aufgebaut. Diese Bauteile sind für Unis und Firmen kostenlos und werden von der *BioBricks Foundation*, einer Non-Profit-Organisation, zur Verfügung gestellt. Mit Biobricks lassen sich ganze künstliche genetische Schaltkreise bauen und in eine Zelle, zum Beispiel ein Bakterium, einführen. Um diese Biobricks herum hat der synthetische Biologe sogar eine einfache gemeinsame Sprache entwickelt, die *Synthetic Biology Open Language (SBOL)*, die auf den ersten Blick aussieht wie auf einem Schaltplan aus dem Elektronikbaukasten (siehe Abbildung B2).



**Abbildung B2:** Zeichensprache des synthetischen Biologen. Einige Beispiele für Symbole der *Synthetic Biology Open Language*, mit deren Hilfe man genetische Schaltkreise entwerfen kann.

## Hochkarätiger Wettbewerb für synthetische Nachwuchsforscher

Einmal im Jahr gibt es für Studenten einen bekannten internationalen Wettbewerb in synthetischer Biologie mit mehreren Tausend Teilnehmern, den *iGEM* (*international Genetically Engineered Machine competition*), bei dem auch schon viele deutsche Nachwuchswissenschaftler gute Platzierungen errungen haben. Der Studentenwettbewerb ist inzwischen sogar schon zu einer Art Aushängeschild des Forschungszweigs geworden.

Alle Teams erhalten zu Beginn einen ganzen Werkzeugkasten voller Biobricks, die sie für ihre Ideen zusammenbauen können. Herausgekommen sind schon sehr spannende Dinge wie klimafreundliche Kühe, die Methan in ihrem Magen verstoffwechseln könnten, Kohlendioxid fixierende Bakterien, die daraus nützliche Moleküle herstellen, Biosensoren für Krankheitserreger, Plastik abbauende Algen, neuartige Antikeim-Beschichtungen, blinkende Zellen, Enzyme, die Abwassergifte unschädlich machen, und eine ganze Menge mehr. Und das Schöne daran: Die Ergebnisse und Protokolle sind frei zugänglich. Sie können von anderen Bioingenieuren jederzeit genutzt werden und so deren molekularbiologische Arbeiten im Labor beschleunigen.

## Wozu denn nun das Ganze?

Von der synthetischen Biologie dürfen wir sicherlich in Zukunft noch eine ganze Menge erwarten. Sie ist aber durchaus auch heute schon im Alltag angekommen: Es gibt weltweit zum Beispiel bereits mehrere Hundert Firmen, deren Grundlage die synthetische Biologie ist und die jährlich schon mehrere Billionen Dollar erwirtschaften – Tendenz steigend. Craig Venter, bekannter Molekularbiologe, der als Konkurrent des Humangenomprojekts als Erster ein ganzes menschliches Genom entschlüsselt hat, geht davon aus, dass der erste Billiardär der Welt ein Unternehmer der synthetischen Biologie sein wird.



Wir haben uns ja auch schon in Kapitel 19 so ganz nebenbei und fast schon selbstverständlich Zinkfingernukleasen, TALENs (Transkriptionsaktivator-artige Effektor-nukleasen) und der Genschere Nuklease Cas bedient. Dies sind alleamt *Designerenzyme*, das heißt, diese Proteine kommen in der Natur so nicht vor und werden per Proteindesign nach Wunsch an die jeweilige Anwendung angepasst und hergestellt. Der Proteindesigner macht dies, indem er gezielt *Mutationen* in jene Gene einführt, die die Information für die entsprechende *natürliche* Proteinvariante tragen (siehe auch Kapitel 18 zur Mutagenese). Möglich macht ein solches Proteindesign aber auch die synthetische Biologie, indem entweder Sequenzen und Gene für solche Designermoleküle künstlich geschaffen werden oder der komplette Organismus, der die Proteine für uns herstellen soll.

Von Bedeutung könnte das zukünftig für uns auch mehr und mehr für die individuelle Herstellung und Anpassung von Medikamenten sein.

## Künstliches um uns herum

Da in der synthetischen Biologie so viele verschiedene Disziplinen ihr Bestes geben, gibt es auch viele, teilweise ganz verschiedene (denkbare) Anwendungen. Im Folgenden möchte ich Ihnen einige der spannendsten Projekte und Erfindungen der Bioingenieure präsentieren:

- ✓ **Medizin:** Hier wird an völlig neuartigen Therapien gearbeitet: an programmierbaren Medikamenten, die ihre Wirkung erst dann entfalten, wenn bestimmte Voraussetzungen erfüllt sind wie beispielsweise Krebszellen zerstörende Bakterien und Zellen, an der Heilung von bakteriellen Infekten ohne Antibiotika oder an künstlichen Organismen, deren Organe transplantiert werden könnten, ohne abgestoßen zu werden.
- ✓ **Pharmazie und Chemie:** Künstliche Zellen könnten uns in Zukunft als Minifabriken für Biomoleküle aller Art mit Medikamenten oder Chemikalien eindecken. Auch natürliche Organismen können hierfür mit nützlichen Eigenschaften ausgestattet werden und uns als wertvolle Helfer mit Arzneimitteln oder auch ganz neuen Errungenschaften wie erneuerbaren Biotreibstoffen oder abbaubarem Bioplastik versorgen.

Für eine neuartige Möglichkeit, Antibiotika herzustellen, sind die Bioingenieure gerade dabei, Hefezellen mit einer kompletten Ausstattung an *künstlichen Chromosomen* zu entwickeln. Diese sollen als Zugabe zu ihren »eigenen« 16 Chromosomen noch ein zusätzliches Chromosom 17 erhalten – ein sogenanntes *Neochromosom*. Geklappt haben die Basteleien schon für die ersten sechs Chromosomen. Bestimmt können wir in den nächsten paar Jahren damit rechnen, eine Hefezelle mit komplett synthetischer Chromosomenausstattung präsentiert zu bekommen!

- ✓ Auch an verschiedensten **Biosensoren** wird schon unter Hochdruck gearbeitet, beispielsweise an Sensoren mit bakteriellen Beschichtungen auf lichtempfindlichen Computerchips, die in der Lage sein sollen, Erdölschadstoffe anzuzeigen. Sobald die Bakterien mit den schädlichen Stoffen in Kontakt kommen, beginnen sie zu leuchten – schöne Vorstellung, oder? Ähnlich sollen Bakterien in einem anderen Projekt reagieren, sobald sie mit TNT in Kontakt kommen. Auf diese Weise könnten die kleinen leuchtenden Helfer auf gefährliche Landminen aufmerksam machen.

Viele neue Ideen gibt es auch schon für Sensoren zu *diagnostischen Zwecken*, die auf bestimmte Körperreaktionen aufmerksam machen können. Beispielsweise entwickelt man Sensoren, die auf Stoffwechselprodukte im Körper von Menschen oder Tieren reagieren, zum Beispiel Glukose detektierende Zellen für Diabetespatienten, die immer bei Bedarf Insulin abgeben.

- ✓ Für den **Umweltschutz** wird an so spannenden Dingen wie Plastik verdauende Algen oder Mikroorganismen gearbeitet, die Schadstoffe aus der Umwelt aufnehmen oder kompensieren könnten. Auch wäre es denkbar, neue Lebensformen zu entwickeln, die sich auf ändernde Lebensbedingungen anpassen könnten, wie sie beispielsweise durch den Klimawandel bedingt sein könnten.

Sogar die amerikanische Raumfahrtbehörde NASA denkt wohl darüber nach – lachen Sie nicht! –, wie synthetische Organismen den für uns Erdlinge eher unwirtlichen Mars besiedeln könnten.

- ✓ **Ernährung:** Ziel der Bioingenieure, die auf diesem Gebiet arbeiten, ist es, die zukünftige Versorgung der Weltbevölkerung mit Nahrung sicherzustellen oder Alternativen zu bisherigen Lebensmitteln bereitzustellen. So wird beispielsweise intensiv daran geforscht, Fleisch oder Fisch künstlich zu erzeugen. Tatsächlich essen kann man – wenn man das will – bereits heute schon ganz neue Lebensmittel wie vegane Milch oder zuckerfreie Süße.
- ✓ **DNA-Datenspeicherung:** Das Speichermaterial des Lebens soll zu einer neuen Form der Informationstechnologie gemacht werden, denn es verfügt über eine enorme Speicherkapazität und kann riesige Datenmengen effizienter und genauer speichern als jedes elektronische Gerät.
- ✓ **Energiegewinnung:** Maßgeschneiderte Mikroorganismen sollen Treibstoffe wie Benzin, Diesel oder sogar Kerosin für uns herstellen. Oder künstliche Photosynthese betreiben und damit Energie aus Sonnenlicht in energiereiche Moleküle umwandeln, die ihrerseits zu neuartigen Kraftstoffen verarbeitet werden könnten.

Viele der möglichen Anwendungen, an denen weltweit gebastelt wird, sind aber bisher noch nicht in der Praxis angekommen, und das wird auch je nach Idee noch ein bisschen dauern. Andererseits gibt es weltweit aktuell schon rund 50 Produkte aus der Werkstatt der synthetischen Biologen, die kommerziell vermarktet werden. Darunter sind verschiedene Biopolymere, Enzyme, Chemikalien, Nahrungsmittel oder Zusätze zu Treibstoffen.

Im Jahr 2010 wurde ein *erster vermehrungsfähiger synthetischer Organismus* der Öffentlichkeit präsentiert, dessen Erbgut komplett im Labor hergestellt worden war (siehe den Kasten »Meilenstein der synthetischen Biologie: Der erste künstliche Organismus«). Es kommt also in den nächsten Jahren sicher noch einiges auf uns zu. Sind wir also gespannt und gehen verantwortungsvoll damit um. Sie wissen ja jetzt schon ziemlich gut, worum es geht!



Ein bekanntes Beispiel dafür, dass die Ideen der Bioingenieure nicht nur Spielereien sind, sondern auch wirklich funktionieren, ist der Arzneistoff **Artemisinin**. Diese wertvolle Substanz kommt in den Blüten und Blättern des Einjährigen Beifußes *Artemisia annua* vor und ist eine wirksame Waffe gegen resistente Exemplare des Malariaerregers. Das Problem dabei ist allerdings, dass es viel Arbeit ist, bis man den Stoff in der Hand halten kann: Aus einem Kilogramm getrockneter Blätter bekommt man nur acht Gramm Artemisinin, und vom Samen bis zum fertigen Medikament dauert es rund 14 Monate. Deshalb kamen Forscher auf die Idee, doch einfach Hefezellen für sich arbeiten zu lassen. In einem komplizierten Prozess führten sie in monatelanger Biobasterei die entsprechenden Pflanzengene in die Hefezellen ein und kreierte um sie herum einen komplett neuen Produktionsweg für das Medikament. Mit Erfolg: Die freundlichen Hefehelfer stellten zuverlässig einen Vorläufer des Wirkstoffs her, aus dem sich das Medikament auf einfache Weise gewinnen lässt. Leider erwies sich das

so gewonnene Artemisinin wegen fallender Marktpreise für Beifußpflanzen als wirtschaftlicher Flop, aber die Biologen haben saubere Arbeit geleistet, und die kleinen Hefefabriken funktionieren prima. Aber vielleicht klappt es ja doch noch irgendwann mit dem Wirkstoff aus der Hefefabrik.

## Meilenstein der synthetischen Biologie: Der erste künstliche Organismus

Es war *die Sensation* im Jahr 2010: Der amerikanische Biochemiker und Biotechunternehmer Craig Venter präsentierte damals das erste lebensfähige Bakterium mit einem künstlichen, von Menschenhand geschaffenen Genom. Venter und sein Team hatten das Erbgut von *Mycoplasma mycoides* – einem Bakterium mit sehr kleinem Genom – im Computer entworfen, im Labor synthetisiert und dann die rund 1 Million DNA-Bausteine in eine ganz normale Mycoplasmenzelle transplantiert, deren DNA sie zuvor entfernt hatten. Damit war der Beweis erbracht, dass Leben von Menschen entworfen und künstlich erzeugt werden kann.

Heute ist das schon fast wieder ein »alter Hut«, denn 2019 haben Forscher einen Organismus mit einem noch wesentlich größeren künstlichen Erbgut erzeugt: Designermikrobe, Frankenstein-Bakterium oder ganz einfach *E. coli* Syn61 wird die Zelle genannt, deren Genom vollständig ausgetauscht wurde, sodass das Bakterium allein von synthetischen Molekülen gesteuert wird. Auch hierbei handelt es sich um eine im Computer entworfene Lebensform, für die sogar vier Millionen Basenpaare im Labor synthetisiert werden mussten. Dabei sollte der Kunstorganismus selbst mit möglichst wenigen Informationen auskommen, damit die Wissenschaftler noch Platz gewinnen konnten für Sequenzen, die für Stoffe codieren, die die Zelle sonst nicht freiwillig herstellt. Hierfür wurde das Genom von Syn61 so verändert, dass es mit nur 61 Codons der normalerweise 64 alle nötigen Bausteine für seine eigenen Proteine – die Aminosäuren – herstellt. Zusätzlich wurden ins Erbgut Codes für drei künstliche Aminosäuren eingeführt, sodass Syn61 Materialien mit völlig neuen Eigenschaften herstellen könnte. Eingeschleust wurden die synthetischen Sequenzen in eine ganz normale *E. coli*-Zelle mithilfe der Genschere CRISPR-Cas (siehe Kapitel 19), und zwar so lange, bis die natürliche Information Stück für Stück ausgetauscht worden war.

## Darf man das denn überhaupt?

Was Sie sich sicherlich schon die ganze Zeit während der letzten Abschnitte über dieses supermoderne aber gleichzeitig auch so brisante Thema überlegt haben, ist die Frage nach der Ethik – also die Frage, ob der Mensch überhaupt künstliches Leben schaffen darf. An einem ähnlichen Punkt waren wir ja schon einmal angekommen, als wir uns Gedanken über gentechnisch veränderte Pflanzen und Tiere gemacht haben (siehe Kapitel 25). Und wie damals auch, so muss ich Ihnen an dieser Stelle genauso sagen: Sie müssen das selbst für sich herausfinden. Ich hoffe aber, dass ich Sie mit den vorangegangenen Abschnitten in die Lage

versetzt habe, zu einer eigenen Meinung zu kommen, wie auch immer diese aussehen mag. Dass es auch für Experten extrem schwer ist, sich eindeutig zu positionieren, zeigt, dass es beispielsweise in Europa derzeit noch keine gesetzliche Sicherheitsregulierung der synthetischen Biologie gibt – in Deutschland kommt da das ganz »normale« Gentechnikgesetz zur Anwendung, da man davon ausgeht, dass keine anderen Risiken für die biologische Sicherheit bestehen als bei herkömmlichen gentechnischen Veränderungen.

Im Folgenden habe ich einige Vor- und Nachteile von künstlichen Zellen, Organismen und Viren zusammengetragen. Möge die Liste Ihnen die Entscheidung erleichtern!

Ein paar Argumente *für* die Nutzung von Techniken der synthetischen Biologie könnten sein:

- ✓ In der Medizin eröffnen sich uns völlig neue Behandlungsmöglichkeiten mit neuartigen Medikamenten und Therapien.
- ✓ In vielen Lebensbereichen könnten Innovationen ganz neue Biomaterialien, Chemikalien oder Treibstoffe hervorbringen.
- ✓ Sowohl herkömmliche als auch neue Produkte könnten oftmals viel schneller, einfacher und preisgünstiger hergestellt werden. Auch könnten Engpässe bei seltenen Dingen des Alltags überwunden werden.
- ✓ Wir könnten beim Umweltschutz der fortschreitenden Zerstörung der Natur und dem Klimawandel entgegenwirken.
- ✓ Neue Strategien, um Nahrungsmittel zu produzieren, würden Mensch und Tieren nutzen und irgendwann einmal vielleicht alle satt machen.

*Gegen* die Schaffung künstlichen Lebens könnte man vorbringen:

- ✓ Synthetische Lebensformen stellen einen erheblichen Eingriff in die Natur und Evolution dar und könnten noch nicht absehbare Gefahren bergen und sich eventuell unkontrolliert vermehren.
- ✓ Man kann schwer abschätzen, wie die langfristigen Auswirkungen auf unser Ökosystem und einzelne Arten sein werden.
- ✓ Es könnte schwierig werden, das Eigentumsrecht bei künstlichen Lebewesen zu regeln.
- ✓ Bei einer innovativen Technik besteht immer das Risiko, dass es Menschen gibt, die nicht nur verantwortungsvoll mit ihr umgehen und die Möglichkeiten missbrauchen. In diesem Zusammenhang gibt es auch Befürchtungen, dass Biohacker (siehe auch Kapitel 6, Abschnitt »Biohacking: Das Labor in der eigenen Garage«) außerhalb der professionell geführten Labore mit künstlichen Lebensformen experimentieren, die dann erheblichen und vielleicht nicht wiedergutzumachenden Schaden anrichten könnten.