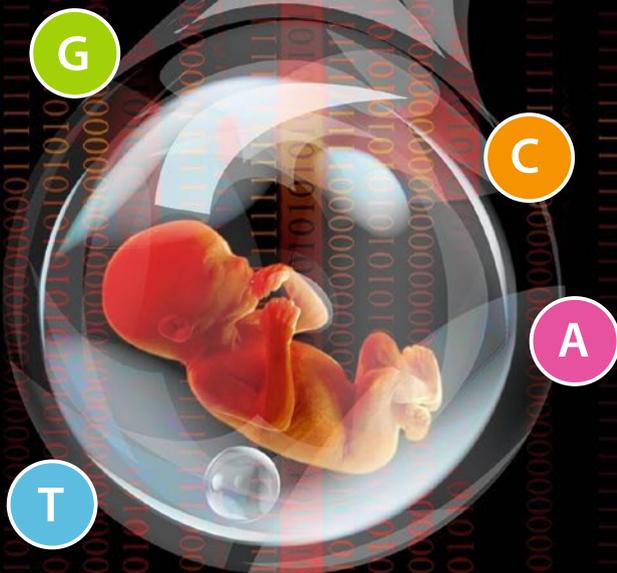


Paul Knoepfler

# Genmanipulierte Menschheit

Evolution selbst  
gemacht



**EBOOK INSIDE**



Springer

# 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.<sup>1</sup>

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 vererbte 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-

---

<sup>1</sup> <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](mailto: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

<b>1</b>	<b>Gott spielen – eine Einführung</b>	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
<b>2</b>	<b>Der Ursprung und die explosive Entwicklung von GMOs</b>	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
<b>3</b>	<b>Menschliches Klonen</b>	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
<b>4 Kräftemessen mit Mutter Natur – der erste GMO sapiens</b>	<b>75</b>
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
<b>5 Der Entwurf besserer Babys mittels Genetik</b>	<b>103</b>
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
<b>6 Selbstbauanleitung zur Erschaffung von GMO sapiens</b>	<b>135</b>
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
<b>7 Eugenik und Transhumanismus</b>	<b>159</b>
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, Genetikipionier und Transhumanist	180
Erzwungene genetische Veränderung – Gene Drive und Waffen	185
Literatur	192
<b>8 Kulturelle Ansichten zur Genmodifikation beim Menschen</b>	<b>195</b>
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
<b>9</b> <b>GMO sapiens heute und morgen</b>	<b>223</b>
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
<b>Glossar</b>	<b>253</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>257</b>

# 1

## Gott spielen – eine Einführung

*Es war ein großartiger Erfolg, aber es ging um mehr als nur Unfruchtbarkeit. Es ging auch um Themen wie Stammzellen und die Ethik der menschlichen Zeugung. Ich wollte genau herausfinden, wer das Sagen hatte, ob es Gott selber war oder Wissenschaftler im Labor. ... Wir waren es.*

Robert G. Edwards, 24. Juli 2003, am 25. Geburtstag des ersten „Retortenbabys“ Louise Brown, an deren Erschaffung er beteiligt war.

### Genetisch modifizierte (GM) menschliche Embryonen

Vor Kurzem ging eine Schockwelle um die Welt. Chinesische Wissenschaftler berichteten von der erstmaligen Erzeugung genetisch modifizierter menschlicher Embryos mittels einer neuen Gentechnologie und entfachten damit eine hitzige Kontroverse. Einige sind der Meinung, derlei Experimente müssten ein Ende haben, während andere dafür plädieren, die humane Genmodifikation mit Volldampf voranzutreiben, um Erkrankungen vorzubeugen oder gar verbesserte Designerbabys zu erschaffen. Als Vollblutwissenschaftler fand ich mich zwischen den beiden Polen wieder. Überzeugt davon, dass die Öffentlichkeit sehr viel mehr über diesen Präzedenzfall in der Wissenschafts- und Kulturgeschichte erfahren sollte, fasste ich den Entschluss, meine Kenntnisse mithilfe dieses Buches an Sie weiterzugeben.

## Sie sind nur ein Mensch ... aber Ihre Kinder könnten mehr sein

Haben Sie sich schon einmal gewünscht, etwas an Ihnen sollte anders sein? Vielleicht haben Sie sich vorgestellt, größer, schlanker oder stärker zu sein? Klüger? Attraktiver? Gesünder? Oder Sie haben sich möglicherweise – so sehr Sie Ihre Kinder auch lieben – gewünscht, dass an ihnen etwas anders wäre. Das heißt nicht, dass Ihre Liebe zu schwach ist – gerade weil Sie sie lieben, malen Sie sich vielmehr aus, sie wären glücklicher, wenn sie in einer bestimmten Hinsicht anders wären.

Es kann auch sein, dass es in Ihrer Familie irgendeine Erbkrankheit gibt oder die Anlage zu Krebs, zur Alzheimer-Krankheit oder irgendeinem anderen schrecklichen Gesundheitsproblem.

Bis vor Kurzem hätten Sie angesichts dieser Situationen, Gedanken und Gefühle nur sehr wenig, wenn überhaupt irgendetwas, tun können. Das könnte sich jedoch bald ändern. Vielleicht werden Sie in näherer Zukunft nicht in der Lage sein, sich selbst oder Ihre bereits existierenden Kinder grundlegend umzumodeln, aber bei Ihren neuen kleinen Schöpfungen könnten Sie möglicherweise bereits Gott spielen. Betrachten Sie dies einmal als ein Experiment sehr persönlicher Art.

Es ist durchaus denkbar, dass die bereits heute zur Verfügung stehende Technologie diese Art von Experiment jedem ermöglicht, der den Preis für die Erschaffung eines neuen Menschen, von dem man nur hofft, er möge „besser“ sein, zahlen kann. Ich spreche von einem Designerbaby (Abb. 1.1). Mit der gleichen Technologie, mit deren Hilfe man gentechnisch veränderte Tomaten, Mäuse oder Affen herstellt, würden Sie buchstäblich einen neuen Babytyp entwerfen und erzeugen.

Das Baby wäre ein genetisch modifizierter Mensch oder, trendiger ausgedrückt, ein GMO-Mensch.

Wäre das legal? An manchen Orten ja.

Ethisch vertretbar? Schwer zu sagen, aber da habe ich Zweifel.

Risikoreich? Auf jeden Fall.

Von solch heiklen Fragen abgesehen wird der Versuch technisch machbar sein, und Sie können wetten, dass irgendwer ihn in den nächsten Jahren ausführen wird. Ich habe Ihnen die unglaublichen Möglichkeiten der Designerbaby-Technologie so unverblümt vor Augen geführt, weil ich verdeutlichen wollte, wie verführerisch sie für viele Menschen ist.

Erste Fehlschläge könnten andere Forscher und Ärzte abschrecken. Andererseits würden sich einige dadurch eventuell herausgefordert fühlen, es ebenfalls



**Abb. 1.1** Künstlerischer Entwurf eines Designerbabys mit einigen DNA-Basen (A, C, G und T) als Bausteinen, die auf bestimmte Weisen bewusst verändert wurden. Nutzung des Bildes mit freundlicher Genehmigung der World Scientific Publishing Company. Vom Autor gestaltet. Teilweise inspiriert durch eine Abbildung von Matt Collins

zu versuchen. Letztlich wird die Technologie allgemein verfügbar sein. Es könnte noch zwei, fünf oder zehn Jahre dauern, aber sie wird kommen. Sollten Sie als Eltern sie nutzen? Viele werden sagen: „Ja.“

Ob aus medizinischen Gründen oder schlicht auf Elternwunsch – Ihr neugeborenes Baby wird ein neuartiger Mensch mit genetischen Modifikationen sein, die ihn optimieren sollen.

Gewiss, wir alle sind etwas Besonderes, auch wenn wir nicht als Designerbaby geboren wurden. Und dank der Neukombination der Chromosomen, die mit der geschlechtlichen Fortpflanzung einhergeht, ist jeder von uns anders als alle anderen Menschen, die jemals gelebt haben. Selbst eineiige Zwillinge, die genetisch identisch sind, weisen einzigartige Merkmalsunterschiede auf oder, wie wir Biologen sagen, „Phänotypen“, die beispielsweise auf dem Umwelteinfluss beruhen. Ihr GM-Kind wird jedoch nicht zufällig einzigartig sein, sondern geplant. Überdies wird dieses Designerbaby zumindest teilweise außerhalb des Mutterleibs erzeugt.

Ihr ureigener Designermensch wird ein anderes Leben führen, als er sonst zu erwarten gehabt hätte. Anders inwiefern? Ihr Designerkind wird, wenn alles gut geht, gesünder oder, aus Ihrer Elternsicht, einfach „besser“ sein. Wie ich später noch erörtern werde, spiegeln unsere Auffassungen von „besser“ häufig gesellschaftliche Sichtweisen zu wünschenswerten oder überlegenen Merkmalen wider. Ihr „besseres“ Kind sieht sich selbst möglicherweise gar nicht so. Eine wichtige ethische Frage lautet, ob Eltern befugt sein sollten, ihr

zukünftiges Kind genetisch zu verändern. Dieses Mädchen oder dieser Junge würde buchstäblich als ein anderer Mensch aufwachsen und überdies als einer, dessen genetische Modifikation ohne sein Einverständnis erfolgt ist. Zudem könnten alle zukünftigen Mitglieder dieser Familie ebenfalls genetisch veränderte Menschen sein, und auch das wieder ohne ihr Einverständnis. Dies ist eine heikle Frage, auf die es heute noch keine eindeutige Antwort gibt.

Es ist möglich geworden, mittels Erschaffung genetisch modifizierter Menschen Gott zu spielen, weil sich zwei leistungsstarke Technologien miteinander verbunden haben. Die erste ist eine mittlerweile alte Technik, die künstliche Befruchtung oder In-vitro-Fertilisation (IVF), die vor 40 Jahren vom Nobelpreisträger Robert Edwards und seinem Kollegen Patrick Steptoe entwickelt wurde. Die zweite ist eine neue, bahnbrechende Gentechnologie, die es bemerkenswert einfach macht, das menschliche Genom (die DNA-Sequenz) eines frühen Embryos auf direktem Wege zu manipulieren. In Kombination mit der IVF ermöglicht dieses neue genetische Werkzeug den Forschern, die DNA, den Bauplan eines menschlichen Embryos, zu verändern, wenn er noch aus nur einer oder wenigen Zellen besteht (etwa in dem Stadium, das in Abb. 1.2 dargestellt ist).

Edwards selbst hatte bereits die Vision, die IVF-Technologie könne weitreichendere Anwendungen erlauben als lediglich die Behandlung von



**Abb. 1.2** Hier sieht man einen normalen menschlichen Embryo in einem sehr frühen Entwicklungsstadium, in dem er aus nur acht Zellen besteht. (Bildquelle: Wikimedia, Rwjms IVF Program)

Unfruchtbarkeit. Zudem folgerte er, dass dies umfangreiche gesellschaftliche Konsequenzen nach sich ziehen würde (Edwards und Sharpe 1971). Man könnte sagen, dass ihn der Gedanke, mithilfe der IVF Gott zu spielen, durchaus reizte. Er las die Zeichen an der Wand des Reagenzglases, die ihm sagten, dass die Wissenschaftler der Zukunft in der Lage seien, Menschen genetisch zu modifizieren.

In den 1970er- und 1980er-Jahren waren verschiedene Arten nicht-menschlicher GMOs in Arbeit. Das allererste GM-Tier, eine Maus, wurde 1974 von Professor Rudolf Jaenisch erzeugt (Jaenisch und Mintz 1974). Er injizierte die DNA-Sequenz eines Virus in das Genom einer Maus; weil diese genetische Veränderung aber nicht in den Keimzellen des Tieres erfolgte, konnte Jaenischs Maus sie nicht an ihre Nachkommen weitergeben. Obwohl es sich also nicht um eine vererbte DNA-Veränderung handelte, war dieses Experiment ein bedeutender wissenschaftlicher Meilenstein, vor allem für die Entwicklung der GM-Technologie. In Kap. 2 erfahren Sie mehr über die Geburt dieser Technologie und die Reihe neu geschaffener GM-Organismen, die im Lauf der Jahre erzeugt wurden. Immer mehr deutet darauf hin, dass GM-Menschen der nächste Schritt in dieser Entwicklung sein werden.

Um wieder auf Ihr Neugeborenes zurückzukommen: Es wäre zwar ein Mensch, aber in gewisser Weise auch ein Produkt. Ein spezielles Unternehmen würde dieses ungewöhnliche Produkt herstellen und von Ihnen und allen anderen, die diesen Weg wählen, eine Bezahlung für seine GM-Dienstleistungen verlangen. Es würde sich um ein Geschäft handeln und vermutlich um ein äußerst lukratives. Anfangs wird der Preis für ein GM-Baby höchstwahrscheinlich bei mehreren Millionen Dollar liegen. Wird die Genmodifikation beim Wunschkind dann populärer und Designerbabys entwickeln sich zum Trend, hat das wahrscheinlich einen dramatischen Preissturz zur Folge, während die möglichen – positiven oder negativen – Konsequenzen für die Gesellschaft proportional zur steigenden Produktion von GM-Babys zunehmen.

Die Kürzel GMO oder GM auf einen neuen Menschentyp anzuwenden, ist zweifellos brisant. Dennoch sind sie zutreffend, auch wenn sie manch einem Unbehagen bereiten mögen.

Beim Einkauf im Supermarkt greift man womöglich zu gentechnisch veränderten Produkten, ohne es überhaupt zu bemerken. Ich persönlich habe keine grundsätzlichen Bedenken, mit Gentechnik erzeugte Lebensmittel zu essen, kann aber verstehen, dass manche Menschen über die Erzeugung und den Konsum von GM-Nahrung sehr besorgt sind. Ich gebe zu, dass auch ich mich beim Einkauf für die Familie für biologisch angebaute Produkte entscheide, wann immer es möglich ist. Und bei der heimischen Gartenarbeit verzichte ich schon seit vielen Jahren auf chemische

Unkrautbekämpfungsmittel. Könnte es passieren, dass Sie oder ich beim Kauf von Gartenbedarf in einer Gärtnerei unwissentlich GM-Pflanzen kaufen?

Irgendwann werden Sie vielleicht einen anderen Ladentyp aufsuchen, in dem Sie sich Ihr GM-Baby aussuchen können. Im vorliegenden Buch bezeichnen wir dieses hypothetische neue Designerbaby als „GMO sapiens“, eine Kombination aus GMO und *Homo sapiens*. Der Einfachheit halber schreiben wir diesen Begriff meistens nicht kursiv.

Möglicherweise wurde Ihr GMO-sapiens-Kind vor einer schrecklichen Krankheit bewahrt, weil eine krank machende Mutation in einem lebenswichtigen Gen dank der Gentechnologie korrigiert werden konnte. Um nur einige Beispiele von vielen denkbaren zu nennen, haben Ihr Baby und Sie als seine Eltern buchstäblich die Mukoviszidose ausgetrickst oder auch eine Mutation des *BRCA1*-Gens, die bei Frauen das Risiko von Brust- und Eierstockkrebs erhöht. Das hypothetische neugeborene GM-Mädchen ohne *BRCA1*-Genmutation würde dann nicht nur ein anderes Leben führen, sondern die Mutation auch nicht an ihre möglichen Nachkommen weitergeben.

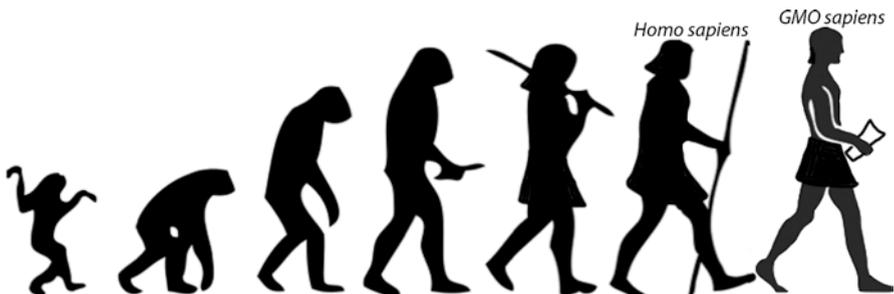
Das kann diese Technologie tatsächlich bewirken, und sie steht uns bereits hier und jetzt zur Verfügung. Nur müsste sie für viele weitere Jahre getestet und perfektioniert werden, um ein Sicherheitsrisiko bei der Anwendung auf Menschen auszuschließen. Bis heute wurde sie noch nicht ausreichend getestet und ist von Perfektion weit entfernt. Wer darüber nachdenkt, die Technologie der Genmodifikation in naher Zukunft auf Menschen anzuwenden, müsste daher die möglichen Risiken und Vorteile sorgfältig gegeneinander abwägen. Eine wahrscheinliche, äußerst besorgniserregende Folge des Versuchs, GMO sapiens zu erzeugen, wäre das Nebenprodukt von Dutzenden oder gar Hunderten gescheiterten Versuchen in Gestalt erkrankter oder toter Embryonen, Feten und vielleicht sogar Kinder – eine wahrhaft erschreckende Vorstellung. Zudem könnten künftige weitreichende Versuche zur Erzeugung von GMO sapiens, bei denen man Frauen Embryos einpflanzt, zu Fehlgeburten führen.

Ein weiterer einschränkender Faktor der Genmodifikation beim Menschen ist die unbeantwortete Frage, wie dieses System einzusetzen ist, um ein ganz bestimmtes Wunschergebnis zu erzielen. Bei einigen Erbkrankheiten gibt es ein klar definiertes Ziel wie das mutierte Mukoviszidosegen, das die Genmodifikation ins Visier nehmen könnte, doch in zahlreichen anderen Fällen ist das nicht so. Die möglichen Ziele können ganz breit gestreut sein, und zur Modifizierung eines komplexen Merkmals oder einer Krankheit müsste man vermutlich viele Genmanipulationen zugleich vornehmen. Daher wäre es heute und in der näheren Zukunft beispielsweise ein hoch riskantes Unterfangen, ein Designerbaby erschaffen zu wollen, das sich als Genie entpuppt. Genauso

gut könnte dabei ein Kind entstehen, das weniger klug ist, als es ohne die Genmodifikation geworden wäre, oder das an Autismus oder irgendeinem anderen schwerwiegenden Problem leidet. Kurz gesagt, könnte der tief greifende wissenschaftliche Eingriff das Leben Ihres Kindes dramatisch beeinträchtigen. Wir müssen noch viel mehr über die genetische Basis menschlicher Eigenschaften in Erfahrung bringen, bevor wir nur davon träumen dürfen, diese Eigenschaften mithilfe der Genetik risikolos zu verändern. Selbst dann bleibt das Ganze möglicherweise ethisch fragwürdig.

Dennoch gehe ich davon aus, dass einige Leute es höchstwahrscheinlich versuchen werden. Durch weitere Diskussionen, wie etwa über dieses Buch, klare Aussagen und Aufklärung können wir das Risiko verheerender Fehlversuche zur Erzeugung von *GMO sapiens* mindern. So ist es von größter Wichtigkeit darauf hinzuweisen, dass man Erbkrankheiten in den meisten Fällen mithilfe einer bereits erprobten Technologie, der Präimplantationsdiagnostik (PID), vorbeugen kann. Genetische Manipulationen erübrigen sich, weil die PID als Screening-Methode zur Auswahl gesunder Embryonen so gut funktioniert. In Kap. 5 können Sie mehr über die PID erfahren.

In gewisser Hinsicht könnte es ein riesiger Schritt für die Menschheit sein, wenn viele GM-Babys geboren würden – vielleicht so bedeutsam wie der erste Schritt eines Menschen auf dem Mond. Wäre es ein Schritt vorwärts oder zurück? So oder so handelt es sich um eine potenziell lebensverändernde und auch artverändernde Technologie. Falls genug Menschen mit Genmodifikationen zur Welt kämen, könnte dies eine neue Evolutionsphase der Menschheit einleiten (Abb. 1.3). Tatsächlich treten einige Verfechter des sogenannten Transhumanismus vehement für diese neue, „bessere“ menschliche Wirklichkeit ein, die sich durch genetische Manipulationen realisieren ließe. Sie wollen,



**Abb. 1.3** Die Evolution des Menschen, mit *Homo sapiens* als Zweitletztem auf der rechten Seite und *GMO sapiens* als weiterem Schritt in der menschlichen Evolution. Die dargestellten Individuen können männlich oder auch weiblich sein. (Bildquelle: Adaptiert von einem lizenzfreien Bild von José-Manuel Benitos auf Wikimedia)

dass die Menschheit in naher Zukunft ihren heutigen relativ unvollkommenen Zustand überwindet und eine neue Stufe jenseits des Menschen erreicht. Ihr Symbol ist „h+“, was diese Transzendenz symbolisieren soll, und einige bezeichnen den besseren Menschen als *Homo evolutis*.

Wer möchte nicht besser sein, als er ist? Und was wäre, wenn man ein Baby hervorbringen könnte, das eines Tages so klug und kreativ ist wie Marie Curie oder Albert Einstein? Was, wenn man dem nächsten Stephen Hawking das Geschenk machen könnte, ohne die katastrophale Erkrankung Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) aufwachsen zu müssen?

Zugleich würde der Versuch, Designerbabys zu schaffen, immense Risiken für den Einzelnen wie auch für die Gesellschaft bergen. Jeder auf diese Weise erzeugte Mensch würde Gefahr laufen, dass in andere Abschnitte der DNA, außerhalb des Zielbereichs für die beabsichtigte positive Veränderung, versehentlich Fehler eingebaut würden. Diese Pannen könnten in manchen Fällen zu Krankheiten oder gravierenden Entwicklungsstörungen, Krebs oder Tod führen. Auch andere Fehlerarten mit ähnlich schwerwiegenden Folgen wären denkbar.

GM-Menschen könnten sogar von heimtückischen negativen Konsequenzen betroffen sein, die sich erst später im Leben offenbaren, etwa Persönlichkeitsveränderungen, die zu Narzissmus, Gewaltausbrüchen oder Selbstmord führen. Überdies würden alle neuen Merkmale, seien sie gut oder schlecht, vielleicht für alle Zeiten an künftige Generationen weitergegeben, weil die bewirkten Genmodifikationen vererbt würden.

Auch könnte es zu völlig unerwarteten Folgen kommen, die sich unmöglich vorhersehen lassen. Auf diese Gefahren gehe ich in Kap. 6 ein.

Für die Gesellschaft allgemein besteht auch das Risiko, die Eugenik in neuem Gewand wieder aufleben zu lassen, überladen mit neuartigen Gentechnologien, über die Eugeniker früherer Zeiten rein aus dem Häuschen wären. In Kap. 7 behandeln wir Transhumanismus und Eugenik ausführlicher.

Wenn Sie dann ein in Ihren Augen „perfektes“ GM-Baby haben, könnten Sie es durch Klonen sogar kopieren, statt die Beschaffenheit eines anderen Kindes dem Zufall zu überlassen (eine umfassende Erörterung des menschlichen Klonens finden Sie in Kap. 3).

Menschen auf technischem Wege statt durch Sex zu erzeugen, kann auch die Sicht auf unsere Kinder, uns selbst und andere Menschen grundlegend verändern. Werden wir zu einer Abstraktion? Zu einer Ware? Anders gesagt: Es wäre denkbar, dass Personen allmählich immer mehr als Sachen und weniger als Menschen wahrgenommen würden. Der Begriff der Elternschaft könnte sich grundlegend wandeln und die Eltern-Kind-Bindung entsprechend schwächer werden.

In ihrem wegweisenden Buch *Die Unsterblichkeit der Henrietta Lacks* (Skloot 2010) geht die Autorin Rebecca Skloot einige äußerst beunruhigende Fragen an, die die Nutzung von Menschen und ihren Zellen betreffen. Manche dieser Fragen stellen sich wohl auch im Zusammenhang mit der Genmodifikation beim Menschen. In diesem Zusammenhang präsentiert Skloot ein starkes Zitat des Nobelpreisträgers Elie Wiesel, das wir hier wiedergeben:

Wir dürfen Menschen *nie* als Abstraktion betrachten. Vielmehr müssen wir in jedem ein Universum sehen mit seinen eigenen Geheimnissen, seinen eigenen Schätzen, seinen eigenen Quellen der Furcht und einem gewissen Maß an Triumph.

Könnte genetische Modifikation unsere Menschlichkeit vermindern? Wenden wir das, was wir unter „menschlich“ verstehen, zum Schlechteren, wenn wir den Einsatz einer solchen Technologie erproben, um Krankheiten zu bekämpfen, den Menschen zu optimieren („Human Enhancement“) oder Alterungsprozesse zu stoppen? Machen wir uns zunehmend zum Produkt?

Nehmen wir einmal an, jemand möchte es trotz der großen Risiken versuchen – wie geht er dann vor, um ein Designerbaby zu erschaffen? Es wäre wohl, ob im Guten oder Bösen, gar nicht mal so schwierig, selbst wenn sich das Unterfangen später als Misserfolg entpuppen würde.

## Was ist im Angebot: IVF mit GMO

Um ein GMO-sapiens-Baby zu produzieren, muss man zunächst einmal eine Bestellung dafür aufgeben. Das würde in Gemeinschaftsarbeit zwischen Ihnen und den beteiligten Forschern geschehen. Zur Erschaffung eines GMO sapiens nehme man ein Dorf und ein Labor – so könnte man sagen.

So wie man heute eine Pizza ganz nach Wunsch ohne Zwiebeln, aber mit grünen Oliven, Parmaschinken, Ziegenkäse und einer bestimmten Sauce bestellen kann, dürfen Sie sich auch bei der Planung und Bestellung Ihres künftigen GMO-sapiens-Babys ganz spezielle „Beläge“ wünschen. In diesem Fall bestehen die Beläge aus spezifischen Merkmalen, die man aus einem Menü auswählt: grüne Augen, keine Krankheiten, das Gen einer italienischen Person für schlanke Muskeln, eine beseitigte Laktoseintoleranz, sodass der Designermensch Milchprodukte zu sich nehmen kann, und eine bestimmte Blutgruppe. Klingt das befremdlich?

23andMe, ein Unternehmen für private Genanalysen, hat bereits die Grundlagen für ein Programm geschaffen, das genetische Vorhersagen für ein Wunschkind erlaubt. So erläutert das Unternehmen explizit, wie etwa eine Mutter, die sich grüne Augen und ein geringeres Risiko für bestimmte Erkrankungen wünscht, vorgehen müsste, um das Sperma potenzieller Samenspenden auf bestimmte Merkmale hin untersuchen zu lassen. In Kap. 5 finden Sie mehr über 23andMe und andere Unternehmen, die Programme für genetisch geplante Menschen entwickeln.

Ein ähnliches Projekt verfolgt das Unternehmen GenePeaks (2016); ein Mitbegründer ist Professor Lee Silver von der Princeton University, ein Verfechter der humanen Genmodifikation. GenePeaks hat eine Technologie namens Matchright entwickelt, die in einigen Kinderwunschkliniken angeboten wird. Damit können Kundinnen Sperma von potenziellen Spendern daraufhin überprüfen, ob das jeweilige Genom in Kombination mit dem der Kundin bei künftigen Kindern zu bestimmten Ergebnissen führen könnte. Das Analysewerkzeug sucht sowohl nach vorhergesagten Krankheitsrisiken als auch speziellen Merkmalen.

Irgendwann werden Menschen nicht nur Spermien oder Eizellen auswählen wollen, um „bessere Kinder“ zu bekommen, sondern auch die Genmanipulationstechnologie nutzen, die unmittelbarer und durchschlagender wirken würde. Geneditierungen (auch *Genome Editing*) sind bewusst vorgenommene Änderungen an den Bausteinen des Lebens – den vier Molekülen (oder „Basen“), die die DNA bilden: Adenin (A), Cytosin (C), Guanin (G) und Thymin (T). So könnte die Ursache einer Krankheit eine Mutation sein, die in einem bestimmten Gen aus einem G ein T gemacht hat. Das *Genome Editing* kann dieses T nun durch ein G ersetzen, sodass die umgeschriebene DNA wieder eine normale Version dieses Gens erzeugt. Im Prinzip ließen sich durch Geneditierung auch Merkmale im Hinblick auf die Verbesserung des Menschen (Human Enhancement) verändern.

Bei anderen, größeren Eingriffen könnte man etwa ein krankheitsrelevantes Gen komplett entfernen, weil die mit ihm verbundenen Probleme vielleicht zu komplex sind, um sie durch kleine Änderungen zu beheben, und es durch eine neue, „gesunde“ Kopie aus einer anderen Quelle, zum Beispiel einer anderen Person, ersetzen. Oder man könnte ein Gen von einer anderen Spezies implantieren. Das Einfügen eines Gens aus einem fremden Organismus würde eine viel drastischere Änderung bedeuten. Damit wären höhere Risiken verbunden, aber zugleich würde man möglicherweise auch die Intensität des Ergebnisses verstärken.

## Bahnbrechende Technologie: CRISPR/Cas9

Derartige Veränderungen ließen sich beim Menschen mithilfe eines neuen Genome-Editing-Verfahrens namens „CRISPR/Cas9“ herbeiführen, das in den letzten drei Jahren die Life Sciences im Sturm erobert hat. [Life Sciences – auch „Biowissenschaften“ oder „Lebenswissenschaften“ – beschäftigen sich mit Prozessen oder Strukturen von Lebewesen oder an denen Lebewesen beteiligt sind; Anm. d. Ü.] In Kap. 5 behandle ich CRISPR/Cas9 ausführlich; vorläufig stellen wir es uns als eine Art genetisches Schweizer Messer mit den folgenden Funktionen vor: Lupe (Genomscanner), Schere (ein spezielles Protein, das DNA schneidet) und Schreibstift (ein Zellprozess, der DNA-Basen umschreibt) an der Schnittstelle, die dann wieder zusammengefügt wird.

CRISPR/Cas9 kann wichtige, aber winzige Gensequenzen in unseren riesigen Genomen präzise lokalisieren – gewissermaßen die Nadel im genetischen Heuhaufen finden. An Ort und Stelle kann es dann As, Cs, Gs oder Ts oder auch größere Bereiche des Genoms erstaunlich genau entfernen und/oder verändern. CRISPR ist buchstäblich in der Lage, das Genombuch in uns neu zu schreiben. Dennoch bleibt ungewiss, wie oft es sozusagen die falsche Seite oder den falschen Absatz wählt oder auf der richtigen Seite eine unerwünschte Korrektur vornimmt. Bislang scheint CRISPR einer anderen existierenden Geneditierungstechnologie namens TALEN überlegen zu sein, aber es ist noch so neu, dass sich erst noch zeigen muss, ob es seine jetzige Vormachtstellung behaupten kann.

Mit den Milliarden von Basen in unserem Genom kann selbst eine sehr geringe Fehlerrate, die eine Gesamtgenauigkeit von 99,99... % (mit beliebig vielen weiteren Neunen) garantiert, nach wie vor katastrophale Folgen haben. Das stellt für GM-Babys ein enormes Risiko dar. Viele Erbkrankheiten beruhen auf relativ geringfügigen Mutationen, die zu schweren Erkrankungen oder zum Tod führen. So gibt es bei Chorea Huntington nur einige zusätzliche Kopien des wiederholt auftretenden DNA-Basentriplets CAG. Das bedeutet, dass schon ein winziger Fehler von CRISPR – vielleicht nur ein einzelnes DNA-Basenpaar, das an einer wichtigen Stelle im Genom sitzt – eine schwerwiegende Krankheit hervorrufen oder tödlich sein kann.

Wie ist die CRISPR/Cas9-Technologie entstanden? CRISPRs sind Elemente aus Bakteriengenomen, die Immunität vor künftigen Virusinfektionen verleihen. CRISPR-Sequenzen stammen aus viraler DNA und werden als immunologisches Gedächtnis in das Bakteriengenom eingefügt. So schützt das