



Axel Lange

Von künstlicher Biologie zu künstlicher Intelligenz – und dann?

Die Zukunft unserer Evolution

SACHBUCH

 Springer

Von künstlicher Biologie zu künstlicher Intelligenz – und dann?

Axel Lange

Von künstlicher Biologie zu künstlicher Intelligenz – und dann?

Die Zukunft unserer Evolution

 Springer

Axel Lange
Taufkirchen, Bayern, Deutschland

ISBN 978-3-662-63054-9 ISBN 978-3-662-63055-6 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-63055-6>

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

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2021

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung der Verlage. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Redaktion: Jorunn Wissmann, Binnen
Einbandabbildung: © peshkova/stock.adobe.com

Planung/Lektorat: Stefanie Wolf
Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Von Anfang an läuft etwas schief: Unsere Körper werden durch ein überholtes genetisches Programm aus lange vergangenen Zeiten gesteuert. Dieses genetische Erbe gilt es zu überwinden, und in ersten Ansätzen haben wir auch das Wissen dafür.

Ray Kurzweil, Erfinder und Futurologe

Eine intelligente, absichtsvolle Selektion ist offensichtlich millionenfach schneller als die natürliche Auslese. Indem wir über die natürliche Selektion hinausgehen, haben wir uns bereits als Zauberlehrlinge eingeschrieben.

James Lovelock, Futurologe

There is another sky above the sky.

Wang Jian, Gründer und CEO BGI Group

Für meine Enkel

Danksagung

Dieses Buch konnte nicht ohne die Hilfe befreundeter Fachleute entstehen. Dr. Ulrich Eberl las eine frühere Version des Manuskripts nicht nur kritisch in Bezug auf die Aussagen über künstliche Intelligenz; auch andere Zusammenhänge blieben nicht ohne sein gründliches Hinterfragen. Justus Pötzsch, Mainz, half als Philosoph bei der Überprüfung der einschlägigen Inhalte, besonders im Zusammenhang mit dem Trans- und Posthumanismus. Die Biologen Dr. Reinhard Piechocki, Insel Rügen, und Thomas Waschke, Herborn, halfen mir mit großer Geduld und genauem Hinsehen. Professor Gerd Müller, Wien, nahm als theoretischer Biologe die Überprüfung der evolutionstheoretischen Teile des Manuskripts in gewohnt gewissenhafter Weise vor. Auch seine Hilfe war mir überaus wertvoll. Brigitte Zwenger-Balink, München, las sorgfältig Teile von Kap. 5 und teilte ihre wertvollen Ideen auch zu anderen Fragen mit mir. Stefanie Wolf und Meike Barth bei Springer handhabten tausend Fragen des Projekts vom ersten bis zum letzten Schritt mit ihrer überzeugenden Ruhe und Professionalität, die ein Autor braucht. Jorunn Wissmann übernahm wie bei meinem letzten Buch freundlicherweise das Endlektorat; für ihr tiefes Eindringen in den Inhalt des Manuskripts und die unverzichtbare Hilfe mit ihrer virtuos beherrschten deutschen Sprache schulde ich ihr großen Respekt. Die Verantwortung für jeden Satz, jeden Halbsatz und jedes Wort in diesem Buch verbleibt selbstverständlich allein bei mir.

X Danksagung

Gerne erinnere ich mich an Weihnachten 2019 in Wien, als du, liebe Lemia, mit dem kleinen Büchlein, das die Welt von heute auf einfache Weise erklären will, den Funken für dieses Buch in mir entzündet hast. Ganz so einfach ist die Aufgabe, die ich mir gestellt habe, dann aber doch nicht geworden.

Einführung

Bücher über unsere Zukunft sind gefragt. Es gibt unzählige. Warum dann noch eines? Dieses Buch verfolgt einen völlig neuen Ansatz. Es geht im Kern um nicht weniger als um Fragen zu unserer Zukunft als Spezies aus evolutionärer Sicht. Statistisch betrachtet sind mehr als 99 % der Arten auf der Erde irgendwann ausgestorben. Sind wir die nächsten? Vielleicht sind Sie überzeugt, dass wir als intelligente Wesen doch bessere Karten haben müssten, dauerhaft zu überleben. Aber können wir tatsächlich unsere eigene Art umbauen und optimieren? Gelingt uns das mit den atemberaubenden wissenschaftlichen und technischen Errungenschaften wie moderner Gentechnik, der synthetischen Biologie und Medizin? Rund 300.000 Jahre nach unserem Erscheinen als *Homo sapiens* stehen wir mit dieser Frage heute an einem evolutionären Wendepunkt. Noch nie bot uns die Zukunft solche Chancen wie heute, noch nie aber auch solche Risiken. Der zu erwartende Wandel stützt sich auf zunehmend intelligente Technik; künstliche Intelligenz betrifft alle Lebensbereiche des Menschen. Mit der Ausrichtung auf eine totale Verschmelzung von intelligenter Technik und unserer eigenen Biologie wird eine solche selbstgemachte evolutionäre Veränderung unser Selbstverständnis als Mensch von Grund auf verändern. Dies will ich Ihnen nahe bringen.

Wir verfolgen mit unserer zukünftigen Evolution eigene Ziele. Welche Ziele das sein können, darauf werde ich eingehen. Den Grundsatz der Evolution, dass sie unvorhersehbar ist, dass sie kein Ziel und keinen Plan und schon gar keinen Planer kennt, hebeln wir Menschen aus. Wir greifen mit Macht in unsere eigene Evolution und gleichzeitig in diejenige

unzähliger anderer Lebewesen ein. Die sich inzwischen abzeichnenden Möglichkeiten gezielter genetischer Eingriffe machen eine Evolution durch den Menschen und des Menschen selbst zum möglichen Gegenstand der Zukunftsforschung. Sie, lieber Leser, sollen daher auch einen Einblick in die Grundlagen und Methoden der akademischen Zukunftsforschung erhalten, wie sie heute hauptsächlich in den USA betrieben wird.

Noch immer übersteigt es eigentlich unsere Vorstellungskraft, dass manche Zukunftsszenarien Wirklichkeit werden können. Die Zukunft kommt nicht einfach um die Ecke, etwa in Form von Menschen, die keine Krankheiten mehr bekommen oder die viel intelligenter als wir sind. Es wird keinen *Big bang* mit gentechnisch umgebauten Menschen geben. Aber auch wenn Veränderungen leise vor sich gehen, fällt uns die Vorstellung zukünftiger Umbauten schwer. Das hat verschiedene Ursachen. Erstens leben wir in unseren Gedanken hauptsächlich in der Gegenwart, zumindest nahe um das jeweilige Heute herum. Evolutionär war sehr weites Denken in die Zukunft nie vorrangig, kurzfristige, besonnene Umschau dagegen umso mehr. Wenn es an einem Ort keine Nahrung mehr gab, mussten sich Jäger und Sammler der Steinzeit nur kurz abstimmen, am nächsten Tag weiterzuziehen. Ich erinnere mich noch, als ich Student war und mein Vater eine Lebensversicherung für mich abschloss. Wozu sollte das gut sein? Ich hatte andere Gedanken.

Außerdem geschieht in unserem Leben tatsächlich selten etwas, das einen echten Quantensprung darstellt. Ein solcher seltener Quantensprung war die Auszahlung meiner Lebensversicherung im letzten Jahr! Meist vollziehen sich Entwicklungen in unseren Augen Schritt für Schritt. Nach einer Generation Internet sieht die Welt für uns heute zwar völlig anders aus als davor; im Alltag bekamen wir die Revolution des Internet aber kaum mit. Sie verlief unterhalb unserer Wahrnehmungsschwelle. Letztlich vergessen wir sogar einen echten Durchbruch schnell wieder, wenn es ihn denn tatsächlich einmal gibt. So herrschte jahrzehntelang Einigkeit darüber, dass es für einen Computer unmöglich sei, den Schachweltmeister zu besiegen. Als das 1997 dann tatsächlich geschah – *IBMs Deep Blue* schlug den Weltmeister Garri Kasparow – löste das ein Medienspektakel aus; nach einigen Wochen sprach aber niemand mehr darüber. Das Ereignis erschien dann im Rückblick als etwas, das zu erwarten gewesen war. Dass heutige Schachprogramme auf dem Smartphone dieselbe Aufgabe differenzierter und tausendmal raffinierter lösen, nimmt in der Öffentlichkeit schon niemand mehr wahr.

Ein epochaler Durchbruch war in der jüngeren Biologie die Entdeckung der Genschere CRISPR/Cas9 im Jahr 2012, die einen gebührenden Raum in diesem Buch einnimmt. Haben Sie diese Entdeckung verfolgt? Tatsächlich erkannte das bei uns fast nur der Wissenschaftszirkel, selbst nach dem Nobelpreis für die beiden Entdeckerinnen 2020. Die gentechnischen Möglichkeiten erscheinen vielen abstrakt. Entsprechend vollziehen sich die medizinischen Anwendungen mit CRISPR, einschließlich unseres bevorstehenden Umbaus, in der Wahrnehmung leise.

Wir haben es also aus mehreren Gründen mit verzerrter Wahrnehmung und mangelnder Übung zu tun, wenn wir über Zukunft nachdenken. Wenn Sie daher hier über fantastisch anmutende Zukunftsszenarien lesen, dann denken Sie daran, es hat mit der Evolution des Menschen zu tun, dass Sie manches nicht ohne weiteres glauben können. Das Hier und Jetzt ist in der Evolution wichtiger als das Morgen.

Es liegt mir fern, Science-Fiction-Eindrücke zu erwecken. Vielen Studien zufolge laufen aber zahlreiche Entwicklungen in genau solche geradezu fantastisch klingenden und oft schwer zu glaubenden Richtungen. Um Ihnen diese Entwicklungen näher zu bringen, analysiere ich zunächst den gegenwärtigen wissenschaftlichen Stand zu den einzelnen Themen. Von dort aus führe ich Sie an 12 teils alternative Szenarien heran, die unsere Zukunft bestimmen können. Eine knappe Zusammenfassung des jeweiligen bio- und gentechnischen Wissens steht daher im Mittelpunkt meiner Darstellung. Auf dieser Grundlage möchte ich Ihnen auch den Blick auf jene Vision unserer Zukunft eröffnen, die der Transhumanismus entwirft. Die Ideen der Transhumanisten bleiben hier aber nicht einfach stehen, ohne dass ich sie aus Sicht der Evolution kritisch beleuchte. Die Kernfrage, die mich bewegt, ist: Hat uns die Evolution als aufgeklärte, intelligente Menschen ausreichend dafür gerüstet, unsere Zukunft für ein würdiges Leben unserer Kinder und Enkel und für den Erhalt der Erde zu steuern? Oder hatte Friedrich Dürrenmatt etwa recht, als er sagte: „Die Welt verändert sich durch den Menschen, aber der Mensch verändert sich nicht und fällt der durch ihn veränderten Welt zum Opfer.“ Diese Frage wird uns beschäftigen.

Keineswegs stehe ich den Szenarien ohne eine eigene Meinung gegenüber. Doch das steht meist auf einem anderen Blatt. Sie sollen sich aus den jeweils hoffentlich objektiven Darstellungen eigene Überzeugungen bilden können. Übrigens sind die Kapitel in diesem Buch in sich abgeschlossen. Sie können sie auch in beliebiger Reihenfolge lesen.

XIV Einführung

Wen immer ich als „Leser“, anspreche, als Biologe meine ich natürlich Sie als Mann oder Frau oder Person jedes anderen Genders. Das ist selbstverständlich. Ich wünsche Ihnen nun viel Freude beim Eintauchen in unsere lebendige und aufregende evolutionäre Zukunft.

Taufkirchen bei München
Oktober 2021

Axel Lange
axel-lange@web.de

Inhaltsverzeichnis

Teil I Evolution und Zukunft – kein Widerspruch

1	Unsere evolutionäre Abkopplung von der natürlichen Selektion?	3
1.1	Natürliche Evolution des Menschen in historischer Zeit und in Zukunft	4
1.2	Die menschliche Evolution – immer stärker zielgerichtet	14
1.3	Zusammenfassung	21
	Literatur	22
2	Theorien zur Evolution der Kultur	25
2.1	Moderne Sichten auf die Evolution der menschlichen Kultur	26
2.2	Der Markt ignoriert die evolutionäre Fitness	63
2.3	Kumulative kulturelle Evolution und kollektive Intelligenz bestimmen unsere Zukunft	68
2.4	Zusammenfassung	70
	Literatur	71
3	Wie Wissenschaft mit der Zukunft umgeht	75
3.1	Zukunftselemente	76
3.2	Zukunftsforschung versus Planung	80
3.3	Grundsätze von Futures Studies	82
3.4	Methoden von Futures Studies	85

3.5	Verbreitete Fehler bei Zukunftsaussagen	90
3.6	Exponentieller technischer Fortschritt	92
3.7	Zusammenfassung	98
	Literatur	99

Teil II Biologie, Medizin und KI – gezielte epochale Umwälzungen

4	Molekulare Roboter und künstliche Proteine	103
4.1	DNA-Roboter	105
4.2	Neue Proteindesigns und neues genetisches Alphabet – jenseits natürlicher Evolution	109
4.3	Visionen der Molekularmedizin	113
4.4	Zusammenfassung	117
	Literatur	117
5	Medizintechnik, Chirurgie und Pandemiestrategien – an den Grenzen des Machbaren	121
5.1	Roboterarme	121
5.2	Regeneration von Gliedmaßen	122
5.3	Gewebezüchtung und Xenotransplantation	125
5.4	Organherstellung im 3D-Drucker	126
5.5	Stammzellenverpflanzung	128
5.6	Gehirn- Computer-Schnittstellen und Neuroprothesen	129
5.7	Kopftransplantation – keine Tabus	132
5.8	Strategien zur Vorbeugung und Bekämpfung von Pandemien	137
5.9	Zusammenfassung	155
	Literatur	156
6	Genom-Editierung – Therapien von Erbkrankheiten und noch viel mehr	161
6.1	Die DNA ist kein privilegierter Bauplan des Lebens	162
6.2	Somatische Genom-Editierung – Sieg über tödliche Erbkrankheiten?	163
6.3	Genom-Editierung in der menschlichen Keimbahn – die Büchse der Pandora	171
6.4	Zusammenfassung	176
	Literatur	177

7	Genoptimierung – vom Traum zur Wirklichkeit?	179
7.1	Gentechnisch hergestellte Hochleistungssportler	183
7.2	Schönere, intelligentere und glücklichere Menschen – eine Industrie hebt ab	186
7.3	Evolutionärer Druck auf die Eltern	192
7.4	Neue Menschenarten?	195
7.5	Gene drive – Genveränderung mit Kettenreaktion	198
7.6	Zusammenfassung	205
	Literatur	206
8	Personalisierte Medizin – nur möglich mit Big Data und KI	211
8.1	Unsere Medizin wird auf den Kopf gestellt	211
8.2	Personalisierte Therapie der Zukunft – Beispiel Diabetes	227
8.3	Krankheiten als Erbe der Evolution	236
8.4	Zusammenfassung	239
	Literatur	239
9	Immer älter – von Methusalem-Genen bis Verjüngung und Unsterblichkeit	243
9.1	Altern – ein Buch mit sieben Siegeln	244
9.2	Aus dem Gleichgewicht – alternde Zellen	250
9.3	Die Anti-Aging-Industrie – immer jünger	259
9.4	Einhundert plus	265
9.5	Unsterblichkeit – Fantasie oder wissenschaftliches Ziel?	272
9.6	Zusammenfassung	279
	Literatur	279

Teil III Ferne Visionen und notwendige Transformationen

10	Die transhumanistische Bewegung	287
10.1	Wovon der Mensch schon immer träumt – transhumanistische Ideen	288
10.2	Evolution ohne uns – extreme Formen des Transhumanismus	299
10.3	Kritik des Transhumanismus	316
10.4	Zusammenfassung	333
	Literatur	334

11	Technosphäre, Biosphäre und Gesellschaft – notwendige Transformationen	341
11.1	Ist der Mensch evolutionär für globale Herausforderungen angepasst?	341
11.2	Der evolutionäre Rahmen – verschiebbar, aber nicht wegzudenken	356
11.3	Zusammenfassung	375
	Literatur	375
12	Porträts und Glossar	381
12.1	40 visionäre Köpfe	381
12.2	Glossar	397
	Literatur	411
	Ein persönlicher, nicht wissenschaftlicher Epilog	415
	Stichwortverzeichnis	419

Über den Autor



Axel Lange machte Abitur am Jesuitenkolleg St. Blasien im Schwarzwald. Danach studierte er Wirtschaftswissenschaften und Philosophie an der Universität Freiburg und schloss mit einem Diplom in Volkswirtschaftslehre ab. Beruflich arbeitete er im Vertriebs- und Marketingmanagement in der IT, bevor sein tiefes Interesse an der Evolutionstheorie ihn veranlasste, sich in der Biologie völlig neu zu orientieren. Langes 2012 erschienenes erstes Buch über Evo-Devo und die Erweiterung der synthetischen Evolutionstheorie lieferte die Grundlage dafür, dass die Universität Wien einen Dissertationsvertrag mit ihm abschloss. Am dortigen Department für Theoretische Biologie studierte Lange Biologie und forschte über die evolutionäre Extremitätenentwicklung der Wirbeltiere und – der evolutionäre Gesichtspunkt – über Polydaktylie, also die Ausbildung überzähliger Finger und Zehen bei Neugeborenen. Seine Veröffentlichung mit Gerd. B. Müller über das Wissen der Menschheit zu Polydaktylie in Entwicklung, Vererbung und

Evolution, vom Altertum bis heute, erschien im März 2017 im traditionsreichen amerikanischen Journal *The Quarterly Review of Biology*. Weitere Publikationen befassen sich mit der Selbstorganisationsfähigkeit der Extremität bei gleichzeitiger Variation der Fingerzahlen im Modell.

Der 2018 mit Auszeichnung zum PhD promovierte Biologe hält Vorträge über komplexe epigenetische Evo-Devo-Prozesse im In- und Ausland. Die (nicht-)biologische Zukunft menschlicher Evolution ist ein bevorzugtes Vortragsthema von ihm. Im Rahmen des Studiums der Erweiterten Synthese der Evolutionsbiologie lernte Lange international angesehene Forscher persönlich kennen. Er liebt die Berge, spielt leidenschaftlich gern romantische Klaviermusik und lebt als Autor und Wissenschaftspublizist im Süden von München. Lange hat drei erwachsene Kinder. Im Jahr 2020 erschien von ihm bei Springer das Buch *Evolutionstheorie im Wandel. Ist Darwin überholt?*

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.1 **Kultur.** Menschliche Kultur umfasst die ersten Faustkeile, die Atombombe, Smart-City-Konzepte und die gezielte Veränderung unserer eigenen Art. Kooperation und Zweckbestimmung stehen dabei immer im Mittelpunkt. Ob Kultur aber immer eine evolutionäre Anpassung darstellt, wird im Buch hinterfragt (Smart City Konzept: Alamy) 16
- Abb. 2.1 **Auslegerkanu** Eine traditionelle Version aus dem Jahr 1997 auf der hawaiianischen Hauptinsel Big Island. Variierende Bautechniken der polynesischen Kanus evolvierten in Abhängigkeit von natürlicher Selektion und trugen so maßgeblich zur Besiedlung der pazifischen Inseln bei, die vor 3500 Jahren begann (Auslegerkanu: A Lange) 28
- Abb. 2.2 **Tiger im Wohnzimmer.** Menschen haben heute eigenartige Vorlieben. Evolutionärer Fitness dienen die meisten von ihnen nicht. Wenn das Beispiel im Bild auch offensichtlich ein überzogenes Einzelverhalten zeigt, kann es doch einem Muster entsprechen, wonach Konsumgüter immer öfter Verheißungen erfüllen sollen (Tiger zuhause: Alamy) 66
- Abb. 3.1 **Zukunftsmodell.** Die Zukunft kann einerseitsf als Spektrum der Veränderungen und andererseits als Spektrum des Wissens betrachtet werden (Zukunftsmodell nach Pillkahn: Wikimedia commons) 76
- Abb. 3.2 **Exponentielles und lineares Wachstum.** Die Erwartung linearen Wachstums führt zu anfänglich starker Unterschätzung einer Entwicklung. Wenn diese jedoch tatsächlich exponentiell verläuft, übertrifft sie im späteren Verlauf die Erwartung deutlich. Ein solches Enttäuschungs- und Überraschungsszenario zeigt sich bei der Entwicklung der künstlichen Intelligenz oder beim Klimawandel (Exponentielles und lineares Wachstum: iStock, bearb. AL) 94

- Abb. 4.1 **Modell eines DNA-Nanobots.** Diese aus DNA hergestellte autonome Maschine kann schädliche Moleküle oder Zellen einfangen, ihre Ladung freisetzen, zum Beispiel Antibody-Körper (lila), und sich dann zusammenfalten. Solche Nanobots sollen in Zukunft eine Fülle medizinischer Aufgaben wahrnehmen (DNA-Nanorobot: Shwan Douglas, mit freundlicher Genehmigung) 106
- Abb. 5.1 **Intelligente Armprothese** Es gibt schon heute zahlreiche Entwicklungen KI-gesteuerter Armprothesen, auch mit vielen Sensoren für Berührungs-, Tast- und Druckempfindlichkeit. Sie sind kabellos mit dem Nervensystem gekoppelt. Der Patient spürt Berührungen an einzelnen Fingergliedern und auch Schmerz. Er steuert die Prothese mit seinen Gedanken (Roboterhand: Alamy) 123
- Abb. 5.2 **3D-Bioprint eines Herzens.** Kontraktionsfähiges Herz in der Größe eines Hasenherzens mit allen Zellgeweben. Ziel ist es, ein funktionsfähiges menschliches Herz im Bioprinter zu drucken (3D-Bioprint eines Herzens: Ilia Yefimovich (Erlaubnis angefragt)) 127
- Abb. 5.3 **Vorstudie zu einer Kopftransplantation.** Beagle nach unterzogener Rückenmarkdurchtrennung und -wiederherstellung. Das Tier erlangte drei Wochen nach der Operation annähernd volle sensomotorische Kontrolle zurück (Kopftransplantation(Hund): Surgical Neurology International (Erlaubnis angefragt)) 133
- Abb. 5.4 **Traditioneller Wildtiermarkt in Asien.** Hier werden Fledermäuse, Hunde, Schlangen und andere Tiere als Lebensmittel verkauft. Die Tiere sind oft nicht gehäutet und werden nicht gekühlt. Tausende Menschen kommen täglich vor allem beim Schlachten mit solchen Tieren in Kontakt. Fledermäuse sind Säugetiere und näher mit uns verwandt als etwa Schlangen. Das Übertragungsrisiko von Zoonosen ist bei ihnen daher höher (Traditioneller Wildtiermarkt in Asien: Shutterstock) 139
- Abb. 5.5 **Zerstörung der Tropenwälder.** Das zerfranste Muster der Abholzung tropischer Wälder wird begleitet von immer neuen Straßen, Schienen, Gold- und Silberminen, Camps und Flugplätzen im Urwald und steigert die Kontakte zwischen Menschen und Wildtieren. Die Aufnahme aus dem Jahr 2019 zeigt Teile eines 960 Quadratkilometer großen verwüsteten Gebiets mit illegalen Goldminen im peruanischen Amazonasgebiet Madre de Dios. Böden und Flüsse werden beim Abbau durch Quecksilber vergiftet (Zerstörung der Tropenwälder: Olivier Donnars, Picture Alliance) 144

- Abb. 5.6 **Wildtierhandel** Der menschliche Kontakt mit Wildtieren beschränkt sich nicht auf Wildfleischmärkte in Afrika und Asien, sondern umfasst auch einen weltweiten, oft illegalen Handel mit exotischen Tieren. Hier eines von 101 Gürteltieren, die in Indonesien vor illegalen Wildtierschmugglern gerettet werden konnten (Schuppentier: Shutterstock) 145
- Abb. 6.1 **CRISPR/Cas9.** Das Enzym Cas9 detektiert und entfernt einen bestimmten Teil in der DNA (o.) und ersetzt ihn präzise durch einen neuen (u.) (CRISPR/Cas9: Alamy) 165
- Abb. 7.1 **In-vitro-Fertilisation (IVF).** Künstliche Befruchtung erlaubt ein erhebliches Maß künstlicher Selektion des Erbmaterials, jedoch nicht dessen direkte Manipulation. Erst die Kombination von IVF mit PID und CRISPR eröffnet unbegrenzte Möglichkeiten der Optimierung und Vererbung von Eigenschaften aller Art (vgl. Infobox 9) (In-vitro-Fertilisation (IVF): iStock) 191
- Abb. 8.1 **Biosensoren in der Kontaktlinse.** Transparente Biosensoren sollen bis zu 2000 unterschiedliche Messungen von Körperfunktionen wahrnehmen (Biosensoren in Kontaktlinse: ScienceX (Erlaubnis angefragt)) 216
- Abb. 8.2 **Wearables der Zukunft** Tragbare, intelligente Systeme werden im Post-Smartphone Zeitalter eine Vielzahl von Funktionen für Gesundheitsüberwachung und -management aufweisen, stets verbunden mit dem Internet (Wearables der Zukunft : Alamy) 217
- Abb. 8.3 **Mikronadeltherapie bei Diabetes.** Bahnbrechende Methode, um Insulin über ein Pflaster in genauen Dosierungen abzugeben (Mikronadeltherapie bei Diabetes: Zhen Gu, mit freundlicher Genehmigung.) 232
- Abb. 9.1 **Verjüngung.** Die Zukunft wird die zelluläre Verjüngung von Geweben und ganzen Organen mit sich bringen. Schließlich wird der gesamte Organismus verjüngt werden. Ein gigantischer Anti-Aging Markt entsteht (Verjüngung: Alamy) 266
- Abb. 9.2 **Die Hundertjährigen.** Das durchschnittliche Sterbealter verschiebt sich seit 1900 in Deutschland tendenziell hin zu höherem Alter bis 100 Jahre und darüber. Gleichzeitig wird die Abweichung vom Durchschnitt (Varianz) auf Grund des Fortschritts in der Medizin geringer (Die Hundertjährigen: Jean Pierre Fillard: Longevity in the 2.0 world. World Scientific Publishing, Copyright 2020, mit freundlicher Genehmigung) 269
- Abb. 10.1 **Gehirn im Tank.** Ein vom Körper getrenntes, lebendes Gehirn soll in einem Gedankenspiel in einem Tank mit einem Computer verbunden werden. Man will wissen, ob man dem Gehirn elektronische Informationen derart vorspielen kann, dass es nicht mehr zwischen einer echten und simulierten Welt unterscheiden kann (Gehirn im Tank: Wikimedia commons) 301

- Abb. 10.2 **KI-Ebenen nach Fähigkeiten.** Eine schwache KI ist spezialisiert auf ein Gebiet. Die *AGI (Artificial General Intelligence)* kann hingegen viele Aufgaben auf menschlichem Niveau erfüllen. Eine Superintelligenz (*Artificial Super Intelligence*) ist eine dem Menschen auf jedem Gebiet überlegene Intelligenz. Sie kann auch eigene Ziele verfolgen und hat die Fähigkeit, diese Ziele eigenständig zu verändern. Eine starke KI besitzt als höchste denkbare Stufe zusätzlich Formen von Bewusstsein, Selbsterkenntnis, Empfindungsvermögen, Emotionen und Moral (KI-Ebenen nach Fähigkeiten: Springer) 304
- Abb. 10.3 **Elenoide, moderner humanoider Roboter.** *Elenoide* wurde in Japan entwickelt. Sie wiegt 45 kg, hat Konfektionsgröße 36 und kostete 2018 als Unikat rund eine halbe Million Euro. Sie kann sprechen, zeigt menschliche Züge, kann Arme und Hände bewegen, aber nicht laufen. Solche Systeme können etwa an Rezeptionen eingesetzt werden. Die Technische Universität Darmstadt nutzt diesen Roboter, um menschliche Reaktionen auf Maschinen zu erforschen. Die Weiterentwicklung mit immer neuen menschlichen Eigenschaften wird nicht auf sich warten lassen. Doch bis ein Verhalten auf menschlichem Niveau erreicht ist, sind noch große Hürden zu überwinden. Zu diesem Zweck müssen Maschinen überdies nicht unbedingt menschenähnlich aussehen (Elenoide: Picture Alliance) 306
- Abb. 10.4 **Intelligenzexplosion.** Nick Bostrom nimmt das Wissen von Maschinen, wenn diese die menschliche Kognitionsfähigkeit übersteigen, in der *Takeoff*-Phase explosionsartig zu, da sie schnell voneinander lernen. Haben sie das Level einer Superintelligenz erreicht, ist unklar, welche Ziele sie haben und ob wir diese Ziele und ihr Verhalten noch kontrollieren können (Intelligenzexplosion: Springer) 313
- Abb. 11.1 **Überbevölkerung.** Sie kann als das zentrale Problem der Menschheit gesehen werden. Aus ihr lassen sich die meisten anderen globalen Herausforderungen für unsere Zukunft ableiten. Konrad Lorenz führte in seinem mahnenden Buch bereits vor einem halben Jahrhundert die Überbevölkerung als erste der *Acht Todsünden der zivilisierten Menschheit* an (Lorenz 1973). Er verband mit dem Zusammenpferchen vieler Menschen auf engstem Raum die Erschöpfung zwischenmenschlicher Beziehungen, Erscheinungen der Entmenschlichung und aggressives Verhalten. Niemand weiß genau, wie viele Menschen heute in Städten wie Kairo, Dhaka oder Lagos leben und um wie viele Hunderttausende die Einwohnerzahlen jährlich zunehmen (Überbevölkerung: Shutterstock) 354

- Abb. 11.2 **Biologischer und technischer Zyklus beim *Cradle to cradle*.**
Beim C2C gibt es keine Abfälle und keinen Ressourcenverbrauch mehr. Alles auf der Welt, von der Schuhsohle bis zum Smartphone, wird „Nährstoff“ für etwas Neues (Cradle to Cradle: Wikimedia commons) 358
- Abb. 11.3 **Vermüllung der Welt.** Strand auf Bali, Indonesien 2017
(Umweltvermüllung: Shutterstock) 364

Verzeichnis der Szenarien

- Beispielszenario** Abnehmende Rolle der Sexualität zur Erzeugung von Kindern
- Szenario 1** Anwendungen, Wissensformen und Veränderungsarten bei Nanomedizin
- Szenario 2** Künstliche und regenerative Extremitäten, Organe und Gehirnschnittstellen
- Szenario 3** Somatische Genom-Editierung und erbbedingte Krankheiten
- Szenario 4** Genom-Editierung in der menschlichen Keimbahn
- Szenario 5** Genom-Editierung und Human Enhancement
- Szenario 6** Genom-Editierung mit Gene drive in der Keimbahn des Menschen
- Szenario 7** Personalisierte Medizin der Zukunft
- Szenario 8** Die Verlängerung des Lebensalters und Unsterblichkeit
- Szenario 9** Transhumanistisches Denken und die Evolution
- Szenario 10** Intelligenzexplosion und Superintelligenz
- Szenario 11** Ausgewählte kritische Sichten auf die Zukunft des Menschen
- Szenario 12** Notwendige Transformationen in eine lebenswerte evolutionäre Zukunft

Verzeichnis der Infoboxen

- Infobox 1** Evolutionäre kulturelle Fehlanpassungen
- Infobox 2** Kumulative kulturelle Evolution
- Infobox 3** Die Erweiterte Synthese der Evolutionstheorie
- Infobox 4** 15 globale Herausforderungen des State of the Future Index (SOFI)
- Infobox 5** Exponentieller technischer Fortschritt
- Infobox 6** Nano- und Mikrowelt in der Medizin
- Infobox 7** Kleines ABC der Molekularbiologie
- Infobox 8** Die CRISPR/Cas-Genschere
- Infobox 9** In-vitro-Fertilisation und Präimplantationsdiagnostik
- Infobox 10** Gene drive – Genantrieb
- Infobox 11** Künstliche Intelligenz
- Infobox 12** Telomere
- Infobox 13** Die transhumanistische Deklaration
- Infobox 14** Ausgewählte akademische Einrichtungen für Zukunftsforschung
- Infobox 15** Postwachstum

Teil I

Evolution und Zukunft – kein Widerspruch

In diesem Buch stelle ich Ihnen zwölf Szenarien über unsere evolutionäre Zukunft vor. Die ersten acht werden rund um die evolutionäre Zukunft der synthetischen Biologie und der Medizin entwickelt. Ich hoffe, bereits diese Lektüre allein wird Sie fesseln. Aber ich möchte es bei diesen Szenarien nicht beruhen lassen, sondern werde diese als Evolutionsbiologe im Gesamtzusammenhang mit einigen Fragen diskutieren, die dem Buch seine besondere Note geben und Ihr besonderes Interesse wecken sollen: Wir wollen wissen, wie gezieltes kulturelles Verhalten des Menschen evolutionär einzuordnen ist. Gehört es überhaupt zur Evolution? Tatsächlich nehmen wir mit Techniken wie der Genetik und künstlichen Intelligenz unsere Evolution selbst in die Hand. Hier liegt demnach Planung vor, die Zukunftsüberlegungen mit einschließt. Damit stellt sich gleich die nächste Frage, wie wir die natürliche Selektion aufhalten oder ob wir uns gar von ihr lösen können. Zuletzt muss diskutiert werden, ob das kulturelle Verhalten des Menschen in der Technosphäre der Erhaltung unserer eigenen Art dient. Verhalten wir uns also im darwinschen Sinn angepasst? In den USA etwa besteht verbreitet die Neigung, jeglichen technischen Fortschritt als Verbesserung der menschlichen Verhältnisse zu werten. Das trifft aber aus Sicht der Evolution gar nicht zu. Handeln wir heute eher aus kurzfristigen Motiven, die auch zu evolutionären Fehlanpassungen der Menschheit führen können oder sogar müssen? Das wird uns im Folgenden beschäftigen. – Beginnen wir aber im ersten Kapitel mit dem Mann, der unser Denken über das Leben auf der Erde revolutioniert hat.

2 Evolution und Zukunft – kein Widerspruch

Evolution verstehe ich in diesem Buch gemäß der modernen Evolutionstheorie als die generationenübergreifende Veränderung in der Verteilung vererbbarer Merkmale einer Population. Dabei werden vererbte Merkmale ausdrücklich nicht nur genetisch weitergegeben. Neben der genetischen gibt es auch epigenetische, physiologische und ökologische Vererbung, soziale Verhaltensübertragung sowie kulturelle Vererbung. Kulturelle Vererbung und Evolution werden uns hier besonders interessieren.



1

Unsere evolutionäre Abkopplung von der natürlichen Selektion?

Seit dem ersten Lebewesen auf unserer Erde, dem sogenannten *Last universal common ancestor* (kurz *LUCA*), unserem gemeinsamen ältesten Vorfahren vor 3,5–3,8 Mrd. Jahren, bestimmt die natürliche Selektion die Entwicklung des Lebens. Auch wenn sich das im Folgenden hier so anhören mag, ist sie natürlich keine aktive, sondern eher eine „blinde“ Kraft, ein passiver Prozess der Beseitigung. Besser noch kann man sie als das Zusammenwirken zahlreicher Bedingungen sehen, infolgedessen sich die für die Fortpflanzung am besten geeigneten Individuen einer Art durchsetzen und vermehren. Es ist die großartige Leistung Charles Darwins (1809–1882), dass er den Mechanismus der natürlichen Selektion entdeckte und in seinem Hauptwerk *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* (deutsch *Die Entstehung der Arten*) ausführlich beschrieb (Darwin 1859). Wenn auch die Idee der Veränderung von Arten nicht neu war, so haben Darwin und zeitgleich Alfred Russel Wallace, ein weiterer Engländer, in einer zusammenhängenden Theorie einen Mechanismus entworfen, mit dem die natürliche Entwicklung des Lebens auf der Erde erstmals schlüssig erklärt werden konnte.

1.1 Natürliche Evolution des Menschen in historischer Zeit und in Zukunft

Evolvieren wir noch weiter, oder ist für uns ein Endpunkt erreicht? Man kann sich tatsächlich leicht vorstellen, dass natürliche Evolution bei uns nicht mehr stattfindet und wir in einen Zustand der Stasis eingetreten seien. Diese Anschauung wird auch wissenschaftlich intensiv behandelt (Powell 2012). Aus einer solchen Sicht ist die menschliche Evolution zum Stillstand gekommen. Als Grund dafür wird angegeben, dass aufgrund unserer Kultur und anderer Ursachen, die durch die Evolutionstheorie nicht adäquat erfasst werden, die Evolution gedämpft werde (Varki et al. 2008).

Paläontologen und anthropologische Evolutionsbiologen sind sich zwar beispielsweise einig darüber, dass *Homo sapiens* und der Schimpanse einen gemeinsamen Vorfahren haben. Doch ein Konsens darüber, ob unsere Spezies heute noch immer evolviert, besteht im weltweiten Wissenschaftszirkel nicht. Tatsächlich sagte ein so namhafter Evolutionsbiologe wie Ernst Mayr (1904–2005), man müsse den Schluss ziehen, dass die menschliche Evolution zu einem Halt gekommen sei (Mayr 2005). Nicht weniger deutlich brachte der berühmte Paläontologe Stephen Jay Gould (1941–2002) im Jahr 2000 zum Ausdruck, die natürliche Selektion sei für den Menschen nahezu irrelevant geworden. Auch so namhafte Wissenschaftler wie die Nobelpreisträger Konrad Lorenz (1903–1989) und Jacques Monod (1910–1976) waren überzeugt, dass auf Grund der Größe des Genpools der Menschheit, also wegen ihrer genetischen Vielfalt, ein evolutionärer Stillstand eingetreten sein müsse. Tatsächlich existierten in der Naturgeschichte der Dinosaurier einige Vertreter, die 80 Mio. Jahre ohne sichtbare Änderung über das Land stampften, das ist immerhin etwa 250-mal länger als es uns gibt. Und auch manche der heutigen Schildkröten, Haie oder Krokodile ähneln ihren Vorfahren frappierend. Aber wenn wir bei ihnen über eine Stasis von vielen Millionen Jahren sprechen, so sind es beim *Homo sapiens* gerade mal 300.000 Jahre, seit er scheinbar unverändert die Erde besiedelt. Das ist ein gravierender Unterschied.

Beispiele über Beispiele für die Evolution des Menschen in historischer Zeit

Nach wie vor gilt für uns wie für alle Lebewesen, dass wir in natürliche Evolutionsprozesse eingebunden sind. Wir evolviere auch heute biologisch

weiter (Mitteroecker 2019; Solomon 2016; Templeton 2016; Powell 2012; Cochran und Harpending 2009; Stock 2008). Der Wiener Evolutionstheoretiker Philipp Mitteroecker (2019) betont, dass die heutige Forschung zur Evolution des menschlichen Körpers im Licht fortlaufender sozio-kultureller Entwicklungen und Umweltveränderungen betrachtet einen Rückstand aufweist. Wenn sich auch die Erforschung der Evolution des modernen Menschen auf historische Beispiele beschränken muss, darf doch angenommen werden, dass wir auch jetzt und in Zukunft biologisch evolvieren (Stock 2008). Der Mensch von morgen wird demnach nicht derselbe sein wie der von heute. Es wird sogar behauptet, die Evolution des Menschen habe sich in den vergangenen 10.000 Jahren beschleunigt und sei 100-mal schneller als im langfristigen Durchschnitt der letzten sechs Millionen Jahre (Cochran und Harpending 2009). Nachweislich ist in den vergangenen Jahrtausenden, also in historischer Zeit, eine Reihe evolutionärer Veränderungen beim Menschen aufgetreten, auf die ich kurz eingehen möchte. Die Milchverträglichkeit oder Lactosetoleranz ist wohl die kulturell bedeutendste von allen. Auf sie komme ich noch ausführlich zu sprechen (Abschn. 2.1). Daneben kam die Blutgruppe B hinzu, die 10.000 bis 15.000 Jahre vor der Zeitenwende erstmals in den Bergen des Himalaya auftrat. Die Sichelzellanämie – eine erbliche Erkrankung der roten Blutkörperchen – ist eine weitere junge Mutation. Sie schützt vor Malaria und findet sich in Afrika, wo die Mutation mindestens viermal unabhängig auftrat, häufiger als bei uns. Die Anti-Malaria-Anpassung durch die Sichelzellanämie konnte mit starken Selektionskräften aber erst geschehen, nachdem der Mensch in der Geschichte Ägyptens mit Anpflanzungen in feuchten Umgebungen großächtig die kulturelle Umgebung geschaffen hatte, in der sich infektiöse Krankheiten überhaupt ausbreiten (Templeton 2016).

Beobachtet wird daneben nicht nur eine Reduzierung der Anzahl an Weisheitszähnen (haben Sie noch welche?), sondern seit vorhistorischer Zeit auch eine fortlaufende Verkleinerung der menschlichen Zähne. Intensives Kauen ist nicht mehr so wichtig wie früher, als sich unsere Vorfahren noch von rohem Fleisch ernährten. Der Selektionsdruck auf große Zähne verringerte sich zunehmend durch den Gebrauch des Feuers für das Kochen und Garen der Nahrung, also kulturell bedingt. Da unser Gehirn jedoch gleichzeitig in den letzten 1,5 Mio. Jahren stark an Größe zunahm, hatte unser Kiefer als Begleiteffekt des Gehirnwachstums das Nachsehen; er musste sich notgedrungen verkleinern. Der Kiefer wurde sogar schneller kleiner als die Zähne, so dass ein Engpass entstand, der die Weisheitszähne nicht mehr