

1. Preis des Dokuwettbewerbs 2010 des Bayerischen Rundfunks und der Telepool GmbH prämiert. Der Film soll 2013 im Bayerischen Fernsehen ausgestrahlt werden.

Wir haben alles, was in diesem Buch steht, sehr genau recherchiert und geprüft. Sollten uns trotzdem Fehler oder Ungenauigkeiten unterlaufen sein, freuen wir uns über Hinweise, um dies in eventuellen zukünftigen Auflagen korrigieren zu können.

Wir äußern in diesem Buch Meinungen, kommen zu Schlussfolgerungen. Es handelt sich hierbei um die gemeinsam vertretenen Ansichten der Autoren, die wir hoffentlich auch jeweils nachvollziehbar begründen. Auf dem Weg zu unseren Schlussfolgerungen haben wir viele der behandelten Themen und Aspekte ausführlich und gelegentlich auch kontrovers diskutiert. Leser werden womöglich zu anderen Schlussfolgerungen kommen. Wir halten es für wichtig, dass sich über die in diesem Buch behandelten Themen ein gesellschaftlicher Diskurs entwickelt, und freuen uns auf den Meinungsaustausch.

Die Autoren sind unter der E-Mail-Adresse nextgenbiochem@gmail.com zu erreichen.

LITERATURHINWEISE UND ERLÄUTERUNGEN

- 1 http://artilachordash.newsvine.com/_news/2006/04/26/155889-biotech-divers-do-not-hesitate (abgerufen im Oktober 2012)
- 2 Vorsicht, blutig! <http://pimm.wordpress.com/2007/01/23/how-to-isolate-amniotic-stem-cells-from-the-placenta-at-home/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 3 <http://www.sens.org> (abgerufen im Oktober 2012)
- 4 <http://www.openbiotech.com> (abgerufen im Oktober 2012)
- 5 <http://online.wsj.com/article/SB10001424052970204124204577150801888929704.html> (abgerufen im Oktober 2012)
- 6 <http://www.nyeresistor.com> (abgerufen im Oktober 2012)
- 7 <http://blog.ted.com/2012/06/26/do-it-yourself-biotech-ellen-jorgensen-at-tedglobal-2012> (abgerufen im Oktober 2012)
- 8 http://www.dld-conference.com/news/life-science/ellen-jorgensen-do-it-yourself-biotech_aid_3145.html (abgerufen im Oktober 2012)
- 9 Mitteilung der Indian Space Research Organization im März 2009: New Microorganisms Discovered In Earth's Stratosphere: <http://www.sciencedaily.com/releases/2009/03/090318094642.htm> (abgerufen im Oktober 2012)
- 10 <http://www.wired.com/wiredscience/2010/12/genspace-diy-science-laboratory> (abgerufen im Oktober 2012)
- 11 <http://www.hacks.mit.edu> (abgerufen im Oktober 2012)
- 12 <http://www.heise.de/tr/artikel/Zwischen-Genie-und-Bahn-1398238.html> (abgerufen im Oktober 2012)

- 13 <http://www.igem.org> (Website des iGEM-Wettbewerbs, abgerufen im Oktober 2012)
- 14 Alex Wright: Managing Scientific Inquiry in a Laboratory the Size of the Web. *The New York Times*, 27. Dezember 2010
<http://www.nature.com/nsmb/journal/v18/n10/full/nsmb.2119.html#/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 16 <http://www.esajournals.org/doi/pdf/10.1890/1540-9295-10.6.283> (abgerufen im Oktober 2012)
- 17 Timothy Ferris: Seeing in the dark: How backyard stargazers are probing deep space and guarding Earth from interplanetary peril. New York: Simon & Schuster 2002
- 18 A. Sanchez-Lavega et al.: Large-Scale Storms in Saturn's Atmosphere During 1994. *Science*, S. 631, 2. Februar 1996
- 19 Daniel Dennett: Darwin's Dangerous Idea. Simon & Schuster, New York 1995
- 20 <http://outlawbiology.net/about/wrf/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 21 Alexander von Scherwin: Experimentalisierung des Menschen. Der Genetiker Hans Nachtshiem und die vergleichende Eropathologie 1920–1945. Wallstein, Göttingen 2004
- 22 Yochai Benkler u. Helen Nissenbaum: Commons-based peer production and virtue. *Journal of Political Philosophy*, Bd. 14, S. 394, 2006
- 23 Yochai Benkler: The wealth of networks: How social production transforms markets and freedom. Yale University Press, New Haven, CT 2007
- 24 Das Bänderschneckenprojekt im Internet: <http://www.evolution-megalab.org/de/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 25 Fachartikel aus dem Projekt zur Evolution der Bänderschnecken: <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0018927> (abgerufen im Oktober 2012)
- 26 <http://www.biowethermap.org/data.html> (abgerufen im Oktober 2012)
- 27 http://oceanara.org/sites/default/files/LA_Seafod_Testing_Report_FINAL.pdf (abgerufen im Oktober 2012)
- 28 http://www.boston.com/business/articles/2011/10/23/on_the_menu_but_not_on_your_plate/?page=2 (abgerufen im Oktober 2012)
- 29 Kein Mensch weiß genau, wie viele Organismen es auf der Erde gibt. Und trotzdem gibt es einige Ehrgeizige, die alles Leben katalogisieren wollen. Um sich dabei nicht nur auf äußere Merkmale verlassen zu müssen, ziehen sie außerdem einen Erbgut-Abschnitt hinzu. Jedes bekannte

- Lebewesen trägt das Gen COX1 in seinem Erbgut, ohne es wären die Zellen nicht in der Lage die Energie aus der Nahrung in chemische Energie umzuwandeln, die für den Betrieb der Zellfunktionen notwendig ist. Jedes Lebewesen trägt also dieses Gen, aber es unterscheidet sich von Art zu Art in wenigen Positionen in der Abfolge der Genbausteine. Sie bilden so etwas wie den Strichcode einer Art, weswegen die genetische Artbestimmung auch als DNA-Barcoding bezeichnet wird. Die Methode hat einen Streit unter Taxonomen ausgelöst. Die Artenforscher alter Schule halten die molekularen Unterschiede für weit weniger aussagekräftig in der Frage, ob zwei ähnlich aussehende Organismen nun zu einer Art gehören oder ob sie in zwei getrennte einteilen sind. Die Befürworter wiederum sehen im genetischen Strichcode die einzige Möglichkeit, die Taxonomie weiterhin als ernstzunehmende Forschung zu betreiben. Allerdings funktioniert das System nur mit Einschränkungen: Bei noch sehr jungen Arten, lassen sich kaum Unterschiede zu den verwandten Gruppen finden. Das hängt unter anderem damit zusammen, dass das COX1-Gen so wichtig ist für den Organismus, dass es sich nur sehr langsam verändert. Bei Buntbarschen in ostafrikanischen Seen etwa funktioniert die Methode nicht, genauso wenig bei vielen Landpflanzen. Hier ist eine Klassifizierung nach Äußerlichkeiten oder Verhalten aussagekräftiger. Der große Vorteil des Barcodings besteht darin, dass man kein Artenexperte sein muss, um die Arten an einem Ort zu bestimmen. Ein bisschen genetisches Material genügt. Der Rest ist recht einfache Laborarbeit und ein Abgleich mit der Datenbank. 2004 hat sich das „Consortium for the Barcode of Life“ (www.barcodeoflife.org) entwickelt, dem inzwischen über 60 Organisationen in mehr als 30 Ländern angehören. Dass es beim genetischen Barcoding nicht nur um akademische Interessen geht, zeigte ein Fall im Sommer 2012. Nach einer Tibetreise ging eine Touristin mit Beschwerden zum Arzt, der eine Fliegenlarve unter ihrer Haut fand. Nicht einmal der Fliegenexperte der Zoologischen Staatssammlung in München konnte das Insekt identifizieren. Erst der genetische Fingerabdruck des Tieres und eine anschließende Datenbankrecherche klärten die Identität der Made – es war ein harmloses Insekt, das keine weiteren Beschwerden verursacht oder Krankheitserreger überträgt. Die Frau hatte nach Entfernung des Insekts keine weiteren Probleme mehr.
- 30 <http://www.wired.com/science/discoveries/news/2006/01/70015> (abgerufen im Oktober 2012)
 - 31 Deuter et al.: A method for preparation of fecal DNA suitable for PCR. *Nucleic Acids Research*, Bd. 23, S. 3800, 1995
 - 32 <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/gesamt/gesamt.pdf> (abgerufen im Oktober 2012)

- 33 N. Yang et al.: ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *Am. J. Hum. Genet.*, Bd. 73, S. 627, 2003; A. K. Niemi u. K. Majamaa: Mitochondrial DNA and ACTN3 genotypes in Finnish elite endurance and sprint athletes. *Eur. J. Hum.*, Bd. 13, S. 965, 2005
- 34 Daniel McArthur auf <http://www.genetic-future.com/2008/08/gene-for-jamaican-sprinting-success-no.html> (abgerufen im Oktober 2012)
- 35 A. Lucia: Citius and longius (faster and longer) with no alpha-actinin-3 in skeletal muscles? *Br J Sports Med.*, Bd. 41, S. 616, 2007; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17289854> (abgerufen im Oktober 2012)
- 36 Daniel McArthur: „Lack of α -actinin-3 clearly doesn't destroy your muscle“, auf <http://www.genetic-future.com/2008/08/gene-for-jamaican-sprinting-success-no.html> (abgerufen im Oktober 2012)
- 37 E. Edston: The earlobe crease, coronary artery disease, and sudden cardiac death: an autopsy study of 520 individuals. *Am J Forensic Med Pathol.*, Bd. 27, S. 129, 2006
- 38 55 von 2607 Frauen, die Vitamin-B-Präparate einnahmen, entwickelten eine Altersbedingte Makula-Degeneration (AMD), während 82 von 2598 Frauen, die kein Vitamin B einnahmen, an AMD erkrankten. W. Christen et al.: Folic Acid, Pyridoxine, and Cyanocobalamin Combination Treatment and Age-Related Macular Degeneration in Women: The Women's Antioxidant and Folic Acid Cardiovascular Study. *Archives of Internal Medicine*, Bd. 169, S. 335, 2009
- 39 M. Swan: Crowdsourced Health Research Studies: An Important Emerging complement to Clinical Trials in the Public Health Research Ecosystem. *J Med Internet Res.*, Bd. 14, S. e46, 2012; <http://www.jmir.org/2012/2/e46/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 40 <http://www.wired.co.uk/magazine/archive/2011/03/features/secrets-of-my-dna?page=all> (abgerufen im Oktober 2012)
- 41 http://www.wired.com/magazine/2010/06/ff_serseys_search/all/1 (abgerufen im Oktober 2012)
- 42 C. B. Do et al.: Web-based genome-wide association study identifies two novel loci and a substantial genetic component for Parkinson's disease. *PLOS Genet.*, Bd. 7, S. e1002141, 2011; <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3121750/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 43 <http://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/Aktuelles/menschen.did=149634.html?view=renderPrint> und http://www.beobachter.ch/leben-gesundheit/medizin-krankheit/artikel/pharma-industrie_das_geschaelt-mit-den-genen/ (abgerufen im Oktober 2012)
- 44 F. Fornai et al.: Lithium delays progression of amyotrophic lateral sclerosis. *PNAS*, Bd. 105, S. 2052, 2008
- 45 P. Wicks et al.: Accelerated clinical discovery using self-reported patient data collected online and a patient-matching algorithm. *Nat Biotech.*, Bd. 29, S. 411, 2011
- 46 Oberlandesgericht Celle, Urteil vom 29. Oktober 2003, Aktenzeichen 15 UF 84/03, NJW 2004, S. 449 ff.
- 47 http://www.nytimes.com/2012/03/06/health/amateur-biologists-are-new-fear-in-making-a-mutant-flu-virus.html?pagewanted=all&_r=0 (abgerufen im Oktober 2012)
- 48 Leitlinie einer Gruppe von Gensynthese-Unternehmen <http://www.ia-sb.eu/go/synthetic-biology/synthetic-biology/biosafety-biosecurity> (abgerufen im Oktober 2012)
- Anleitung zum Screenen vom Department of Health and Human Services: <http://www.phe.gov/Preparedness/legal/guidance/syndna/Documents/syndna-guidance.pdf>
- 49 Um zu verstehen, warum der Weg vom Gen zum biotechnisch hergestellten Gift – oder gar zu einem giftigen, infektiösen Bakterium – so viel schwieriger ist, als etwa Bakterien zum Leuchten zu bringen, muss man ein paar Dinge über Rizin wissen. Das Giftmolekül, das die Pflanzelle anhand der genetischen Bauanleitung produziert, besteht in der fertigen Form aus zwei Untereinheiten. Die A-Einheit ist die eigentlich gefährliche, sie zerstört lebenswichtige molekulare Maschinen im Inneren der Zellen, ohne die diese keine Proteine mehr produzieren kann und zugrunde geht. Die B-Untereinheit ist dafür zuständig, das tödliche Molekül in die Zelle zu bringen. Damit das Gift die Rizinus-Pflanze nicht selbst umbringt, wird es zunächst in der inaktiven Form hergestellt, und erst später chemisch aktiviert, wobei die beiden Untereinheiten sich erst räumlich richtig zueinander anordnen.
- Diese Art der Aktivierung ist schwierig im Labor nachzuvollziehen. Es hat sich jedoch gezeigt, dass es schon genügt, nur die zerstörerische A-Untereinheit zu verwenden. Ohne die B-Komponente, die das Eindringen in die Zellen ermöglicht, ist sie zwar längst nicht mehr so gefährlich wie das normale Rizin, aber noch immer stark genug, um Labortiere zu töten (*Int. J. Immunopharmac.*, Bd. 14, S. 281, 1992; *Biochimica et Biophysica Acta*, Bd. 923, S. 59, 1987).
- Aus der Bauanleitung für das gesamte Rizin-Molekül aus dem Genom des Wunderbaums könnte man also auch nur die gefährliche A-Hälfte nutzen, sie in Bakterien einsetzen und dort das giftige Rizin-A produzieren lassen. Die Aktivierungsschritte wären dabei nicht notwendig. Die Bakterien sind gegen Rizin weitgehend immun, vergiften sich also nicht selbst (*FEBS Journal*, Bd. 216, S. 73, 1987; *Gene*, Bd. 93, S. 183, 1990).
- So hergestelltes Rizin-A wird seit Jahren als **Mittel gegen Krebs** erprobt. Dazu wird es mit Molekülen fusioniert, die **Krebszellen erkennen**, an sie binden und dafür sorgen, dass der **tödliche Teil des Rizins**

von den kranken Zellen aufgenommen wird. Man könnte es natürlich auch an solche Moleküle knüpfen, die an jede Zelle binden, also die B-Komponente durch ein anderes, ähnlich arbeitendes Molekül ersetzen. So könnte zum Beispiel ein Protein namens EGF-R (Epidermaler Wachstumsfaktor-Rezeptor) für Rizin-A ein Tor zur Zelle sein. EGF-R steckt zehntausendfach in der Membran fast jeder menschlichen Zelle. Wenn man nun ein Protein, das dieses Tor aktiviert oder daran bindet, mit Rizin-A koppelt, dann gelangt das Gift in die Zelle und kann sie – wie schon nachgewiesen wurde – abtöten. (J. Cell. Physiol., Bd. 131, S. 418, 1987; Cell, Bd. 22, S. 563, 1980)

Man könnte auch beide Untereinheiten getrennt von Bakterien produzieren lassen und entweder im Reagenzglas durch ein paar schwache chemische Reaktionen zum aktiven Rizin zusammenbauen, oder beide Komponenten dem Opfer getrennt verabreichen. Bei Labormäusen erwies sich diese Mischung ebenfalls als tödlich. (Toxicom, Bd. 22, S. 265, 1984)

In unserem Experiment haben wir zum Kopieren des Rizin-Gens an den Enden kurze Sequenzen gewählt, mit deren Hilfe wir es zweifels- ohne bequem in eine der üblichen Gefäße einbauen können. Diese „Fähren“ oder „Vektoren“ sind entweder Bakterien betreffende Viren oder kleine Erbgutringe (so genannte Plasmide). In sie können mit biotechnischen Routinemethoden bestimmte Erbgutabschnitte, harmlose ebenso wie Gift-Gene, eingefügt werden. Zusätzlich gebraucht werden lediglich einerseits Restriktionsenzyme – jene molekularen Scheren also, mit denen sich DNA schneiden lässt. Andererseits ist das Enzym Ligase vonnöten, mit dem sich zwei DNA-Stücke – also in diesem Falle Rizin-Gen und Gefäße – zusammenkleben lassen. Diese beiden molekularen Werkzeuge hatten auch wir zur Verfügung gehabt. Auf diese Weise verpackt lassen sich Fremdgene dann sehr einfach in das gerne als „Arbeitsstier der Genforscher“ bezeichnete Darmbakterium *Escherichia coli* einschleusen.

Die Gefäße samt Rizin-Ladung (etwa, wie oben beschrieben, nur dem Gen-Teil für die A-Kette des Giftes) in die Coli-Bakterien zu bekommen, wäre tatsächlich annähernd kinderleicht. Denn wenn Coli-Bakterien einem zweiminütigen Hitzeschock von etwa 40 bis 42 Grad Celsius ausgesetzt werden, sind sie danach begierig, DNA aufzunehmen, die man ihnen mit der Nährlösung anbietet. Andere Methoden sind noch effektiver: wie etwa die Elektroporation, bei der in der Zellmembran der Bakterien durch einen Elektroschock kurz Poren geöffnet werden. Auch eine „Gene-Gun“, wie sie etwa der deutsche Biohacker Rüdiger Trojok bereits selbst gebaut hat und mit der winzige DNA-beladene Goldpartikel in die Zelle geschossen werden, eignet sich, um Fremdgene einzuschleusen.

50 Sicherheitsanforderungen für biologische Labore: [LITERATURHINWEISE UND ERLÄUTERUNGEN](http://www.efbs.admin.ch/fileadmin/efbs-dateien/dokumentation/empfehlungen/12_</p>
</div>
<div data-bbox=)

- Unterhaltshandbuch_BSL-2_und_BSL-3labors/12_Unterhaltshandbuch_BSL-2_und_BSL-3_Laboratorien.pdf (abgerufen im Oktober 2012)
- 51 Gesetz zur Regelung der Gentechnik §3c: Als gentechnisches Verfahren gilt nicht die „Selbstklonierung nicht pathogener, natürlich vorkommender Organismen, bestehend aus aa) der Entnahme von Nukleinsäuresequenzen aus Zellen eines Organismus, bb) der Wiedereinführung der gesamten oder eines Teils der Nukleinsäuresequenz (oder eines synthetischen Äquivalents) in Zellen derselben Art oder in Zellen phylogenetisch eng verwandter Arten, die genetisches Material durch natürliche physiologische Prozesse austauschen können, und cc) einer eventuell vorausgehenden enzymatischen oder mechanischen Behandlung.“
- 52 http://www.roche-diagnostics.de/diagnostics/service_beratung/info_portal/blue_genes_molekularbiologie/Seiten/blue_genes.aspx/ (abgerufen im Oktober 2012)
- 53 Stellungnahme des BVL zum Blue-Gene-Koffer http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/06_Gentechnik/ZKBS/01_Allgemeine_Stellungnahmen_deutsch/01_allgemeine_Themen/Blue_Genes.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (abgerufen im Oktober 2012)
- 54 Stellungnahme der ZKBS zu neuen Techniken der Pflanzenzüchtung, Juni 2012 (Az.: 402.45310.0104); http://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/06_Gentechnik/ZKBS/01_Allgemeine_Stellungnahmen_deutsch/04_Pflanzen/Neue_Techniken_Pflanzenzüchtung.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen im Oktober 2012)
- 55 <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/untersuchungen/u9800.html> (abgerufen im Oktober 2012)
- 56 <http://www.opbw.org/undhttp://www.sunshine-project.de/Themen/BTWC-dokumente/btwcexideutsch.pdf> (abgerufen im Oktober 2012)
- 57 Security Implications of Synthetic Biology and Nanotechnology – A Risk and Response Assessment of Advances in Biotechnology, UNICRI, 2011; <http://igem.org/wiki/images/e/ec/UNICRI-synNanobio-final-2-public.pdf> (abgerufen im Oktober 2012)
- 58 <http://bioweathermap.org/data.html> (abgerufen im Oktober 2012)
- 59 <http://diybio.org/safety/howitworks/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 60 <http://www.openbioprojects.net/4201.html> (abgerufen im Oktober 2012)
- 61 <http://brmlab.cz/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 62 <https://brmlab.cz/project/ratbox> (abgerufen im Oktober 2012)
- 63 <http://www.emptytriangle.com/archive/show/52> (abgerufen im Oktober 2012)

- 64 <http://www.waag.org> (abgerufen im Oktober 2012)
- 65 <http://ampilino.org> (abgerufen im Oktober 2012), http://science.leidenuniv.nl/index.php/ibi/newstitem/september_2012_ibi_student_wins_40.000_euro_with_ampilino_project/ (abgerufen im Oktober 2012)
- 66 <http://goodiylbio.org> (abgerufen im Oktober 2012)
- 67 <http://www.madlab.org.uk> (abgerufen im Oktober 2012)
- 68 <http://www.lapailasse.org/about/> (abgerufen im Oktober 2012)
- 69 <http://people.csail.mit.edu/cadlerun/docs/Beal2011TASBE.pdf> (abgerufen im Oktober 2012)
- 70 <http://m.faz.net/aktuell/wissen/mensch-gene/entzifferung-im-usb-stick-das-massenscreening-unserer-genome-wird-eingefaedelt-11674295.html> (abgerufen im Oktober 2012)
- 71 M. Ilaya et al.: Combining two genomes in one cell: Stable cloning of the *Synechocystis* PCC6803 genome in the *Bacillus subtilis* 168 genome. *PNAS*, Bd. 102, S. 15971, 2005; <http://www.pnas.org/content/102/44/15971.full.pdf> (abgerufen im Oktober 2012)
- 72 <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9646162> (abgerufen im Oktober 2012)
- 73 Marcus Wohlsen: *Biopunk*. Current Books, New York 2011, S. 197
- 74 Zitat aus der BBC-Radiosendung „The Forum“ vom 25. August 2012, zugänglich über <http://www.bbc.co.uk/podcasts/series/forum> (abgerufen im Oktober 2012)
- 75 http://www.wired.com/magazine/2010/04/ff_hackers/ (abgerufen im Oktober 2012)
- 76 Leah Lievrouw und Kathleen Carley: Changing patterns of communication among scientists in an era of “telescience”. *Technology in Society*, Bd. 12, S. 457, 1990
- 77 Leah Lievrouw: *Social Media and the Production of Knowledge: A Return to Little Science?* *Social Epistemology*, Bd. 24, S. 219, 2010
- 78 Victoria Stodden: Open Science: Policy Implications for the Growing Phenomenon of User-Led Scientific Innovation. *Journal of Science Communication*, Bd. 9, 2010; <http://jcom.sissa.it/archive/09/01/Jcom0901%282010%29A05/Jcom0901%282010%29A05.pdf> (abgerufen am 27. August 2012)
- 79 <http://online.wsj.com/article/SB124207326903607931.html> (Artikel im Wall Street Journal über Kay Aull, abgerufen im Oktober 2012)
- 80 <http://www.stanford.edu/~vcs/papers/SMPRCS2010.pdf> (abgerufen im Oktober 2012)
- 81 Eric von Hippel: The Dominant Role of Users in the Scientific Instrument Innovation Process. *Research Policy*, Bd. 5, S. 212, 1976
- 82 Derek J. de Solia Price: *Little science, big science*. Columbia University Press, New York 1963
- 83 Robert K. Merton: *The Normative Structure of Science* (1942), in: ders. und Norman W. Storer: *The Sociology of Science. Theoretical and Empirical Investigations*. The University of Chicago Press, Chicago 1973, S. 267–280