

Olaf Fritsche
Die neue Schöpfung

Schriftenreihe Band 1361

Olaf Fritsche

Die neue Schöpfung

Wie Gen-Ingenieure
unser Leben revolutionieren

Olaf Fritsche ist Biophysiker, promovierter Biologe und Wissenschaftsjournalist. Nach seinem Studium hat er mehrere Jahre als Redakteur bei „Spektrum der Wissenschaft“ gearbeitet.

Diese Veröffentlichung stellt keine Meinungsäußerung der Bundeszentrale für politische Bildung dar. Für die inhaltlichen Aussagen trägt der Autor die Verantwortung.

Bonn 2013
Sonderausgabe für die Bundeszentrale für politische Bildung
Adenauerallee 86, 53113 Bonn
Copyright © 2013 by Rowohlt Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg
Umschlaggestaltung: Michael Rechl, Kassel
Umschlagfoto: © Dreblow / ddp images
Lektorat: Bernd Gottwald
Satz: Minion Pro, InDesign
Gesamtherstellung: CPI – Clausen & Bosse, Leck
ISBN 978-3-8389-0361-3
www.bpb.de

INHALT

ES WERDE NEUES LEBEN! 9

Ein Rezept für die Zukunft 10 · Wo die Zukunft gemacht wird 12 · Forschung aus der ersten Reihe betrachtet 16

1 DIE ZUKUNFT DER VERGANGENHEIT 19

DIE ZUKUNFT ALS MAMMUTAUFGABE 23

Kalte alte Zeiten 25 · Angefressen, tiefgefroren und fast unerreichbar 26 · Tiefkühltruhen der Evolution 29 · Das Zeitalter der biologischen Inventur 31 · Ein haariges Schnäppchen bei eBay 34 · Ein Puzzle für Fortgeschrittene 36 · Mammuts – Elefanten mit Abweichungen 40 · Die Turbo-Evolution aus der Maschine 42 · Elefant rein, Mammut raus 44 · Pleistozän-Park statt Jurassic Park 48 · Wo bleiben die Dinos? 50 · Brauchen wir wirklich Mammuts? 53 · Blick in die Zukunft 56

IGEM: EIN TEAM FÜR «ECHTE WISSENSCHAFT» 58

ZWERGMAMMUTS MÖGEN KEINE SÄBELZAHNKÄTZCHEN 60

Prestigepoker mit Fell und Federn 61 · Vom Riesenmammut zum Kuscheltier 62 · Keine Gnade für Schoßtiere 65 · Bio-Hightech im Aquarium 66 · Blick in die Zukunft 70

IGEM: EIN STRAHLENDES PROJEKT 72

LÄNGST VERGESSENE VERWANDTSCHAFT 74

Ein Genforscher mit Forschergenen 75 · Das Quäntchen Urzeit in uns 79 · Neandertaler reloaded 83 · Blick in die Zukunft 86

IGEM: ENTSCHEIDUNGEN MIT KRÜMELN 88

2 ES WERDE NEUES LEBEN! 91

IM AUSBILDUNGSCAMP FÜR BIOHACKER 96

Die Faszination des Chaos 97 · Gene nach Norm 98 · Bakteriell
Blut und Arsenschnüffler 101 · Die «Ecolicence to Kill» 103 · Pro-
visorien der Natur 104 · Synthetische Patente 107 · Schulen mit
und ohne Zukunft 109 · Der genetische Fingerabdruck des Ne-
andertalers 112 · iGEM fängt an der Schule an 113 · Mein Haus,
meine Garage, mein Labor! 115 · Falsche Terroristen und wahre
Betrüger 121 · Blick in die Zukunft 123

IGEM: EIN FEHLER ... UND DU KANNST VON VORNE ANFANGEN! 127

GEKÜNSTELTES STATT KÜNSTLICHES LEBEN 129

Wissenschaft im Rampenlicht 131 · Kein Forscher wie jeder an-
dere 133 · Ein Computer wird Vater 137 · So einfach wie mög-
lich 144 · Wunderhelfer von der Wunschliste 147 · Wem gehört
die Zukunft? 150 · Blick in die Zukunft 154

IGEM: GEMS FÜR IGEM 156

DIE WAHRE NEUE SCHÖPFUNG 158

Rätselhafte erste Schöpfung 160 · Wissenschaft im Untergrund 163
Machen, was kein anderer macht 166 · Denn sie wissen nicht, was
sie erforschen 168 · Die Dreifaltigkeit künstlichen Lebens 173 · Le-
ben wandelt um 176 · Leben speichert Wissen 179 · Leben ist
verpackt 181 · Mehr als die Summe seiner Teile 182 · Nur auf die
Idee kommt es an 185 · Wenn Leben nichts Besonderes mehr
ist 189 · Blick in die Zukunft 192

IGEM: E. COLI AUF DEM PRÜFSTAND 194

DIE DUNKLE SEITE DER NEUEN MACHT 196

Ein wenig Grau im Schwarz-Weiß 199 · Tod aus dem Online-
Shop 200 · Terror nach dem Baukastenprinzip 204 · Darf jeder
alles wissen? 206 · Programmierte Killer 210 · Überraschend töd-
lich 213 · Erst die Kontrolle, dann die Sequenz 216 · Genetisches
Wettrüsten 219 · Nur zur Verteidigung – natürlich 221 · Blick in
die Zukunft 224

IGEM: TRANSPARENZ FÜR DEN ELFENBEINTURM 226

IST «SICHER IST SICHER» SICHER GENUG? 228

Mutiertes Wetter über Erdbeerfeldern 230 · Voller Stopp für die Sicherheit 233 · Zuflucht am Meer 235 · Sicherheitsverwahrung in vier Stufen 238 · Schwarzmarkt der Gene 242 · Zell-Junkies und sterile Stängel 244 · Die Vision von einer neuen Chemie 247 · Ein universeller Code des Lebens 249 · Jenseits der genetischen Norm 252 · Neue Fabriken für lebendige Experimente 255 · Vier Buchstaben für mehr genetische Vielfalt 257 · Ein lebendes Paralleluniversum 258 · Fremd, fit und manchmal ein Problem 261 · Blick in die Zukunft 262

IGEM: BLAUE ZELLEN GEGEN ROTE HAUT 264

AN DER SCHWELLE 267

IGEM: AND THE WINNER IS ... 269

MEHR ERFAHREN! 273

ABBILDUNGSNACHWEIS 283

DANKSAGUNG 285

LABORBUCH

Das Buch des Lebens hat vier Buchstaben 33
Mammuts aus der Evolutionsmaschine 46–47
Leuchtgene auf Abwegen 67
Bausteine für Leben nach Wunsch 100
So sieht also DNA aus 111
Eine lebendige Strahlenplakette 116
Checkliste für das Heimlabor 120
Wie der Computer zum Vater wird 140–141
Synthetische Zellen mit Wunschausstattung 149
Wege zu künstlichem Leben 169
Drei Komponenten des Lebens 175
Wie Viren gezielt angreifen 212
Ein neuer genetischer Code – Teil 1 251
Ein neuer genetischer Code – Teil 2 254

ES WERDE NEUES LEBEN!

«Bei dem, was in Ihrem Labor passiert –
fragen die Leute da nicht, ob Sie Gott spielen?»
«Oh, wir spielen nicht.»

*Aus einem Interview des Journalisten Chris Anderson
mit dem umstrittenen Genetiker Craig Venter*

Was darf es zum Frühstück sein? Rührei mit Kokosgeschmack und sanftem Wasabi-Aroma? Toast mit dick Butter und einer Scheibe Hühnchenmarmelade? Oder möchten Sie von den Frühstücksflocken ihrer Kinder naschen, die nach Pommes mit Ketchup und Mayo schmecken? Keine Sorge! Das klingt nur skurril und ungesund, ist aber cholesterinfrei und enthält jede Menge Vitamine. Denn in den 2020er Jahren kümmern sich vollautomatische Taste-Styler um das leibliche Wohl, kreieren auf Knopfdruck synthetische Zellen, die Ihnen jede beliebige Mischung aus Nährstoffen, Ballaststoffen und Mineralstoffen auf den Tisch zaubern. Optimal versorgt legen Sie den Weg zur Arbeit in einem Fahrzeug zurück, in dessen Außenhaut photosynthetische Mikroben für die Energieversorgung eingelassen sind. Lautlos gleiten Sie auf selbstleuchtenden Straßen dahin, die automatisch von implantierten Zellen repariert werden, sobald sich ein winziger Riss bildet. Nach dem genetischen Identitätscheck am Eingang plaudern Sie kurz mit dem Pförtner über die Nachricht, dass die verseuchten Kampfgebiete des letzten synbiologischen Krieges schon fast von virenfressenden Parallelmikroben gereinigt wurden. Anschließend müssen Sie in das Meeting, auf dem die Umformung der Venus-Atmosphäre

besprochen wird. Beim Griff in die Jackentasche knistert es. *Ich will endlich ein Zwergmammut wie alle in meiner Klasse!* steht mit ungelinker Kinderschrift auf dem altmodischen Zettel aus Papier. In diesem Moment humpelt Müller II vorbei. Das rechte Knie ist bandagiert. Seine Kinder haben ein Zwergmammut. Lavendelduft breitet sich im Büro aus. Beruhigend. Das Signal für den Beginn des Meetings. Moschus gibt es nur kurz vor der Deadline der Produktivphase. Noch schnell den Zellkultivator für das Mittagessen programmieren, dann geht es los. Während Müller II referiert, dämmern Sie in einem organischen Sessel dahin, der sich Ihrer Anatomie anpasst und wohltuende Wärme abgibt. Ein synthetischer Organismus, der die vielen Reden auf das Wesentliche komprimiert – das wäre mal eine lohnenswerte Erfindung, überlegen Sie. Aber das wird wohl auch in der Zukunft noch eine Weile ein Traum von morgen bleiben.

Ein Rezept für die Zukunft

Klingt abgehoben? Spekulativ? Nach Science-Fiction? Sie haben recht! Wenn wir aus heutiger Sicht einen Blick in die nächsten 50 Jahre wagen, begeben wir uns mit jedem Jahrzehnt auf immer dünner werdendes Eis. Kaum jemand wagt es, eine Prognose abzugeben. Vor allem Wissenschaftler, in deren Laboren die Zukunft entsteht, scheuen sich meistens, über ihre aktuellen Projekte hinauszuschauen. Als ob danach nichts mehr käme.

Aber es wird eine Menge kommen. Die biologische Revolution, an deren Anfang wir im Moment gerade stehen, wird nicht in den Laboren und Fabriken bleiben. Sie wird in unsere Küchen gelangen, unsere Wohnzimmer erobern, die Kinderzimmer erreichen und vielleicht ... wahrscheinlich ... vermutlich ... sogar uns selbst erfassen. Was genau passieren wird, ist natürlich unmöglich vorherzusagen. Wer hätte vor 50 Jahren, als Computer groß wie Schränke waren, an eine Welt voller Smartphones und Tablets gedacht? Wem wäre eingefallen, dass

Rechner nicht nur Atombombenversuche simulieren können, sondern über Facebook und Twitter Freunde rund um den Globus stets auf den aktuellen Stand über jede erdenkliche Kleinigkeit halten? Ist irgendwer auf den Gedanken verfallen, dass pubertierende Jugendliche von ihren Kinderzimmern aus ganze Industriezweige zum Wanken bringen könnten? Dies alles wäre vor 50 Jahren spekulativ gewesen. Und Science-Fiction. Heute ist es Wirklichkeit. Und Alltag. Wenn wir wissen wollen, was mit der neuen Biologie auf uns zukommt, wie wir in der Zukunft leben werden, *dürfen* wir also nicht nur spekulieren – wir *müssen* spekulieren.

Und wenn wir dabei richtig vorgehen, sind unsere futuristischen Phantasien gar nicht so weit hergeholt, wie es zunächst den Anschein hat. Das geeignete Rezept dafür hat einst Jules Verne entwickelt. Die U-Boote, Hubschrauber und Mondreisen in den Romanen des Franzosen sind keineswegs dessen blühender Vorstellungskraft entsprungen. Verne hat die Anregungen für seine Utopien vielmehr in populärwissenschaftlichen Zeitschriften gefunden oder in Gesprächen mit Wissenschaftlern von deren Projekten erfahren und die Ideen lediglich konsequent weitergesponnen. Eine simple Methode, mit der auch viele Entwicklungen der Computerrevolution vorausszusehen gewesen wären. Das erste Videospiele *Tennis for Two* entstand bereits 1958 am *Brookhaven National Laboratory*. Mit dem Arpanet als Vorläufer des Internets verbanden sich US-amerikanische Universitäten ab 1969, zwei Jahre später ging die erste E-Mail durch das Netz, und 1982 infizierte der 15-jährige Schüler Rich Skrenta Apple-Computer mit seinem selbstprogrammierten Virus. Offenbar fällt die Zukunft nicht vom Himmel, sondern sie entsteht in den Köpfen und Laboren findiger Wissenschaftler und Amateure.

Vernes Rezept funktioniert also noch immer, und wir werden es in diesem Buch benutzen, um einen Blick in die Zukunft des Lebens und des Menschen zu erhaschen. Dafür spüren wir die wichtigsten, spannendsten und meistversprechenden Trends der Biologie auf und versuchen zu erahnen, wie sie die Welt verändern werden. Vom Früh-

stückstisch bis zum künstlichen Leben aus der Retorte. Immer nur ein, zwei Schritte vor der aktuellen wirklichen Forschung und doch schon in einer Welt, in welcher der Mensch die Schöpfung selbst in die Hand genommen hat. Die Utopie wird dadurch zur Hochrechnung. Und die Wissenschaft rückt ein ums andere Mal erstaunlich nahe an unsere Science-Fiction-Szenarien.

Wo die Zukunft gemacht wird

An *Jurassic Park* beispielsweise. Im Roman erweckt ein reicher Geschäftsmann längst ausgestorbene Dinosaurier wieder zum Leben, indem er ihre DNA isoliert und die Lücken mit Amphibien-DNA auffüllt. Wenn es anstelle der schrecklichen Echsen auch eiszeitliche Mammuts sein dürfen, befinden wir uns auf dem besten Weg vorwärts in die Vergangenheit. Im ersten Teil des Buches werden wir sehen, wie der deutsche Biochemiker Stephan Schuster das Erbmaterial der zotteligen Elefanten analysiert hat. Wir lernen den Automaten seines amerikanischen Kollegen George Church kennen, der die DNA von einer Art in das Erbgut einer anderen umwandeln kann, und erfahren von den Plänen des russischen Biologen Sergei Zimow, der in Sibirien ein Naturschutzgebiet im eiszeitlichen Stil aufzieht. *Pleistozän-Park* statt *Jurassic Park* – diese Fiktion könnte schon in wenigen Jahrzehnten Wirklichkeit werden.

Ebenso wie die Visionen von Craig Venter. Die Projekte des *enfant terrible* der Wissenschaft begegnen uns im zweiten Teil des Buches, in dem sich alles um Zellen im Baukastensystem und neugeschaffenes Leben dreht. Der Biochemiker, Genetiker, Unternehmer und Medienstar Venter schlägt gerne Alarm, um auf sich und seine Forschung aufmerksam zu machen. Er spricht von synthetischen Zellen, die in den Medien schnell zu künstlichem Leben werden, während er in Wahrheit *nur* einen Computer zum Vater gemacht hat. In dem Hype um *Gott oder Frankenstein?* gehen die tatsächlichen Erfolge seines Insti-

tuts leicht unter. Der schillerndste Vertreter der Synthetischen Biologie schafft nämlich kein neues, sondern weitestgehend minimiertes Leben. Leben, das so weit reduziert ist, dass es gerade eben noch überleben kann. Diese Minimalzellen sollen als Chassis für designte Biomashinen nach Wunsch dienen, die ihre Vielfalt aus dem Katalog erhalten. Wie beim Kauf eines Computers sollen Biologen, Chemiker, Pharmazeuten und Mediziner schon bald die Zellen für ihre Forschung nach Belieben mit standardisierten Komponenten ausstatten und online bestellen. So entstehen genau nach Plan Algen, die Diesel produzieren, Bakterien, die Kunststoffe herstellen, oder Pilze, die Giftstoffe abbauen. Die biologische Revolution wird also wahrscheinlich in der Industrie anfangen. Aber sie wird keineswegs dort haltmachen. Nichts spricht dagegen, dass wir uns in der Zukunft beispielsweise mit Zellkulturen aus dem Internet selbst ein kalorienarmes Schnitzel mit Schokoladengeschmack züchten. Leuchtenden Joghurt haben jedenfalls schon Studenten in ihrer Freizeit wie mit einem genetischen Legokasten zusammengebastelt.

Craig Venter mag nicht wirklich künstliches Leben erschaffen wollen – Jack Szostak schon. Wir werden erfahren, mit welchen Tricks der Nobelpreisträger in seinem Labor an einer neuen Schöpfung arbeitet, um herauszufinden, wie die erste Schöpfung auf der Erde abgelaufen sein könnte. Aus allerlei chemischen Substanzen und Verbindungen, die allesamt nicht den kleinsten Hauch von Leben in sich tragen, bildet Szostak mikroskopische Membranbläschen, die auch nicht leben. Aber fast. In vielen, vielen kleinen Schritten nähern sich seine Gebilde dem Vorbild langsam an. Wie dicht er dem Ziel bereits ist, lässt sich nur schwer abschätzen. Der Durchbruch könnte innerhalb der nächsten fünf Jahre erfolgen. Oder in zehn? Vielleicht in 50? Wenn er Erfolg hat, bedeutet dies nicht weniger, als dass der Mensch das Wissen und die Macht hat, tote Materie zum Leben zu erwecken. Und dass auf Szostak ein zweiter Nobelpreis warten dürfte.

Oder sollte der Mensch solche Experimente besser bleibenlassen? Muten wir uns zu viel zu? Sind unsere biosynthetischen Fähigkeiten

dabei, unser moralisches Vermögen endgültig abzuhängen? Ist die Erschaffung von Leben zu groß für unseren kleinen Geist? Dürfen wir, was wir können? Aus ethischer Sicht kommen in der Zukunft schwierige Fragen auf uns zu, die wir gerne beiseiteschieben, solange es möglich ist, denen wir uns in diesem Buch aber stellen wollen. Gerade weil sie zu heftigen Kontroversen führen. Denn neben Macht und Verantwortung geht es um viel Geld. Darf man Leben patentieren? Oder muss man es vielleicht sogar, damit die Forschung bezahlbar bleibt? Die Diskussion hierzu ist noch nicht in Fahrt gekommen. Vielleicht weil immer beide Seiten Recht und Unrecht zugleich haben. Je nachdem, welchen Wertemaßstab wir anlegen. Aber wird sich der Maßstab nicht verschieben, wenn wir selber Leben gestalten und schaffen können?

Auf jeden Fall werden sich die Risiken ändern. Leben nach Maß wird sich kaum auf Säbelzahnkätzchen als Haustiere und tumorkillende Bakterien beschränken. Im Jahr 2006 orderte ein Journalist des britischen *Guardian* probehalber über Internet bei einer Spezialfirma für künstliche DNA ein Stück synthetisches Erbgut. Kein Gen für Bananenaroma oder ein fluoreszierendes Protein, sondern eine Kopie der verbotenen DNA des Pockenerregers. Weltweit gibt es nur noch zwei Labore, in denen das tödliche Virus aufbewahrt wird, ansonsten ist der Besitz strengstens untersagt. Trotzdem fand sich die Lieferung wenig später im Briefkasten. Wie wir feststellen werden, hatte schlicht niemand nachgeprüft, was der *Guardian* bestellt hatte. Gegenwärtig ist es noch eine Aufgabe für Spezialisten, aus solchen DNA-Fragmenten wieder ein tödliches Virus zu machen. Doch heute führen Studenten schon in Praktika gentechnische Experimente durch, für die vor 20 Jahren ein Doktorand mehrere Jahre gebraucht hätte. Noch einmal 20 Jahre, und jeder halbwegs begabte Forscher kann nach DNA-Sequenzen aus dem Internet einen tabuisierten Killer konstruieren, in 40 Jahren kann er womöglich ein völlig neues Virus kreieren. An bösen Buben mit finsternen Absichten hat es noch nie gemangelt, und in Zukunft werden auch Terroristen ungeahnte Möglichkeiten haben. Denn im Vergleich zum Bau einer Atombombe sind tödliche Mikroorganismen leicht her-

zustellen, und ein Labor für Synthetische Biologie ist verhältnismäßig billig und klein.

Zur Not passt es auch in die Garage. Oder in die Küche. Alles, was man braucht, gibt es bei eBay zu kaufen, oder man bastelt es selbst aus Bohrmaschinen, Legosteinen und leeren Wasserflaschen. Wir schauen uns die Welle der Do-it-yourself-Biologie an, die derzeit durch die USA läuft und bereits nach Europa schwappt. Je nach Enthusiasmus und Geldbeutel machen sich Amateure daran, mit einfachsten Mitteln oder halbprofessioneller Ausstattung ihre eigene DNA zu isolieren oder Krebs zu heilen. Ganz nach dem Vorbild der Computerrevolution wollen die Biohacker die Wissenschaft vom Leben aus den Elfenbeintürmen der Universitäten befreien und zu den Menschen bringen. Viel Schaden anrichten können sie nicht, viel lernen schon. Wer jemals mit eigenen Händen überprüft hat, ob er selbst ein bestimmtes Gen in sich trägt, wird nie mehr glauben, in Biotomaten gebe es keine Gene. Vor allem könnten die Amateure aber eine Flut von Innovationen los-treten. Gerade weil sie über kein großes Budget verfügen und teilweise kaum wissen, was sie tun, sind die Hacker für manche Überraschung gut. Beispielsweise wenn sie mit einem simplen DNA-Test feststellen, dass in Sushi nicht überall Thunfisch drin ist, wo Thunfisch draufsteht. Der schnelle Gentest für die Hosentasche dürfte bald so manche Restaurants das Fürchten lehren.

Vielleicht auch die Gen-Industrie selbst? Bislang ist es ein teurer und aufwendiger Prozess, nachzuprüfen, ob sich fremde Gene aus veränderten Organismen selbständig gemacht haben. Für den weitverbreiteten Gen-Raps haben Wissenschaftler das bereits nachgewiesen. In Zukunft könnten entwichene Gene aber ohne jede Bedeutung oder gar Gefahr für das Ökosystem sein. Denn die synthetischen Organismen von morgen schreiben ihre Gene womöglich in einer anderen Sprache als ihre natürlichen Verwandten. Wir erfahren, mit welchen Tricks der Berliner Biochemiker Nediljko Budisa seine Bakterien auf einen neuen genetischen Code umprogrammiert, mit dem herkömmliche Zellen nichts anfangen können. Er errichtet damit gewissermaßen

eine genetische Firewall zwischen der Eigenschöpfung und der Natur. Das ist Jason Chin aber noch zu wenig. Der Brite versetzt seine Zellen gleich in eine Art Parallelwelt, indem er ihnen einen selbstentwickelten Code aufzwingt, der einen komplexen neuen Leseapparat benötigt. Auf diese Weise wird der Baum des Lebens dicht an der Wurzel gespalten. Der Mensch zweigt sich ein Stück der Natur ab, das ganz allein seinen Regeln gehorcht.

Forschung aus der ersten Reihe betrachtet

Minimalzellen, Gen-Bausteine, erweiterte genetische Codes ... Das alles klingt utopisch, abstrakt und fern von unserem alltäglichen Leben. Doch der Eindruck täuscht. Um eine Ahnung zu entwickeln, wie die Biologie unsere Arbeit, das Familienleben und unsere Freizeit verändern wird, beginnen wir deshalb jedes Kapitel in diesem Buch mit einer fiktiven Szene aus einer möglichen Zukunft. Anschließend erfahren wir, wie weit reale heutige Forscher mit ihrer *Science* auf dem Weg zu unserer *Fiction* bereits gekommen sind. Wissenschaftlich-technische Zusammenhänge sind dabei in ein «Laborbuch» ausgelagert, das uns selbst komplexe Abläufe der Synthetischen Biologie verstehen lässt. Neben der Wissenschaft vergessen wir nicht die ethische Seite der Forschung und stellen uns die Frage, ob wir wirklich tun sollten, was wir tun können. Den Abschluss bildet dann jeweils ein Blick in die Zukunft, in dem wir versuchen, mit unserem neuen Wissen abzuschätzen, was wann passieren wird.

Zwischen den Kapiteln streifen wir uns die weißen Laborkittel über. Um an einem konkreten Beispiel mitzuerleben, wie Wissenschaft wirklich funktioniert, sind wir live dabei, wenn eine Gruppe von Forschern der Zukunft an der Zukunft der Forschung arbeitet. Der *international Genetically Engineered Machine Competition* oder kurz iGEM genannte Wettbewerb ist eine Spielwiese für Visionen, auf der junge Nachwuchswissenschaftler jenseits der eingefahrenen Schienen des regulären For-

schungsbetriebs ihre eigenen Ideen entwickeln und umsetzen dürfen. Wer wissen will, welche Richtung die Biologie der kommenden Jahrzehnte einschlägt, darf sich nicht auf die altgedienten Nobelpreisträger der Vergangenheit fixieren, sondern muss denen über die Schulter schauen, die diese Zukunft aktiv gestalten werden. Dafür begleiten wir eine Gruppe von fünf Schülern, die am Heidelberger Life-Science Lab ein eigenes Projekt entwickeln. Schritt für Schritt erleben wir mit, wie die Ideen reifen, welche Schwierigkeiten auftreten und was alles dazugehört, eine Vision in die Wirklichkeit selbstgeschaffener Zellen zu verwandeln.

Wie die Zukunft tatsächlich aussehen wird, werden wir am Ende des Buches trotz unserer Analysen und Prognosen nicht mit Sicherheit sagen können. Aber wir werden eine ungefähre Vorstellung haben und wissen, woran einige der besten Wissenschaftler der Welt angestrengt arbeiten und was wirklich hinter den Schlagzeilen vom künstlichen Leben steckt. Vor allem schaffen wir eine Grundlage für die gesellschaftliche Diskussion, die wir alle – Wissenschaftler, Politiker, Industriemanager und ganz gewöhnliche Bürger – führen müssen, um gemeinsame Entscheidungen zu treffen. Letztlich wird es nur eine Zukunft geben, in der wir alle leben müssen. Gemeinsam.

1 DIE ZUKUNFT DER VERGANGENHEIT

Der erste Schritt in die Zukunft führt manchmal in die Vergangenheit. **D**Erinnern Sie sich noch an *Jurassic Park*? Den Bestseller von Michael Crichton oder wahrscheinlich eher die Verfilmung durch Steven Spielberg? Darin lässt ein Multimilliardär für seinen neuen Vergnügungspark Dinosaurier klonen, deren DNA aus dem Verdauungstrakt von Mücken stammt, die vor Millionen Jahren in Bernstein eingeschlossen wurden. Natürlich geht dabei einiges schief, und der größte Teil der Handlung besteht darin, dass eine Gruppe Wissenschaftler, die vor Eröffnung des Parks zur Begutachtung eingeladen wurde, um ihr Leben läuft und dennoch bis auf die Hauptfiguren nacheinander als Reptiliennahrung endet. Ein typischer Thriller eben. Spannend, aber mit einer ziemlich weit hergeholten Idee. – Oder?

Jurassic Park ist nicht nur eine Abenteuer- und Horrorgeschichte, es ist auch Science-Fiction, bei der die Fiktion zu einem erstaunlich großen Teil auf soliden Ergebnissen aus der echten Forschung beruht. «DNA hatte man bereits aus ägyptischen Mumien extrahiert und aus dem Fell eines Quagga, eines zebraähnlichen afrikanischen Tieres, das in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts ausgestorben war. Ab 1985 schien es möglich, die Quagga-DNA zu rekonstruieren und auf diese Weise ein neues Tier entstehen zu lassen», heißt es beispielsweise im Auftakt der Geschichte. Und die Realität? «Der Roman [...] war von unserem Labor inspiriert», verriet der Direktor des Max-Planck-Instituts für evolutionäre Anthropologie in Leipzig, Svante Pääbo, in einem Interview mit der *Zeit*. Er muss es wissen, denn er selbst ist der Wissen-

schaftler, der als Doktorand heimlich und beinahe in 007-Manier die Mumien-DNA isoliert hatte. Nach seiner Promotion ging Pääbo an die *University of California* in Berkeley und arbeitete mit Allan Wilson zusammen, dem die Entschlüsselung des Quagga-Erbguts gelungen war. So weit stimmen Fiktion und Wirklichkeit also überein. Wie sieht es aber mit dem nächsten Schritt im Roman aus? Hat die Wissenschaft bereits das Quagga auferstehen lassen?

Sie hat es nicht. Crichton lag erneut richtig, als er schrieb: «1982 waren die technischen Probleme natürlich gewaltig gewesen [...]. Das Verfahren war nur schwierig, teuer und hatte geringe Erfolgsaussichten.» Diese Aussagen gelten am Beginn des 21. Jahrhunderts noch immer. Doch in den rund 25 Jahren seit Erscheinen des Buches hat die Wissenschaft neue Methoden entwickelt, die rasend schnell immer mächtiger und zugleich billiger werden, sodass die Erfolgsaussichten für die Neuschöpfung einer ausgestorbenen Art wahrscheinlich nicht mehr lange so gering sein werden. Für die Zukunft stehen die Chancen sogar ausgesprochen gut. Deshalb werden wir uns im ersten Teil des Buches ansehen, wie weit die Forschung bereits gekommen ist auf dem Weg zum *Jurassic Park* und mit welchen wiedererschaffenen Arten wir in den kommenden Jahrzehnten rechnen müssen. Wir werden erfahren, auf welche Weise Neuschöpfungen in unsere privaten Haushalte einziehen werden und in welcher Hinsicht die wirkliche Zukunft den Roman übertrumpfen wird. Dabei werden wir auch überlegen, ob die Wissenschaft sich tatsächlich in diese Richtung entwickeln sollte, und abzuschätzen versuchen, ob sie es tun wird. Denn wie heißt es in *Jurassic Park*: «Möglich war es mit Sicherheit; es musste sich nur jemand finden, der es versuchte.»

DIE ZUKUNFT ALS MAMMUTAUFGABE

27. März 2048, Ostsibirien, Pleistozän-Park

Es hat sich gelohnt! Gut, die Anreise in der klapprigen Maschine war ein wenig abenteuerlich und dauerte gefühlte drei Ewigkeiten. Das Hotel kann man bestenfalls mit dem Prädikat «rustikal» belegen und muss selbst dabei noch beide Augen zudrücken. Das Essen schmeckt, als habe es vor seinem kurzen Aufenthalt in der Küche schon einige Jahrtausende im dauergefrosten Boden zugebracht. Und zu allem Überfluss hat selbst das angeblich so modern eingerichtete Pressezentrum keine Verbindung zur globalen Datengalaxie. Bleibt mir also nichts anderes übrig, als in traditioneller Weise ein Reisetagebuch zu führen und meine Reportage später abzuschicken, wenn wir wieder zu Hause sind.

Trotzdem hat es sich gelohnt! Wegen der Mammuts! Ich kannte die Tiere natürlich schon aus dem Eiszeit-Zoo in Frankfurt. Hatte über verschiedene Entwicklungssprünge und diverse Rückschläge berichtet, mit denen aus einer Gruppe Asiatischer Elefanten schrittweise eine kleine Herde Neo-Wollhaarmammuts wurde, wie der offizielle deutsche Name lautet. Ich war bei der feierlichen Eröffnung des Zoos dabei gewesen und hatte miterlebt, wie radikale Gegner der neuen Biologie die Mammuts vor laufenden Surround-Cams mit giftgrüner Farbe besprüht haben. Ich habe der Geburt des ersten «echten» Mammutbabys entgegengefiebert und bin einer seiner 1000 Paten geworden, deren Name in eine Plakette neben dem Eingang zum Gehege eingraviert ist. Kurz: Ich dachte, ich wüsste alles über Mammuts.

Ich hatte ja keine Ahnung.

Wer wirklich und wahrhaftig Mammuts erleben will, muss in den Pleistozän-Park kommen. Das weite Gelände, die offene Graslandschaft, der eisige Wind und, ja, auch die unzähligen Mücken vermitteln von Anfang an ein ganz anderes Gefühl als selbst das durchdachteste Zoogehege. Hier stehen keine mehr oder minder deplatzierten Eiszeittiere verloren im Herzen einer modernen Großstadt. Hier ist die Eiszeit selbst wieder zum Leben erwacht.

Mit dem Beobachtungsfahrzeug geht es hinein in das Herz des Parks. Geländegängige Zehnradwagen, an deren Anwesenheit die Tiere seit ihrer Geburt in der Aufzuchtstation gewöhnt sind. In der Regel achten sie gar nicht auf die brummenden Transportdosen für neugierige Besucher. Für den Fall, dass sich doch einmal ein Mammut oder Höhlenlöwe gestört fühlen sollte, sind die Fahrzeuge gepanzert und wie ein Kugelabschnitt flach gehalten, sodass sie weder aufzubeißen noch platt zu trampeln sind. Die Ranger benutzen sie schon seit Jahren, und es hat noch keinen einzigen ernsthaften Vorfall gegeben. Dabei fahren die Wagen mit uns ganz dicht heran an Saiga-Antilopen, Moschusochsen und Wisente.

Und endlich die Mammuts.

Es war nur die kleinere der beiden Herden, die wir heute zu sehen bekamen. Acht Weibchen und ein mächtiger Bulle, dessen gedrehte Stoßzähne zur Warnung unser Fahrzeug leicht schüttelten. Goliath ist nervös, klärte uns der Ranger auf. Auch für ihn ist es das erste Mal. Wie auch nicht? Der Park hatte die Presse schließlich eingeladen, damit wir Zeugen einer Weltpremiere werden. Schon in wenigen Tagen sollte es so weit sein. Goliath verpasst uns einen letzten Schubser und dreht dann ab. An seinem zotteligen Körper vorbei erhasche ich einen Blick auf Valya. Mit einem Gewicht von etwa sechs Tonnen sind die Weibchen trotz ihrer Höhe von 2,70 Meter kompakt gebaut. Man muss schon genau hinsehen, um es zu bemerken. Aber dann ist es deutlich zu erkennen: Valya ist hochträchtig. Es kann wirklich nicht mehr lange dauern, und sie wird ihr Junges gebären. Das erste Mammut seit Tausenden von Jahren, das in Freiheit geboren wird. Und mit ein wenig Glück werde ich die Geburt miterleben.

Kalte alte Zeiten

Wenn es um die Wiederbelebung der Vergangenheit geht, sind sie unsere größte Hoffnung: Mammuts besiedelten etwa vier Millionen Jahre lang die Steppen Afrikas, Eurasiens und Nordamerikas. Den größten Teil dieser Zeit mussten sie mit ständigen Umschwüngen des Klimas zurechtkommen. Während des Pleistozän genannten Erdzeitalters, das vor 2,6 Millionen Jahren begann und erst vor rund 10 000 Jahren endete, wechselten sich Kaltzeiten, in denen mächtige Gletscher heranwuchsen und große Flächen im Norden sowie in den Gebirgen bedeckten, mit Warmzeiten ab, in denen sich das Eis zurückzog und eine baumlose Landschaft zurückließ. Viele der Tierarten, die wir heute kennen, entwickelten sich in diesem Hin und Her der Temperaturen, darunter Bisons, Moschusochsen, Elche, Rentiere und Pferde. Sie lebten neben Arten, die inzwischen längst verschwunden sind, wie Säbelzahnkatze, Riesenhirsch, Höhlenbär und Wollnashorn.

Die Mammuts des Nordens reagierten auf die eisigen Verhältnisse, indem sie ihren Körperbau an das Klima anpassten. Statt auf fünf Meter heranzuwachsen wie ihre Vorfahren, die Steppenmammuts, maßen Wollhaarmammuts lediglich drei bis vier Meter, die dem kalten Wind weniger Angriffsfläche boten. Sie waren damit ungefähr so groß wie heutige Elefanten, aber kompakter gebaut mit kleineren Ohren und einem kürzeren Rüssel. Vor allem waren die Wollhaarmammuts aber mit einem dichten Fell bedeckt. Fast einen Meter lang konnten die Deckhaare des Winterfells werden. Unter ihnen gab es eine zweite Schicht mit halb so langen und weniger borstigen Haaren, auf die schließlich eine dichte Unterwolle und eine isolierende Fettschicht folgten. Das Fell bedeckte das ganze Mammut, einschließlich Ohren, Schwanz und Rüssel. Auf der Stirn bildete es eine Ponyfrisur, ganz wie in den Animationsfilmen der *Ice Age*-Reihe beim Mammut Manfred zu sehen.

Wollhaarmammuts waren damit hervorragend vor allen Widrigkeiten ihrer Umwelt geschützt – außer vor dem Menschen. Im Pleisto-

zän wagte sich der Zweibeiner mit dem großen Hirn zum ersten Mal aus dem warmen Süden in mittlere Breitengrade. Vermutlich schon als Neandertaler, spätestens als moderner *Homo sapiens* machte er Jagd auf alles essbare Großwild. Noch streiten sich die Wissenschaftler, ob der Mensch mit seinem Hunger manche Arten, darunter das Mammut, ausgerottet hat oder ob doch eher die Änderung des Klimas schuld ist. Fest steht, dass mit dem Auftreten des Menschen rund um den Globus viele Arten Großsäuger verschwanden. Auch das Wollhaarmammut starb am Ende der letzten Eiszeit auf dem Festland aus. Lediglich auf einigen isolierten Inseln konnten sich kleinere Gruppen halten, die dort bis in die Zeit der Pharaonen lebten.

Alles, was von den Mammuts bis in die Gegenwart überdauert hat, sind Knochen und eingefrorene Kadaver im Permafrostboden Sibiriens. In warmen Sommern taut das Eis mitunter so weit ab, dass es unvermittelt ein Mammut freigibt. Auch in Zeiten von Geländewagen und Hubschraubern ist es noch immer ein Abenteuer, solch einen Fund zu bergen und für die wissenschaftliche Untersuchung an einen sicheren Ort zu transportieren. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts waren die Strapazen jedoch ungleich größer und die Bedeutung der Skelette weitaus rätselhafter. Denn zu einer Zeit, in der die Schöpfungsgeschichte der Bibel auch in wissenschaftlicher Sicht den Maßstab setzte, hatten haarige gefrorene Elefanten eigentlich keinen Platz im kalten Norden.

Angefressen, tiefgefroren und fast unerreichbar

Die Rentiere waren am schlimmsten. Was nicht heißen soll, dass es der Expedition des russischen Botanikers und Naturforschers Michael Friedrich Adams an Widrigkeiten gemangelt hätte. Anfang Juni 1806 war er von der Provinzhauptstadt Jakutsk aufgebrochen. Rund 1500 Kilometer fuhr er auf der Lena nordwärts, jener sibirischen Lebensader, die zu den längsten Flüssen der Welt gehört, aber in der Regel nur

fünf Monate im Jahr eisfrei und damit schiffbar ist. Dann saß Adams fest. Die Winde in der Nähe des Polarmeeres waren für die Weiterreise zu ungünstig.

Der unfreiwillige Aufenthalt gab Adams Gelegenheit, besser mit den Männern bekannt zu werden, deren Zeugnis ihn in das kalte Nichts gelockt hatte. Vor allem mit dem Jäger und Ewenkenhäuptling Ossip Schumachow, der sieben Jahre zuvor inmitten des Eises einen unförmigen Block entdeckt hatte. Als Schumachow im darauffolgenden Sommer wieder zu der Stelle kam, war der Block teilweise aufgetaut und gab den Blick auf ein gewaltiges Mammut frei. Ausgerechnet ein Mammut. Für die Ewenken galten diese haarigen Elefanten nach einer alten Überlieferung als mächtige Boten des Todes. Überzeugt, bald sterben zu müssen, erkrankte Schumachow im Winterlager der Familie schwer. Doch seine Konstitution war schließlich stärker als der Aberglaube, und als er sich erholt hatte, holte er zum Gegenschlag aus. Wenn das Mammut schon harmlos war, sollte es ihm wenigstens ein bisschen Profit einbringen. Kurzerhand verkaufte er die Stoßzähne des Tieres an den Elfenbeinhändler Roman Baltunow. Bei dieser Gelegenheit fertigten die beiden Männer eine etwas ungelenke Zeichnung des Mammut an, die Adams durch Zufall in Jakutsk zu sehen bekam. Einige Wochen später wartete der Forscher nun ungeduldig mit Schumachow und Baltunow auf eine Gelegenheit, endlich zu den Überresten des Mammut aufbrechen zu können.

Der Fundort lag hinter einer Reihe schroffer Berge und strauchloser Ebenen. Rund drei Tage war man dorthin unterwegs, und es gab nur eine Möglichkeit, die weglose Strecke zurückzulegen: auf dem Rücken von Rentieren. Auf einem locker geschnürten Sattel hielten die Reiter ihr Gleichgewicht – oder eben nicht. «Ich hatte große Mühe, auf solch einem Rentier zu sitzen», gab Adams in seinem *Bericht über eine Reise ins Eismeer und die Entdeckung von Überresten eines Mammut* zu. Mehrmals fiel er auf «sehr verdrießliche Weise» herab und wünschte sich sehnlichst ein Paar Steigbügel.

Am Ziel angekommen, erwartete ihn zunächst eine schwere Ent-

täuschung. Nach den Berichten hatte Adams damit gerechnet, einem hervorragend konservierten Mammut gegenüberzustehen. Fast wie lebendig sollte das Tier wirken. Die Wirklichkeit sah jedoch anders aus. «Ich fand das Mammut noch an derselben Stelle vor, aber es war übel zugerichtet», schrieb Adams. Schuld an dem schlechten Zustand des Kadavers war der vorhergegangene Sommer. Seine Wärme hatte das Mammut so weit angetaut, dass es unter seinem eigenen Gewicht auf die Seite gekippt war und auf einer Sandbank lag. Dort war es im wörtlichen Sinne ein gefundenes Fressen für Wölfe, Eisbären, Vielfraße und Füchse gewesen, und die ewenkischen Jäger hatten mit dem Fleisch ihre Hunde gefüttert. Der Rüssel fehlte vollkommen. Übrig waren nur das Skelett (mit Ausnahme eines Vorderbeins), beide Augen, ein Ohr, das eingeschrumpelte Gehirn sowie eine Menge Haut und Haare. Nicht gerade viel.

Aber Adams war nicht lange niedergeschlagen. Als er die Überreste genauer musterte, erkannte er, das vor ihm mehr Mammut lag, als die Wissenschaft des 19. Jahrhunderts jemals zuvor zu sehen bekommen hatte. Bislang hatten sich die Zoologen mit einzelnen Knochen, Stoßzähnen und vagen Beschreibungen Reisender zufriedengeben müssen. Das reichte nicht aus, um zu erklären, was ein derartiges Wesen so weit im Norden machte. Handelte es sich um eine unbekannte Tierart? Oder war es nur ein besonders großer Elefant, den die biblische Sintflut in den hohen Norden gespült hatte? Solche Fragen waren mit Adams' Fund geklärt. Die anatomischen Besonderheiten der Knochen stellten das Mammut als eigenständige Spezies neben den Asiatischen und den Afrikanischen Elefanten. Und es war als ständiger Bewohner der sibirischen Steppe an die Kälte angepasst, wie die kleinen Ohren und das dicke Fell, mit dem das Tier überall bedeckt war, verrieten. Von frischem Eifer erfasst, suchte Adams alle Überbleibsel des Mammut zusammen und bereitete sie für den Transport vor. Zurück in Jakutsk, bot ihm jemand ein Paar Stoßzähne an, die er für das verlorene Paar hielt. Adams kaufte das Elfenbein und verschickte alles zusammen nach Sankt Petersburg.

In der Hauptstadt des Zarenreichs wurde das Skelett des Mammuts nach dem Vorbild eines anderen Gerippes, das von einem Asiatischen Elefanten stammte, rekonstruiert. Dabei wurden die fehlenden Bein-knochen aus Holz nachgebildet. Bis in unsere Zeit ist Adams Mammut eines der am besten erhaltenen Mammutskelette. Anders als die dama-ligen Forscher sind heutige Wissenschaftler aber weniger von den Kno-chen begeistert. Für sie liegt der wahre Wert des Mammuts in den viel unscheinbareren Fundstücken, von denen Adams gut 16,4 Kilogramm mitbrachte: Haare, Borsten und Zotteln.

Tiefkühltruhen der Evolution

40 Jahre lang hielt Adams' Mammut den Rekord als besterhaltenes Relikt der nordischen Elefanten. Erst dann wurde ein weiteres vollstän-diges Skelett entdeckt. Seitdem gibt der Permafrost in unregelmäßigen Abständen immer wieder mehr oder weniger gut erhaltene Exemplare frei. Schätzungen zufolge stecken noch Tausende Mammuts im sibi-rischen Eis. Besondere Aufmerksamkeit erregen Funde, die nicht nur Haut und Knochen umfassen, sondern noch reichlich weiches Gewebe wie Muskelfleisch enthalten.

So entdeckte 1977 ein Bulldozerfahrer im Nordosten Russlands beim Baggern ein vollständiges Mammutkalb. *Dima* war zum Zeit-punkt seines Todes nur etwa ein halbes Jahr alt und rund einen Meter groß. Seine inneren Organe waren ausgesprochen gut erhalten für je-manden, dessen Ableben 39 000 Jahre zurücklag, und die roten Blut-körperchen schienen sogar vollständig intakt zu sein. Elf Jahre später stieß der Kapitän eines Frachters auf ein weiteres Mammutkalb, das als *Mascha* bekannt wurde und dem lediglich der Rüssel fehlte. Die schönste Eismumie ist jedoch *Ljuba*. Das Mammutmädchen war kaum einen Monat alt, als es vermutlich beim Überqueren eines Flusses im Schlamm stecken blieb. Die lehmige Erde tötete das Kalb nicht nur, sondern konservierte es zusammen mit der Kälte.



Das Mammutkalb Dima sah bei seinem Fund etwas eingefallen aus, war aber ansonsten ausgesprochen gut erhalten.

Egal, wie gut erhalten ein Mammut aber auch sein mag – das Schlimmste, was ihm passieren kann, ist: gefunden zu werden. Spätestens wenn es freigelegt wird, setzt ein zerstörerischer Zerfallsprozess ein. Eiskristalle zerfetzen die empfindlichen Strukturen der Zellen, und Bakterien lassen Fleisch und Innereien verfaulen. Um die Tiere nach der Bergung möglichst schonend aufzutauen und dabei umfassend zu untersuchen, bringen Wissenschaftler heutzutage besonders vielversprechende Exemplare zusammen mit dem Eisblock, in den sie eingeschlossen sind, ins nordsibirische Dorf Chatanga. Dort dient eine künstliche Höhle, in der einst Fisch und Fleisch gelagert wurde,