

Genmanipulierte Menschheit

Paul Knoepfler

Genmanipulierte Menschheit

Evolution selbst gemacht

Aus dem Englischen übersetzt von Martina Wiese
Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Claudia Wiesemann
Unter Mitarbeit von Ulrike Roll

 Springer

Paul Knoepfler
School of Medicine
UC Davis Health System
Davis, Vereinigte Staaten von Amerika

Aus dem Englischen übersetzt von Martina Wiese, Rösrath, Deutschland

Übersetzung der englischsprachigen Ausgabe: *GMO Sapiens - The Life-Changing Science of Designer Babies*, erschienen bei World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapur, 2016. Copyright © 2016 by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. All rights reserved. This book, or parts thereof may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Publisher. German translation arranged with World Scientific Publishing Co. Pte Ltd., Singapore. Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-662-56000-6 ISBN 978-3-662-56001-3 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-56001-3>

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

Springer

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018

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

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

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.

Verantwortlich im Verlag: Sarah Koch
Einbandabbildung: ©red150770/Adobe Stock

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH Deutschland und ist Teil von Springer Nature
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Dieses Buch ist einigen wunderbaren Vertretern der Spezies Homo sapiens gewidmet, unter anderem meiner Familie, Freunden und Studierenden, sowie den künftigen Vertretern der Spezies GMO sapiens oder menschlichen Klonen, falls es sie jemals geben sollte.

Geleitwort

Die Biologie, einst eine beschauliche Wissenschaft von Botanikern und Zoologen, ist in den Schlagzeilen. Eine neue, bestechend einfache Technologie mit dem zungenbrecherischen Namen „CRISPR/Cas9“ scheint die Naturwissenschaft zu revolutionieren. Denn die neue Technologie macht es möglich, gezielt Genabschnitte zu verändern und so Lebewesen zu erzeugen, die Wunscheigenschaften haben: Pflanzen, die resistent gegen Schädlinge sind, Moskitos, die keine Malaria mehr übertragen können. Eine Vielzahl von praktischen Anwendungen wird diskutiert oder gerade jetzt schon in einem sich mit atemberaubender Geschwindigkeit entwickelnden Feld in die Praxis umgesetzt, Anwendungen, die unser Bild von der urwüchsigen, nach eigenen Gesetzen funktionierenden Natur vollständig umkrempeln können. Und viele stellen sich die Frage, ob diese Revolution vor dem Menschen haltmachen soll. Sollten wir die Technik der Geneditierung nicht auch nutzen, um Menschen von schwerwiegenden genetisch bedingten Erkrankungen zu befreien, etwa von erblichem Brustkrebs oder von der verhältnismäßig häufig auftretenden Lungenkrankheit Mukoviszidose? Im Verbund mit der Befruchtung in der Petrischale könnten solche erblichen Anlagen schon beim Embryo korrigiert werden.

Doch bei so drastischen Eingriffen in die Natur von Mensch, Pflanze und Tier stockt manchem der Atem. Dürfen wir die Natur so grundlegend nach unseren Vorstellungen formen? Wissen wir, welche unbeabsichtigten Auswirkungen das haben kann? Dürfen wir – und das ist vielleicht die gewichtigste aller Fragen – zukünftigen Generationen die Folgen unseres Handelns aufbürden? Denn die Veränderungen am Genom von Keimzellen – erwünschte wie unerwünschte – werden unweigerlich an die nächsten Generationen weitergegeben. Manche Wissenschaftler fassen sogar schon ein Zeitalter ins Auge,

in dem Kinder mit erwünschten Eigenschaften geboren werden, die von ihren Eltern wie aus einem Katalog der Geneditierung zusammengestellt wurden: Intelligenz, Musikalität, Körpergröße, Haut- oder Augenfarbe ließen sich so modifizieren. In einem solchen Zeitalter kämen Entscheidungen auf Eltern zu, die ihre jetzige Verantwortungslast immens erhöhen würden, die in einer sich immer schneller drehenden Leistungsspirale der Verbesserung ihrer Nachkommen münden könnten. Wollen wir das?

Eine Technik, die so segensreich wie fatal, so erneuernd wie umstürzlerisch sein kann, braucht unser aller Engagement. Schon den beiden Naturwissenschaftlerinnen Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna, die sie entwickelt haben, war klar, dass solche weitreichenden Entscheidungen nicht im Labor getroffen werden dürfen. Wir sind alle herausgefordert, uns ein Bild zu machen und die Zukunft mitzuentcheiden. Denn, ob wir es wollen oder nicht, sie wird in unser aller Leben eingreifen. Wir sind herausgefordert, ihr Ziele zu setzen und Grenzen zu ziehen, die Zukunft zu planen, ohne sie zu verplanen oder gar zu zerstören.

Eine solche Generationenaufgabe kann man nur bewältigen, wenn man versteht, worum es genau geht, wenn es einem also gelingt, sich ein eigenes Bild zu machen. Paul Knoepflers Buch lädt dazu ein. Es führt uns in die faszinierende Welt der Genomtechnologie, ohne uns mit unverständlichen Vokabeln zu erschlagen. Es bietet die Chance, sich ein eigenes Bild der Technik zu machen, ohne zu bevormunden. Knoepfler ist Biologe und diskutiert schon lange in einem Blog gesellschaftliche und ethische Fragen der Wissenschaft mit seinen Leserinnen und Lesern. Für ihn ist Naturwissenschaft keine Geheimdisziplin, die in abgeschotteten Laboratorien vor den Augen der Öffentlichkeit verborgen ihre Strategien verfolgt. Sie muss ihre Ziele und Methoden im Dialog mit Öffentlichkeit und Politik, mit Patienten und Betroffenen entwickeln und sich der gesellschaftlichen Verantwortung stellen. Deshalb führt uns Paul Knoepfler auf unterhaltsame Weise die atemberaubenden Möglichkeiten der Gentechnologie vor und gibt uns zugleich alle Informationen an die Hand, um selbst zu einem verantwortlichen Urteil zu gelangen.

Prof. Dr. Claudia Wiesemann
Direktorin des Instituts für Ethik und Geschichte der Medizin,
Universitätsmedizin Göttingen sowie stellvertretende Vorsitzende des
Deutschen Ethikrats

Vorwort

Dieses Buch zu schreiben, war ein wilder Ritt.

Seit Jahrzehnten ist das Thema „Designerbabys“ ein Aufreger. In manchen Fällen grenzte die Besorgnis schon an Hysterie. Andererseits nahmen die meisten Wissenschaftler die Diskussionen über Designerbabys, offen gesagt, nicht ernst genug, um sich darüber Sorgen zu machen. Zu ihnen gehörte auch ich. Immerhin war es nichts weiter als eine Idee, und zu ihrer Verwirklichung galt es immense technische Hürden zu überwinden. Noch vor zehn Jahren glaubten viele von uns, es sei ein Hype und sonst nichts.

Heute nehmen Forscher mögliche Versuche, Designerbabys zu erzeugen, sehr ernst. Wer sich aus unseren Reihen öffentlich zu dem Thema geäußert hat, steht solchen Bestrebungen gemeinhin kritisch gegenüber, aber das gilt nicht für alle. Einige prominente Stimmen, darunter Wissenschaftler, Ethiker und Juristen, treten dafür ein, Designerbabys zu erschaffen. All dies spricht meines Erachtens immer mehr dafür, dass irgendwer es so gut wie sicher versuchen wird. Ein derartiges Unterfangen wäre zurzeit noch ausgesprochen sittenwidrig und gefährlich, aber wann haben solche potenziellen Gefahren Menschen jemals davon abgehalten, etwas Verrücktes zu tun?

Noch aus einem anderen Grund verfolgen Wissenschaftler das Thema sehr genau. Die neue Technologie zur genetischen Modifikation mit dem Namen „CRISPR/Cas9“ hat nicht nur die Erschaffung von Designerbabys in greifbare Nähe gerückt, sondern auch umwälzende Fortschritte in der Laborforschung ermöglicht. Viele Wissenschaftler sind sehr besorgt, dass Versuche skrupelloser Labors, Designerbabys zu schaffen, nicht nur einzelne Menschen unmittelbar gefährden könnten, sondern auch andere wichtige und relativ unumstrittene Forschungsarbeiten zum *Genome Editing* mittels CRISPR/Cas9 in Gefahr bringen.

Ich glaube, dass in den nächsten Jahren einige Forscher versuchen werden, genetisch modifizierte Menschen (GM) zu erzeugen. In der Welt der Biomedizin wird Science-Fiction Wirklichkeit. Daher ist öffentliche Aufklärung und mehr Diskussion über die möglichen Folgen dieser Technologie für die Welt und uns dringend geboten. Diese Folgen könnten vorteilhaft, verheerend oder eine komplexe Menage aus beidem sein. Daher habe ich den Entschluss gefasst, dieses Buch zu schreiben – mit dem Ziel, durch mehr Aufklärung und den Anstoß zu Diskussionen Bewegung in das Thema zu bringen.

Ein wichtiges Ziel beim Schreiben des Buches war, die Eigenheiten dieser tief greifenden wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Umwälzung einem breiten Publikum auf verständliche Weise zu erläutern und das Bewusstsein dafür zu schärfen, dass es in den kommenden Jahren genetisch modifizierte Menschen geben könnte. Aufklärung ist eine gute Sache, stimmt's? Dennoch rieten mir einige Kollegen, als ich Ende 2013, Anfang 2014 mit der Arbeit an dem Buch begann, die Finger davonzulassen. „Das Thema ist zu kontrovers und wird die allgemeine Besorgnis über Biotechnologie zu sehr schüren“, hieß es. „Es wird die Leute aufregen.“

Andere hingegen unterstützten die Idee, ein neues Buch über Genmodifikation beim Menschen zu schreiben, nachdrücklich. Mir war jedoch klar, dass es nicht irgendein Buch und keinesfalls ein schwer verdauliches Lehrbuch sein durfte. Es musste ein Buch sein, das für eine große und bunt gemischte Leserschaft verständlich (und sogar unterhaltsam) war. Ein neues, leicht zugängliches Buch könnte fundiertes Wissen vermitteln und zudem ganz verschiedene Menschen im Hinblick auf das Thema inspirieren, was für mich ein weiterer Ansporn war. Da ich kein derartiges Buch kannte, beschloss ich, es selbst zu schreiben. Genauso war es mir mit dem Thema „Stammzellen“ ergangen, als ich die Arbeit an meinem ersten Buch *Stem Cells: An Insider's Guide* aufgenommen hatte. Im Jahr 2012 bestand ebenfalls eine problematische Kluft zwischen der Stammzellenforschung und der Öffentlichkeit, und man brauchte Wissenschaftler, die diese Kluft überwandten und sich mit den Menschen auseinandersetzten. Nun gilt das Gleiche für die humane Genmodifikation.

Es ist ermutigend, dass über Genmodifikation beim Menschen eine öffentliche Diskussion eingesetzt hat. So war ich, während ich weiter an meinem neuen Buch schrieb, froh zu hören, dass Anfang 2015 einige prominente GMO-Forscher wie Jennifer Doudna öffentlich Bedenken über humane Genmodifikation äußerten. Doudna gehört zu den Spitzenforschern, deren Arbeiten – die Forschung über CRISPR/Cas9-Technologie oder kurz „CRISPR“ – eine genetische Veränderung des Menschen indirekt ermöglicht haben.

CRISPR erleichtert die Editierung des Genoms etwa so wie eine Computertastatur die Überarbeitung eines Buches. Ganz so, wie man sich beim Schreiben auf einer Tastatur oft vertippt, können auch CRISPR Fehler unterlaufen – nur dass es für derartige Fehler im menschlichen Genom keine Auto-korrektur gibt. Überdies entdecken wir solche Fehler vielleicht erst dann, wenn es schon zu spät ist.

Doudna und andere *Genome-Editing*-Forscher ergriffen die Initiative und machten darauf aufmerksam, dass CRISPR die Veränderung menschlicher Embryos ermöglichen könnte. Sie warben öffentlich für einen Dialog über die Modifikation von Menschen. Im Juni 2015 gab es sogar eine Anhörung vor dem US-Kongress, bei der Doudna als Podiumsgast auftrat. Weitere Diskussionen unter Beteiligung einer möglichst breiten Öffentlichkeit wären hilfreich, und dabei könnte ein Buch gute Dienste leisten.

Je mehr ich bei meinen Nachforschungen über das Thema in Erfahrung brachte, desto mehr Lust bekam ich, einen Blog darüber zu schreiben, und nahm auf diesem Weg nun selber an dem Dialog teil. So knüpfte ich Kontakte zu führenden Wissenschaftlern im Bereich des *Genome Editing* und der Genomik, um sie in den Dialog einzubinden. Ich postete Interviews mit ihnen in meinem Blog, darunter Doudna, der Genetiker George Church von Harvard und die Rechtswissenschaftlerin Nita Farahany von der Duke University. Die beiden Letzteren sind Verfechter der Genmodifikation beim Menschen unter bestimmten Umständen, betrachten die Sache jedoch aus völlig verschiedenen Blickwinkeln. Im Mai 2015 lud man mich zu einem Vortrag bei einer Tagung über vererbare humane Genmodifikation an der Stanford Law School ein, die der Rechtswissenschaftler Hank Greely organisiert hatte. Ich habe die Ergebnisse der Tagung in meinem Blog zusammengefasst (Knoepfler Lab 2015) und gehe in Kap. 10 weiter darauf ein. Am Ende der Tagung griffen wir Fragen aus dem Publikum auf, was in einen großartigen Meinungs-austausch mündete.

Im Zusammenhang mit dem Thema sah ich mich zuvor sogar ansatzweise in einen internationalen Zwischenfall mit Professor Sally Davies, der britischen Regierungsberaterin für Gesundheitsfragen, verwickelt. In Großbritannien traten einige Personen, darunter Davies, entschieden für die Genehmigung einer Form von vererbbarer humaner Genmodifikation ein, um bestimmte Krankheiten – sogenannte mitochondriale Erkrankungen – zu bekämpfen. Damals wurde dieses Thema im britischen Parlament intensiv erörtert. Davies bezeichnete meine in den Medien verbreiteten Bedenken wegen Sicherheitsrisiken dieser „Drei-Personen-IVF“ (einer künstlichen Befruchtung mit zwei Müttern und einem Vater) als „Quatsch“. So negativ das auch klingen mag – ich fasste es als äußerst positives Zeichen dafür auf, dass sich, auch über meinen

Blog, eine Diskussion in Gang bringen ließ, die politische Entscheidungsträger betraf und einbezog. Bemerkenswerterweise ist die Drei-Personen-IVF in Großbritannien bislang nicht erfolgreich eingesetzt worden; in den USA hat die Food and Drug Administration (FDA) sie wegen Sicherheitsbedenken verboten.

Weil ich am Gerangel um die Genmodifikation beim Menschen beteiligt war, entwickelte sich mein Blog zu einer hilfreichen Quelle zu diesem Thema. Demzufolge sind einige Abschnitte des Buches teilweise oder ganz (z. B. Interviews) meinem Blog entnommen.¹

Der englische Titel des Buches *GMO Sapiens* ist eine Kombination aus *Homo sapiens* und „GMO“. Um Missverständnissen vorzubeugen: Sollte es jemals GM-Menschen geben, würde ich sie keinesfalls als „*GMO sapiens*“ titulieren, doch momentan brauchen wir für sie eine Bezeichnung, auch wenn sie hypothetisch bleiben. Das ist wichtig, denn selbst wenn sie nicht existieren, sind sie bedeutende Interessenvertreter in der jetzigen Diskussion.

Der Untertitel *The life-changing science of designer babies* entwickelte sich aus Diskussionen mit meinen Verlegern. Im Sinne dieses Buches ist ein „Designerbaby“ oder ein „Designermensch“ jemand, an dessen Genom bewusst zu einem bestimmten Zweck – d. h. aus medizinischen Gründen oder zur Verstärkung eines Merkmals – eine vererbare genetische Modifikation vorgenommen wurde.

Beachten Sie, dass mit „*life-changing*“, also „lebensverändernd“, positive oder negative Veränderungen gemeint sein können; diese Doppelbedeutung ist beabsichtigt, denn die Genmodifikationstechnik kann ein Menschenleben tatsächlich zum Besseren oder zum Schlechteren hin verändern. Außerdem spiegelt dieser Doppelsinn mein Bemühen um Ausgewogenheit in der Diskussion zuweilen sehr kontroverser Fragen zu diesem Thema wider.

Auch wenn ich mich um eine ausgewogene Erörterung bemüht habe, wird beim Lesen mein vorsichtiges Naturell wohl deutlich zutage treten. Da ich die Forschung liebe und zugegebenermaßen ein kleiner Technik-Freak bin, finde ich Genmodifikation aufregend. Das gebe ich zu. Mein eigenes Team wendet diese Technologie sogar auf menschliche Zellen an, allerdings nur im Labor. Dennoch erfüllt es mich mit tiefer Sorge, wenn jemand von Experimenten an menschlichen Embryonen, die zu Kindern heranwachsen werden, spricht und dabei eine neue, nicht vollständig durchschaute Technologie im Spiel ist.

Beim Schreiben habe ich mein Bestes getan, um Fachjargon möglichst zu vermeiden. War der Gebrauch von Terminologie, die vielleicht nicht jedem geläufig ist, unvermeidlich, habe ich die entsprechenden Wörter oder Ausdrü-

¹ <http://www.ipsell.com>.

cke in einem Glossar am Buchende erläutert. Bitte konsultieren Sie es, wenn Ihnen manche Wörter rätselhaft erscheinen.

Es werden auch einige teilweise oder völlig neue Begriffe verwendet. In diesen Fällen habe ich mich um verständliche Erklärungen bemüht und sie ebenfalls ins Glossar aufgenommen. So wird die Idee des „Gentourismus“ vorgestellt, bei dem Menschen um die Welt reisen, um genetische Eingriffe zu kaufen, die möglicherweise sogar die Erzeugung von GM-Kindern einschließen.

Ein weiteres relativ neues Konzept ist die „Reproduktionsquarantäne“, bei der Behörden Menschen aufgrund ihrer Gene gewaltsam daran hindern sich fortzupflanzen. Von der Konzeption ähnelt dies der Zwangssterilisation im Rahmen früherer Eugenikprogramme in den USA und anderswo, einschließlich Deutschlands zur Zeit des Nationalsozialismus; in diesem Buch bezieht sich der Begriff der Reproduktionsquarantäne jedoch im engeren Sinne auf GM-Menschen mit Modifikationen, die als problematisch erkannt wurden.

Viele Personen haben zur Realisierung dieses Buches beigetragen, sodass ich einer ganzen Reihe von Leuten zu Dank verpflichtet bin. Darilyn Yap, Yugarani Thanabalasingam und Jane Alfred haben mich bei der Überarbeitung unterstützt. Ich möchte meiner Familie danken, die mich beim Schreibprozess ertragen und wertvolle Hilfe geleistet hat, was in einigen Fällen auf das Lesen und Korrigieren des gesamten Buchentwurfs hinauslief. Ein großes Dankeschön geht auch an Antonio Regalado und Nick Stockton, die das Manuskript lasen und wertvolle Hinweise beisteuerten. Meine Kollegen Mark Yarborough und Lisa Ikemoto von der University of California, Davis lieferten eine äußerst hilfreiche Rückmeldung und Informationen. Danken möchte ich auch Marcy Darnovsky und Jessica Cussins, die mit nützlichen Standpunkten und Quellen aufwarteten.

In jedem Kapitel finden sich zahlreiche Abbildungen, die von zeitgenössischen und historischen Fotografien über Illustrationen sogar zu Kunstwerken reichen. Darunter sind auch Fotos von Personen, die in der Welt der Genmodifikation eine bedeutende Rolle spielen. Damit wollte ich Wissenschaftlern und anderen Menschen ein Gesicht geben, die auf die eine oder andere Weise, manchmal auch unabsichtlich, zentrale Beiträge zur möglichen Realisierung der Genmodifikation beim Menschen geleistet haben oder immer noch leisten. Einige Bilder sind Eigenkreationen.

Letztlich hoffe ich, dass Sie Freude an diesem Buch haben und es Sie zum Nachdenken anregt. Es ist gut möglich, dass Sie beim Lesen ein Wechselbad der Gefühle durchleben. Hoffentlich haben Sie am Ende nicht nur etwas gelernt, sondern sind auch bereit, sich an Diskussionen oder gar Streitgesprächen (vielleicht mit mir) zu dem Thema zu beteiligen.

So sehr mich die Möglichkeit, dass *GMO sapiens* in den kommenden Jahren zur Realität wird, mit Sorge erfüllt, glaube ich doch, dass wir sie weitgehend eindämmen können, wenn wir unsere Stimme erheben und aktiv werden. Ebenso wichtig ist das Fördern und Verfechten nutzbringender Laborforschungen über die Genmodifikation menschlicher Zellen, in besonderen Fällen sogar bei menschlichen Embryonen, wenn sich die Forschung auf Versuche im Reagenzglas beschränkt.

Kurz gesagt: Wir haben es in der Hand, die Genmodifikation beim Menschen in positive Bahnen zu lenken, ohne das Kind mit dem Bade auszuschütten.

Auf konstruktive Weise Änderungen herbeiführen – das und nichts anderes – will dieses Buch.

Paul Knoepfler
UC Davis School of Medicine
@pknoepfler (Twitter)
knoepfler@ucdavis.edu

Literatur

Knoepfler Lab (2015) Report from Stanford Event. Human Germline Modification: Medicine, Science, Ethics, & Law, 18 Mai 2015. <https://ipsell.com/2015/05/stanfordhumangm/>. Zugegriffen am 03.05.2017

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Gott spielen – eine Einführung | 1 |
| | Genetisch modifizierte (GM) menschliche Embryonen | 1 |
| | Sie sind nur ein Mensch ... aber Ihre Kinder könnten mehr sein | 2 |
| | Was ist im Angebot: IVF mit GMO | 9 |
| | Bahnbrechende Technologie: CRISPR/Cas9 | 11 |
| | Ihr besseres Baby | 14 |
| | GMO-Genese | 19 |
| | Die Verknüpfung von Stammzellen und Klonen | 22 |
| | Literatur | 24 |
| 2 | Der Ursprung und die explosive Entwicklung von GMOs | 25 |
| | GM-Pflanzen sprießen | 25 |
| | Woher kamen die GMOs? | 27 |
| | Das Rennen um GM-Nutzpflanzen | 32 |
| | Das Demokratisieren der Schöpfung | 36 |
| | GM-Haustiere und Neuheiten | 38 |
| | GM-Mücken als gute „Waffe“ gegen Krankheiten | 39 |
| | Definition der Genmodifikation beim Menschen | 40 |
| | Gentherapie | 42 |
| | Literatur | 44 |
| 3 | Menschliches Klonen | 47 |
| | Ein Student und der erste Klon | 47 |
| | Klonkultur | 48 |
| | Die Geburt des Klonens | 49 |

| | |
|---|-----|
| Die beiden Arten des Klonens | 56 |
| Gefälschte Klone | 57 |
| Klonmythen | 60 |
| Klonpolitik | 64 |
| De-Extinction – die Wiederbelebung ausgestorbener Arten | 65 |
| Klonen und Genmodifikation vereint? | 66 |
| Klonierer und ihre Freunde | 67 |
| Wer wird der erste menschliche Klon sein? | 70 |
| Literatur | 72 |
| | |
| 4 Kräftemessen mit Mutter Natur – der erste GMO sapiens | 75 |
| Die Geburt der IVF und ein teuflisches Dilemma | 75 |
| „Glücksritter der Medizin“ erschaffen die ersten GM-Babys | 84 |
| Wäre die Erzeugung eines GMO sapiens legal? | 92 |
| Basteleien an Eizellen und Genomen von Primaten | 97 |
| Die Zukunft der Drei-Personen-IVF | 98 |
| Literatur | 100 |
| | |
| 5 Der Entwurf besserer Babys mittels Genetik | 103 |
| Die Entstehung kommerzieller Gentests für den Menschen | 103 |
| Partnerschaftsbörse per Genetik – ich wünsche mir ein Kind mit ... | 106 |
| Mit Designerbabys die genetische Gleichung ändern? | 110 |
| Präimplantationsdiagnostik (PID) | 115 |
| CRISPR versus PID | 118 |
| Geschlechtswahl | 120 |
| Rettergeschwister | 121 |
| Wirtschaftliche Erwägungen rund um genmodifizierte Menschen | 122 |
| OvaScience | 124 |
| Mitogenome Therapeutics | 126 |
| Genetik stellt uns vor die Wahl | 128 |
| Gentourismus | 128 |
| Sind Designerbabys der nächste Schritt auf der GM-Zeitleiste? | 130 |
| Literatur | 132 |
| | |
| 6 Selbstbauanleitung zur Erschaffung von GMO sapiens | 135 |
| Warum und mit welchem Ziel wollen Sie einen GMO sapiens erzeugen? | 136 |
| Die Beziehung zu CRISPR | 137 |

| | |
|--|------------|
| CRISPR als Laborwerkzeug | 139 |
| Ganz von vorn im Labor | 143 |
| Genmodifikationen à la carte | 144 |
| Eine potenzielle Aufgabe für Stammzellen | 146 |
| Am Anfang war die bessere Maus – die Erfahrung, einen GMO zu erschaffen | 147 |
| Was, wenn man einen Fehler macht? | 149 |
| Was schiefgehen könnte | 150 |
| Könnte man Fehler korrigieren? | 153 |
| Praktische Herausforderungen beim Erschaffen eines GMO sapiens | 155 |
| Literatur | 157 |
| 7 Eugenik und Transhumanismus | 159 |
| Die Eugenik fasst Fuß in Kalifornien | 159 |
| „Bessere Babys“ durch Eugenik | 162 |
| IVF und Eugenik | 168 |
| Was ist ein „besserer“ oder „perfekter“ Mensch? | 169 |
| Sollten wir versuchen, mittels Genmodifikation „bessere Babys“ zu erzeugen? | 172 |
| Transhumanismus – von ACGT zu H+ | 176 |
| George Church, Genetikpionier und Transhumanist | 180 |
| Erzwungene genetische Veränderung – Gene Drive und Waffen | 185 |
| Literatur | 192 |
| 8 Kulturelle Ansichten zur Genmodifikation beim Menschen | 195 |
| Öffentliche Meinungen zur Modifikation des Menschen | 195 |
| Was denken US-Amerikaner über die Erschaffung von GM-Menschen? | 196 |
| Wie denkt man weltweit über die Genmodifikation beim Menschen? | 198 |
| Die Wiederbelebung Frankenstein | 199 |
| Die Huxley-Brüder | 202 |
| <i>GATTACA</i> | 204 |
| <i>DNA Dreams</i> und die Wirklichkeit | 206 |
| <i>Orphan Black</i> | 209 |
| Der Blick eines Künstlers auf menschliches Klonen | 211 |
| Genetische Diskriminierung oder Berühmtheit | 212 |
| Genderfragen im Zusammenhang mit humaner Genmodifikation | 214 |

| | |
|---|------------|
| Lassen Sie Ihrer GMO-Fantasie freien Lauf | 216 |
| Wie wird die Kultur auf echte GMO sapiens reagieren? | 218 |
| Literatur | 219 |
| 9 GMO sapiens heute und morgen | 223 |
| Die Entstehung der ersten geneditierten menschlichen Embryonen | 223 |
| „Editieren Sie nicht die menschliche Keimbahn“ | 226 |
| „Besonnenes Voranschreiten“ | 227 |
| Der ABCD-Plan | 233 |
| Konferenz über menschliche Genmodifikation an der Stanford Law School | 236 |
| George Church zur menschlichen Genmodifikation | 239 |
| Ethiker aus Oxford: Nur keine Sorge, macht es einfach! | 241 |
| Das Humangenom als sich ständig verändernde Collage? | 243 |
| Die Zukunft der Genmodifikation beim Menschen | 245 |
| Literatur | 250 |
| Glossar | 253 |
| Stichwortverzeichnis | 257 |