

BIP Kreativitätsgymnasium Leipzig

**BESONDERE LERNLEISTUNG (BeLL)**

Abiturjahrgang 2020/2021

# **Ethische Betrachtung menschlicher Keimbahneingriffe mittels CRISPR/Cas9 an Keimzellen**

Lisa Kristin Kröger

Innenbetreuerin:

Sandra Tiebel

Fachlehrerin für Ethik und Geschichte

BIP Kreativitätsgymnasium Leipzig

Außenbetreuer:

Clemens Heyder

Medizinethiker und Philosoph

15.01.2021

## **Danksagung**

Ich möchte all jenen danken, die durch ihre Unterstützung zum Gelingen dieser Besonderen Lernleistung beigetragen haben.

Mein außerordentlicher Dank gilt Herrn Clemens Heyder, der mich immer wieder mit neuen Denkansätzen inspirieren konnte und jederzeit für fachliche Fragen verfügbar war.

Weiterhin danke ich Frau Sandra Tiebel, die sich trotz der kurzen Zusammenarbeit stets überaus engagiert hat, immer ansprechbar war und mir in der Endphase entscheidende Hinweise geben konnte.

Ebenfalls danke ich Frau Sibylle Slavik, die mich über mehr als ein Jahr lang kontinuierlich unterstützt und mir wertvolle Anregungen gegeben hat.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Glossar</b> .....	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Medizinischer Hintergrund</b> .....	<b>8</b>
2.1 Forschungsgeschichte Genscheren.....	8
2.2 CRISPR/Cas9.....	10
2.2.1 Arbeitsweise .....	10
2.2.2 Medizinische Problemstellungen.....	12
2.2.3 Aktuelle Anwendung am Menschen.....	14
2.2.4 Der Fall He Jiankui .....	15
<b>3 Rechtslage zur Forschung an Keimbahnzellen und Embryonen</b> .....	<b>16</b>
3.1 National .....	16
3.2 International.....	18
<b>4 Ethische und medizinische Aspekte</b> .....	<b>19</b>
4.1 Prinzipien mittlerer Reichweite.....	20
4.1.1 Das Prinzip der Autonomie .....	20
4.1.2 Das Prinzip des Nicht-Schadens.....	21
4.1.3 Das Prinzip der Fürsorge .....	22
4.1.4 Das Prinzip der Gerechtigkeit .....	23
4.2 Hans Jonas' Prinzip Verantwortung .....	23
4.3 Natürlichkeitsargumentation .....	25
4.4 Begriff der Menschen- bzw. Gattungswürde .....	26
<b>5 Ethische Bewertung</b> .....	<b>28</b>
5.1 Anwendung der Prinzipien mittlerer Reichweite .....	28
5.1.1 Das Prinzip der Autonomie .....	28
5.1.2 Das Prinzip des Nicht-Schadens.....	29
5.1.3 Das Prinzip der Fürsorge .....	30
5.1.4 Das Prinzip der Gerechtigkeit .....	31
5.1.5 Zusammenfassung .....	32
5.2 Betrachtung mittels zwei verschiedener Ethikansätze.....	34
5.2.1 Deontologische Ebene.....	34
5.2.2 Konsequentialistische Ebene .....	38
5.3 Abschlussdiskussion.....	41
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>43</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>48</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung</b> .....	<b>49</b>

## Glossar

<b>CRISPR/Cas9</b>	Ist eine sogenannte Genschere, welche die Fähigkeit besitzt, den DNA-Strang an einer spezifischen Stelle zu durchtrennen. Dabei sind die CRISPR-Sequenzen Muster im Erbgut, die als Erkennungsmerkmal für DNA-schneidende Enzyme (wie Cas9) dienen.
<b>DNA</b>	Ist die Abkürzung für „Deoxyribonucleic acid“ <sup>1</sup> (zu Deutsch „Desoxyribonukleinsäure“) und das Trägermolekül unserer Erbanlagen. In ihrer räumlichen Struktur ist sie charakterisiert durch zwei helixförmige Polynukleotidstränge. Die komplementären Basenpaare umfassen Guanin und Cytosin sowie Adenin und Thymin, die über Wasserstoffbrücken miteinander verbunden sind.
<b>Erbkrankheit</b>	Bezeichnet eine Krankheit, die genetisch bedingt ist und potenziell an die Nachkommen weitervererbt wird.
<b>Genom</b>	Bezeichnet die Gesamtheit des genetischen Materials eines Organismus.
<b>Genome-Editing</b>	Bezeichnet Techniken, mit denen an gezielten Stellen in das genetische Material eines Organismus eingegriffen werden kann.
<b>Gentechnik</b>	Bezeichnet die Technik zur Erforschung und Veränderung von Genen.
<b>Gentherapie</b>	Bezeichnet die Ersetzung von mutierten Genen durch funktionsfähige, wodurch genetisch bedingte Krankheiten geheilt werden können.
<b>Keimbahn</b>	Es gibt kein menschliches Erbgut auf dieser Welt, das vollständig identisch ist. Bestimmte Veränderungen oder Ausprägungen im Erbgut werden jedoch von Generation zu Generation weitergegeben. Es gibt also veranschaulichend ein Band, das ein Individuum mit seinen Vorfahren, aber auch mit seinen Nachfahren verbindet. Dieses Band nennt man Keimbahn. (Vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 55f.)
<b>Keimbahneingriff</b>	Bezeichnet das medizinische Eingreifen in die Keimbahn, wodurch das Erbgut des gegenwärtigen Lebewesens, aber auch das seiner Nachkommen verändert wird (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 55f.).
<b>Keimzelle</b>	Ist die Bezeichnung für Eizellen und Spermien, die Frauen bzw. Männer auf natürliche Weise in sich tragen. Keimzellen sind ein Teil der Keimbahn.

---

<sup>1</sup> Grundsätzlich wird in der Arbeit die englische Form verwendet, um international geläufige Begrifflichkeiten nicht an die deutsche Sprache anpassen zu müssen.

<b>Mutation</b>	Ist eine Veränderung des Erbguts, die eine Auswirkung auf das Aussehen des Lebewesens haben kann.
<b>Nukleasen</b>	Sind Enzyme, welche die Fähigkeit besitzen, DNA zu „schneiden“ bzw. abzubauen (vgl. Cathomen/Puchta 2018, 2).
<b>Nukleotid</b>	Ist der Grundbaustein der DNA und besteht aus einem Zucker, einer spezifischen Base (Adenin, Thymin, Guanin oder Cytosin) und einem Phosphatrest.
<b>Präimplantationsdiagnostik</b>	Durch die PID werden durch künstliche Befruchtung gezeugte Embryonen auf ihre genetischen Eigenschaften hin untersucht, bevor sie in die Gebärmutter übertragen werden.
<b>Pränataldiagnostik</b>	Beschreibt eine Reihe von Untersuchungen, die während der Schwangerschaft durchgeführt werden, um vor der Geburt genetische Krankheiten oder Fehlbildungen zu erkennen. In den meisten Fällen wird die Diagnostik durchgeführt, um im Falle einer festgestellten Krankheit die Schwangerschaft abubrechen, da es für die erfassbaren genetischen Krankheiten meist keine fetaltherapeutischen Maßnahmen zur Heilung gibt (vgl. Schaaf/Zschocke 2013, 169f.).
<b>Reproduktionsmedizin</b>	Ist ein Teilbereich der Medizin, der sich mit der menschlichen Fortpflanzung beschäftigt.
<b>RNA</b>	Ist die Abkürzung für „Ribonucleic acid“ (zu Deutsch „Ribonukleinsäure“). In ihrer räumlichen Struktur ist sie ein Einzelstrang, bestehend aus vielen Nukleotiden. Die komplementären Basenpaare umfassen Guanin und Cytosin sowie Adenin und Uracil, die über Wasserstoffbrücken miteinander verbunden sind.

# 1 Einleitung

Die Medizinethik ist ein Teilbereich der Ethik, der sich „mit Fragen nach dem moralisch Gesollten, Erlaubten und Zulässigen, speziell im Umgang mit menschlicher Krankheit und Gesundheit“ (Schöne-Seifert 2007, 10) auseinandersetzt. Dieses Gebiet hat in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen, weil die Gesellschaft durch den rasanten technologischen Fortschritt in der Reproduktionsmedizin oder in der Gentherapie vor komplizierte moralische Entscheidungen gestellt wird. Sowohl in der Reproduktionsmedizin als auch in der Gentherapie spielt der Umgang mit Embryonen und der Eingriff in entstehendes menschliches Leben eine große Rolle, wodurch bereits kontroverse Debatten zustande kamen.

„Nicht alles, was technologisch machbar ist, ist wissenschaftlich sinnvoll oder ethisch vertretbar.“ (Cathomen/Puchta 2018, VI) So ist auch das junge medizinische Verfahren der Genschere CRISPR/Cas9 aus ethischen Gründen umstritten. Mit der neuen Technologie ist es möglich, das Erbgut von Lebewesen gezielt zu verändern. Damit könnten Forscher individuelle Eigenschaften beliebig beeinflussen. Für die bahnbrechende Entdeckung von CRISPR/Cas9 werden die Wissenschaftlerinnen Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna im Oktober 2020 mit dem Nobelpreis für Chemie geehrt (vgl. Fieber 2020, o. S.). Die Auseinandersetzung mit dieser Errungenschaft kann daher aktueller nicht sein.

In der Pflanzenzucht werden die CRISPR/Cas-Systeme heute bereits erfolgreich eingesetzt. Forschern<sup>2</sup> ist es beispielsweise gelungen, transgenen Mais zu erschaffen, der gegenüber Trockenheit eine größere Toleranz zeigt und nicht sofort sein Wachstum bei Wassermangel einstellt. Damit kann man den Ertrag von Mais erheblich steigern, der auch vielen Tieren als Futtermittel dient.<sup>3</sup> Der Einsatz der neuen Technologie beim Menschen ist jedoch differenziert zu betrachten. Vorbehalte gegenüber CRISPR/Cas9 scheinen verständlich, weil die Risiken kaum abzuschätzen sind und das Erbgut zukünftiger Generationen dauerhaft verändert werden kann. Mit CRISPR/Cas9 soll es in absehbarer Zukunft auch möglich sein, Erbkrankheiten zu verhindern. Fehlerhafte Gene könnten mittels Keimbahneingriff schon in den Keimzellen bei einer künstlichen Befruchtung editiert werden, so wie es in dieser Arbeit beleuchtet werden soll. In Zukunft gäbe es somit die Möglichkeit, Menschen durch den medizinischen Eingriff von ihren Leiden zu befreien. Diese Vorstellung ist äußerst verlockend und im ersten Moment scheint einer Zustimmung nichts entgegenzustehen. Jedoch wirft die Genschere viele ethische Frage auf und ist deshalb keineswegs bedenkenlos einsetzbar.

Aus diesem Grund äußern sich auch der Deutsche Ethikrat und die Leopoldina zu der Genschere. Sie beschränken sich aber vor allem darauf, die Gesellschaft durch gezielte Fragen zu dem Thema zum Nachdenken anzuregen. Annika Hardt von der Universität Hamburg schreibt in ihrer Doktorarbeit mit dem Titel „Technikfolgenabschätzung des CRISPR/Cas-Systems. Über die Anwendung in menschlichen Keimbahnen“ ebenfalls über das neue medizinische Verfahren, wobei sie dort besonders auf die Technikfolgenabschätzung eingeht und nicht auf die Ethik im Speziellen.

---

<sup>2</sup> Im Folgenden wird – der besseren Lesbarkeit wegen – für weibliche und männliche Formen nur die männliche Bezeichnung verwendet.

<sup>3</sup> <https://www.transgen.de/forschung/2662.crispr-genome-editing-beispiele-pflanzen.html> [zuletzt überprüft am 16.02.20]

In der vorliegenden Besonderen Lernleistung soll deshalb die CRISPR/Cas9-Genschere und die daraus resultierende ethische Problematik neu beleuchtet und anhand von ausgewählten Kriterien vorgestellt werden. Der Fokus liegt dabei besonders auf der Ethik hinter diesem neuartigen Verfahren, weniger auf der Biologie und Chemie. Außerdem wird die Arbeit auf die Anwendung von CRISPR/Cas9 als Keimbahneingriff zur Behandlung von Erbkrankheiten beschränkt. Dieses Einsatzgebiet scheint in der Zukunft realistisch, wodurch ganze Generationen geheilt werden könnten. Am Ende erfolgt in einer Diskussion die Abwägung der in der Arbeit erarbeiteten Erkenntnisse. Aufgrund der bereits genannten Bedenken, der kritischen Auseinandersetzung mit der Thematik und den so von den meisten ethischen Komitees vertretenen Meinungen, ergibt sich für diese BeLL die folgende zentrale Arbeitsthese:

*Die genetische Veränderung der menschlichen Keimbahn mit CRISPR/Cas9 an Keimzellen ist zur Behandlung von Erbkrankheiten ethisch nicht vertretbar und sollte deshalb nicht durchgeführt werden.*

Für die Untersuchung wird zunächst eine literaturgestützte Recherche ausgewählter Fachbeiträge vorgenommen, um relevante Aspekte für die ethische Bewertung des Eingriffs herauszuarbeiten. Diese findet sich in den ersten drei großen Themen dieser Arbeit wieder, in denen relevanter Kontext für die ethische Problematik vorgestellt und näher beschrieben wird. Dafür folgt zunächst die medizinische Einführung in das CRISPR/Cas9-Verfahren. Sowohl die Forschungsgeschichte von Genschern, die Arbeitsweise des genchirurgischen Verfahrens und die medizinischen Problemstellungen werden erläutert. Zum Ende dieses Kapitels erfolgt die Vorstellung von der aktuellen Anwendung am Menschen und im Speziellen der Fall He Jiankui, bei dem ein Keimbahneingriff bei menschlichen Embryonen mit der Genschere wahrscheinlich erstmals vorgenommen wurde (vgl. Merlot 2019, o. S.). Das dritte Kapitel dieser BeLL beschäftigt sich mit der nationalen und internationalen Rechtslage zur Forschung an Keimbahnzellen und Embryonen, die sehr unterschiedlich gestaltet ist. Darauf folgt das vierte Kapitel, das auf die medizinethischen Aspekte abzielt. Hier werden ausgewählte ethische Prinzipien und Theorien vorgestellt, die hilfreich sind, um Handlungen bzw. medizinische Maßnahmen moralisch beurteilen zu können. Die Prinzipien mittlerer Reichweite, Hans Jonas' Prinzip der Verantwortung, eine Natürlichkeitsargumentation und der Begriff der Menschen-/ bzw. Gattungswürde sind für diesen Abschnitt relevant.

Der Schwerpunkt der Eigenleistung liegt im fünften Kapitel der BeLL. Es werden die untersuchten ethischen Theorien in Bezug auf die Genschere mit dem Hintergrundwissen zu den medizinischen Aspekten und der Rechtslage diskutiert. Dafür erfolgt zunächst die Anwendung der vier Prinzipien mittlerer Reichweite auf das konkrete Beispiel menschlicher Keimbahneingriffe mittels CRISPR/Cas9 in Keimzellen zur Behandlung von Erbkrankheiten, um anschließend eine Abwägung anhand der erarbeiteten Basis vorzunehmen. Aspekte aus den weiteren ethischen Theorien werden entweder der deontologischen Ebene, bei der Werte im Mittelpunkt stehen, oder der konsequentialistischen Ebene zugeordnet, bei der das Augenmerk auf den Folgen liegt. Innerhalb dieser Ebenen werden die einzelnen Argumente beleuchtet. Ziel des Diskussionsteils ist es abzuleiten, inwieweit die Arbeitsthese nach dem heutigen Stand der Technik verifiziert bzw. falsifiziert werden kann. Dabei ist zu betonen, dass das vermittelte persönliche Statement womöglich nur für exakt den im Moment existierenden Stand der Forschung gilt und durch ein Weiterdenken ganz neue Aspekte auftreten können, die zu einem gänzlich anderen Ergebnis führen.

## 2 Medizinischer Hintergrund

Die Entdeckung von CRISPR/Cas9 revolutioniert die Gentechnik. Das genchirurgische Verfahren unterscheidet sich von herkömmlichen Methoden und induziert damit große Erwartungen. Besonders in Bezug auf die Behandlung von Erbkrankheiten sehen viele Wissenschaftler eine großartige Chance, Menschen zu heilen. Gleichzeitig ruft es bei vielen Menschen Bedenken hervor. Im folgenden Kapitel soll zunächst ein Überblick über das Verfahren CRISPR/Cas9 im Allgemeinen geschaffen werden. Darauf folgt die Erläuterung der Forschungsgeschichte von Genschern. Anschließend wird sich umfassend mit der praktizierten CRISPR/Cas9-Technologie beschäftigt.

### 2.1 Forschungsgeschichte Genschern

Der Mensch verändert schon seit vielen tausend Jahren Lebewesen durch zufällige Zucht und versucht damit, die für ihn besten Lebensbedingungen zu schaffen. Doch erst mit der Entdeckung der DNA durch Johann Friedrich Miescher Mitte des 19. Jahrhunderts, versteht man die Zusammenhänge zwischen den Genen und dem Aussehen und kann seitdem Organismen gezielt verändern (vgl. Baack et al. 2016, 144). Im Forschungsgebiet der Genchirurgie kommen damit etwa 150 Jahre später auch die ersten Genschern zum Einsatz, mit denen man die DNA-Stränge an genau definierten Stellen schneiden und die Reparatur an diesen Stellen beliebig gestalten kann (vgl. Henn 2016, o. S.). Dabei ist wichtig zu erwähnen, dass das Schneiden der DNA durch sogenannte Nukleasen und die daraus folgende genetische Veränderung ein Prinzip der Natur ist und nicht vom Menschen erfunden wurde (vgl. Cathomen/Puchta 2018, 2).

Ende der 1960er-Jahre entdeckt man die ersten molekularen Scheren: die RENs (Restriktionsendonukleasen). Dabei handelt es sich um Enzyme, die Bakterien zur Abwehr von Viren dienen, weil sie das Virusgenom erkennen und an einer bestimmten Stelle schneiden können. Diese RENs können beim Menschen aber nicht eingesetzt werden, weil sie nur sehr kurze Basensequenzen erkennen und solche spezifischen Erkennungsmuster fast eine Million Mal in menschlichem Genom vorkommen. (Vgl. Cathomen/Puchta 2018, 2f.)

Als die ersten molekularen Scheren für Pflanzen- und Humanzellen gelten die natürlich aus Hefe stammenden Genschern. Eine Anwendung in der Humanmedizin ist jedoch ebenfalls problematisch, weil sie aufgrund ihres natürlichen Vorkommens nur schwer umzuprogrammieren sind, wodurch sie Forscher nicht gezielt im Erbmaterial anwenden können. (Vgl. Cathomen/Puchta 2018, 3)

Seit fast 20 Jahren finden deshalb künstliche Genschern ihre Anwendung in der Medizin. Dazu zählen zum Beispiel die ZFNs (Zinkfinger-Nukleasen) (vgl. Cathomen/Puchta 2018, 3). Sie sind besonders klein und kommen deswegen in der Gentherapie zum Einsatz. Ihre Erzeugung ist jedoch zeitaufwändig und teuer, weshalb sie nur in manchen Speziallabors verwendet werden (vgl. Henn 2016, o. S.).

Die besseren, vor etwa 10 Jahren entwickelten TALENs (transkriptionsaktivatorartige Effektor-nukleasen), die aus Pflanzenbakterien stammen, arbeiten sehr präzise. Für ihre Herstellung ist jedoch viel Wissen nötig, wodurch sie ebenfalls nicht optimal für eine kommerzielle Anwendung sind. (Vgl. Cathomen/Puchta 2018, 4)



Diese Nachteile sorgen dafür, dass die bis dahin bekannten Genscheren nur geringfügig in Laboren zum Einsatz kommen. Die Forschung hält weiterhin nach einem effektiveren Verfahren Ausschau.

Erst 2012 erfolgt die Entdeckung einer revolutionären Methode, bei der die Puzzleteile aus den letzten Jahren zu einem neuen, funktionierenden System zusammengefügt werden können (vgl. Knox 2018, 9). Die Genschere CRISPR/Cas9 besteht aus nur zwei Teilen. Das Protein Cas9 stammt ursprünglich aus dem Bakterium *Streptococcus pyogenes*. Dieses Enzym hat die Fähigkeit einer Nuklease und kann somit den DNA-Strang des Erbguts durchschneiden. Zu CRISPR finden sich im Jahr 1987 Hinweise, als das Bakterium *Escherichia coli* erforscht wird und dabei die typischen CRISPR-Sequenzen entdeckt werden. Erst um die Jahrtausendwende sehen Wissenschaftler einen Zusammenhang zwischen den CRISPR-Sequenzen und bestimmten Abschnitten der im Genom vorkommenden DNA von Bakterien. Die CRISPR-Sequenzen sind ein Bestandteil des adaptiven Immunsystems zur Abwehr von Viren der Organismen.<sup>4</sup> In der Anwendung als künstlich erzeugte Genschere werden diese RNA-Sequenzen von den Forschern so erstellt und programmiert, dass sie an einer genau definierten Stelle des Erbguts binden. Damit zeigen sie Cas9 an, an welcher Stelle der Schnitt des DNA-Strangs erfolgen soll. (Vgl. Henn 2016, o. S.)

Die CRISPR/Cas9-Genscheren charakterisieren sich über ihre schnelle Herstellung und ihre extreme Effizienz (vgl. Cathomen/Puchta 2018, VII). Für eine Anwendung des molekularbiologischen Verfahrens müssen meist nur die erforderlichen RNA-Fragmente bestellt werden, da man ansonsten nur Standardreagenzien benötigt (vgl. Ledford 2018, 39). Aus diesem Grund belaufen sich die Gesamtkosten nur auf rund 30 Dollar (vgl. Ledford 2018, 39). Für Forscher ist es deshalb sehr leicht, mit CRISPR/Cas9 zu arbeiten, da sie durch die einfache Programmierbarkeit nicht über eine Vielzahl an Vorkenntnissen und finanziellen Mitteln verfügen müssen (vgl. Henn 2016, o. S.). Bis zu einem möglichen regulären Einsatz müsste jedoch mit hohen Forschungskosten gerechnet werden.

Als Entdecker von CRISPR/Cas9 gilt die Arbeitsgruppe um Emmanuelle Charpentier, die damals noch in der schwedischen Stadt Umeå arbeitet, kombiniert mit der Forschungsgruppe von Jennifer Doudna aus Berkeley, Kalifornien (vgl. Knox 2018, 9). Jedoch gelingt es erst dem Neurowissenschaftler Feng Zhang vom Massachusetts Institute of Technology das neue Verfahren nicht nur im Bakterium anzuwenden, sondern zugänglich für alle Zellen zu gestalten (vgl. Czepel 2017, o. S.).

Im Oktober 2019 berichten erstmals deutsche Zeitungen über eine neue Methode der Genchirurgie, bei der es sich um die Weiterentwicklung der CRISPR/Cas9-Genschere handelt. „Prime Editing“ wird diese genannt. „Das Prime Editing führt anders als CRISPR/Cas9 durch den gezielten Einsatz eines bestimmten Enzyms keine Zerschneidung des Erbgutes durch [...]“, sagt Jan Korbel vom Europäischen Laboratorium für Molekularbiologie in Heidelberg. Trotzdem ist auch das Prime Editing nicht so weit erforscht, dass es bedenkenlos am Menschen angewendet werden kann.<sup>5</sup> Auch andere Weiterentwicklungen sind bekannt: Die Wissenschaft arbeitet auf Hochtouren, um das CRISPR/Cas9-System noch effizienter zu gestalten und die Fehlerquote gegen null streben zu lassen. Es tauchen immer häufiger Fachartikel auf, in denen von verschiedenen Methoden berichtet wird, um das medizinische Verfahren zu verbessern. Beispielsweise wird das Cas9-Protein verändert, sodass die Varianten eSpCas9 und Cas9-HF1 entstehen, die eine höhere Treffsicherheit haben sollen. Die Hoffnung der Forscher hängt auch

---

<sup>4</sup> <https://www.mpg.de/11032886/crispr-cas9-aufgaben> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<sup>5</sup> <https://www.zeit.de/wissen/2019-10/crispr-cas9-genetik-erbgut-genschere-dna> [zuletzt überprüft am 26.12.19]

an den sogenannten Nickasen. Das sind Proteine, die nur einen der Doppelstränge der DNA durchtrennen. Dadurch sollen ebenfalls fehlerhafte Schnitte im Erbgut minimiert werden.<sup>6</sup>

## 2.2 CRISPR/Cas9

Die Genschere CRISPR/Cas9 revolutioniert die Gentechnik. Im Folgenden soll diese nun im medizinischen Sinne genauer betrachtet werden, wobei die Arbeitsweise, die medizinischen Problemstellungen, die aktuelle Anwendung am Menschen und der Fall He Jiankui im Vordergrund stehen.

### 2.2.1 Arbeitsweise

Das genchirurgische Verfahren ist komplex gestaltet und umfasst viele voneinander abhängige Prozesse. Im Volksmund wird diese Revolution auf dem Gebiet der Medizin häufig als Genschere bezeichnet, was das Verfahren wohl am besten beschreibt. Mit CRISPR/Cas9 ist es möglich, die DNA von Organismen an einer bestimmten Stelle präzise zu schneiden und damit Teile des Erbmaterials zu entfernen bzw. auch neue Teile einzufügen.<sup>7</sup> Somit könnten auch Erbkrankheiten geheilt werden.

Wie bereits erwähnt, sind die CRISPR/Cas-Systeme keine Neuerfindung des Menschen, sondern ein natürlicher Bestandteil des Abwehrsystems von Bakterien.<sup>8</sup> Werden diese Organismen von Viren befallen, so speisen die Viren ihre DNA in das Innere der Bakterien ein, um sich dort zu vermehren. Aufgrund ihres Abwehrsystems prägen sich Bakterien jedoch den Erreger ein, in dem sie ein kleines Stück aus dem Virenerbgut mithilfe von Enzymen heraus-schneiden und dieses in ihr eigenes Erbgut an einer ganz spezifischen Stelle einbauen.<sup>9</sup> Dieser Abschnitt wird CRISPR-Abschnitt genannt.

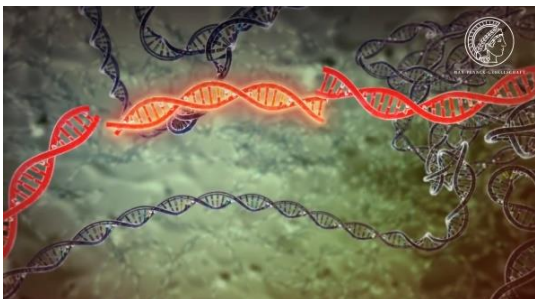


Abbildung 1: Enzym schneidet kleines Stück aus der Viren-DNA heraus

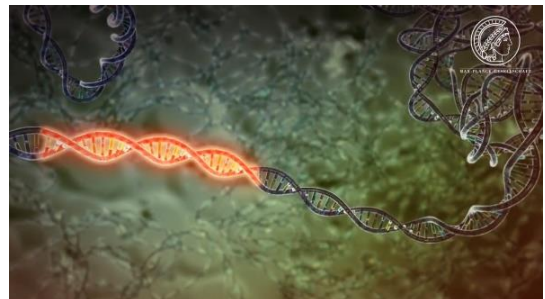


Abbildung 2: Viren-DNA wird in Erbgut der Bakterien eingefügt

<sup>6</sup> <https://www.mpg.de/11033678/crispr-cas9-zukunft> [zuletzt überprüft am 29.12.19]

<sup>7</sup> <https://www.mpg.de/11018867/crispr-cas9> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<sup>8</sup> <https://www.mpg.de/11032886/crispr-cas9-aufgaben> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<sup>9</sup> <https://www.mpg.de/11032932/crispr-cas9-mechanismus> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Der CRISPR-Abschnitt umfasst eine bestimmte Reihenfolge der vier Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin. Sie machen einen der drei grundlegenden Bausteine unseres Erbmateri- als, der DNA, aus. CRISPR kommt aus dem Englischen und steht für „*clustered regularly interspaced, short palindromic repeats*“, was im Deutschen so viel wie „gehäuft auftretende, mit regelmäßigen Zwischenräumen angeordnete, kurze palindromische Wiederholungen“ bedeutet. Worte, die von hinten wie vorne gleich zu lesen sind, wie zum Beispiel „Rentner“ oder der Name „Anna“, werden unter dem Begriff Palindrom zusammengefasst. Die CRISPR-Sequenzen sind also Abschnitte der DNA, bei denen auf beiden DNA-Strängen die gleichen Basen vorkommen, nur bei einem der beiden Stränge in umgekehrter Reihenfolge. Diese Abschnitte sind jedoch in der genetischen Sprache sinnfrei und verschlüsseln somit kein Protein. Sie haben dennoch eine wichtige Funktion, weil DNA-schneidende Proteine häufig CRISPR-Sequenzen als Erkennungsmerkmale für die Stelle, an der sie die DNA durchtrennen, nutzen.<sup>10</sup>

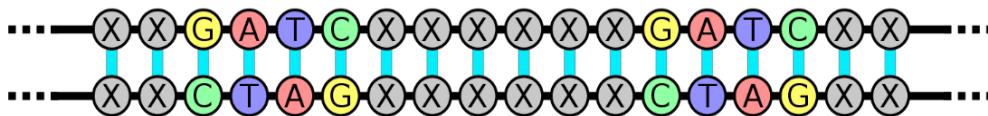


Abbildung 3: Beispiel für eine palindromische DNA-Sequenz

Die CRISPR-Sequenz in den Bakterien wird von der Zelle in eine RNA-Sequenz übersetzt, die sogenannte CRISPR-RNA. Sie besteht aus der Bakterien-DNA und aus der Viren-DNA.<sup>11</sup>



Abbildung 4: Übersetzung der CRISPR-Sequenz in CRISPR-RNA

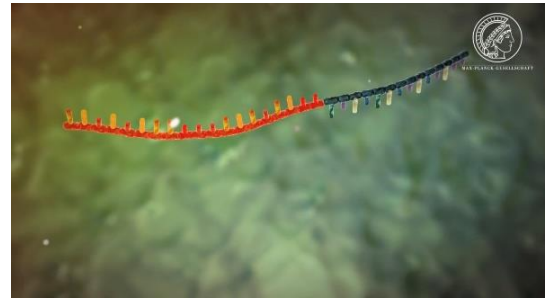


Abbildung 5: CRISPR-RNA bestehend aus Bakterien-DNA (rot) und Viren-DNA (blau)

An die CRISPR-RNA bindet sich ein weiteres Molekül, das als tracrRNA bezeichnet wird. Gemeinsam binden sich die beiden an das Schneideenzym Cas9.<sup>12</sup>



Abbildung 6: CRISPR-RNA mit gebundener tracrRNA



Abbildung 7: Bindung von CRISPR-RNA und tracrRNA an Cas9

<sup>10</sup> <https://www.mpg.de/11032846/crispr-dna-abschnitt> [zuletzt überprüft am 28.12.19]

<sup>11</sup> <https://www.mpg.de/11032932/crispr-cas9-mechanismus> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<sup>12</sup> <https://www.mpg.de/11032932/crispr-cas9-mechanismus> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Der entstandene Komplex schützt nun genau gegen diese Art des eingedrungenen Virus, da die CRISPR-RNA des Komplexes komplementär zur Viren-DNA ist und sich somit an diese binden kann. Daraufhin zerschneidet Cas9 (*CRISPR-associated*, zu Deutsch: „CRISPR-assoziiert“) den DNA-Strang des Virus, sodass es unschädlich wird und die von ihm ausgehende Bedrohung erfolgreich abgewehrt wird.<sup>13</sup>

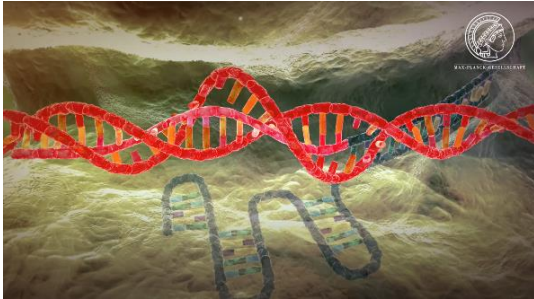


Abbildung 8: Virus-DNA bindet komplementär an CRISPR-RNA



Abbildung 9: Cas9 zerschneidet DNA-Strang des Virus

Der CRISPR-Abschnitt ist also verantwortlich dafür, das Schneideenzym Cas9 zu dem Zielort auf der Viren-DNA zu führen. Das funktioniert jedoch nur, wenn die tracrRNA an die CRISPR-RNA gebunden ist.<sup>14</sup>

Wissenschaftler finden heraus, dass man die CRISPR-RNA und die tracrRNA zu nur einem Molekül fusionieren kann, wodurch sich ihre künstliche Erschaffung erleichtert. Auch lässt sich Cas9 so manipulieren, dass es auch in Zellen mit einem Zellkern (pflanzliche -, tierische bzw. menschliche Zellen) arbeitet.<sup>15</sup> Des Weiteren kann das natürliche System durch die Forscher beeinflusst werden, indem sie die RNA-Sequenz des fusionierten Moleküls (bestehend aus CRISPR und der tracrRNA) künstlich so verändern, dass eine bestimmte Stelle im Erbgut angepeilt wird, wo Cas9 den DNA-Strang zerschneidet (vgl. Knox 2018, 13). Auf diese Weise können gezielt einzelne Gene ausgeschaltet werden. Die RNA kann nach einem Schnitt nicht fehlerfrei wiederhergestellt werden und wird dadurch nicht mehr abgelesen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, an der Schnittstelle neue RNA einzufügen und damit ganze Gene auszutauschen. Jede Veränderung hat einen Einfluss auf den Organismus und seine Eigenschaften.<sup>16</sup>

## 2.2.2 Medizinische Problemstellungen

Die Anwendung des CRISPR/Cas9-Verfahrens an mehrzelligen Organismen tritt meist nicht ohne Begleiterscheinungen auf. Ein fehlerfreier Ablauf kann nicht immer gewährleistet werden und die möglichen Risiken lassen sich heute noch nicht vollständig überblicken. Aufgrund der auftretenden Schwierigkeiten ist eine Behandlung beim Menschen besonders umstritten.

<sup>13</sup> <https://www.mpg.de/11032886/crispr-cas9-aufgaben> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<sup>14</sup> <https://www.mpg.de/11032932/crispr-cas9-mechanismus> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<sup>15</sup> <https://www.mpg.de/11032886/crispr-cas9-aufgaben> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<sup>16</sup> <https://www.mpg.de/11018867/crispr-cas9> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Da CRISPR/Cas9 bereits teilweise erfolgreich an Tieren getestet ist (vgl. Knox 2018, 15ff.), stellt sich die Frage, ob man gewonnene Erkenntnisse problemlos auf den Menschen projizieren kann. Daraus folgt, dass Menschenversuche theoretisch unumgänglich sind, was eine ganz neue Diskussionsgrundlage hervorruft.

Weiterhin kann es bei der Reparatur von Schnittstellen durch das zelleigene Reparatursystem zu Mängeln kommen, die im schlimmsten Fall DNA-Abschnitte löschen (vgl. Deutscher Ethikrat 2019b, 8). Diese unbeabsichtigten Konsequenzen an der Schnittstelle werden als „On-Target-Effekte“ bezeichnet. Neben diese treten gelegentlich sogenannten „Off-Target-Effekte“ auf, die vor allem bei Keimbahneingriffen vollständig vermieden werden müssen. Dabei schneidet das Cas9-Protein die DNA an unvorhergesehenen Stellen (vgl. Irmer 2018, 165). Ist die Zielsequenz relativ kurz, ist es wahrscheinlich, dass sie mehrmals im Erbgut vorkommt und alle der Erkennungssequenz ähnlichen Abschnitte, ebenfalls durchtrennt werden.<sup>17</sup> Solche Schnitte sind problematisch, weil dadurch funktionierende Gene ausgeschaltet bzw. zerstört werden können. Es entstehen gravierende Folgen für den Organismus: Beispielsweise kann das Wachstum der Zelle begünstigt werden und damit den Ausbruch der Krankheit Krebs fördern (vgl. Ledford 2018, 44).

Ein weiteres Problem besteht darin, dass CRISPR/Cas9 nicht bei allen Genen funktioniert. Es scheint somit Inhibitoren zu geben, die verhindern, dass das Verfahren an allen Orten des Organismus arbeitet. Welche genau das sind, ist bisher noch unklar. (Vgl. Sieb 2017: 00:05:06-00:05:07) Erforscht ist jedoch bereits, dass die Technologie gut in Zellen funktioniert, in denen das Antikrebsprotein p53 nicht aktiv ist. Treten bei der Behandlung mit CRISPR/Cas9 Komplikationen auf, ist eine Anfälligkeit des Patienten für Krebs höher (vgl. Osterkamp 2018, o. S.).

Hinzu kommt, dass CRISPR/Cas9 nach einer Keimbahnintervention nicht entfernt wird. Die Genschere wird nach dem Erfüllen ihrer Aufgabe vom zelleigenen „Recycling-System“ (mit dem Proteine, RNA und ähnliches zerlegt werden) abgebaut und aus den Bestandteilen können sich wieder neue Moleküle bilden.<sup>18</sup> Es ist jedoch unklar, ob sich die Bestandteile nach langer Zeit wieder zusammensetzen könnten. Deshalb wäre es vorteilhafter, wenn CRISPR/Cas9 nur zeitweise aktiv wäre.<sup>19</sup>

Es ist weiterhin denkbar, dass sich CRISPR/Cas9 negativ auf das Gehirn und damit auf die kognitiven Fähigkeiten des Patienten auswirkt, äußern Forscher im Februar 2019 (vgl. Merlot 2019, o. S.).

Eine gewisse Problematik verbirgt sich auch in der einfachen Ausführung der Behandlung. So soll es bereits Laborzulieferer geben, die injektionsfertige CRISPR/Cas9-Sets anbieten, so dass die Technik ganz einfach in Hobby-Laboren angewendet werden könnte (vgl. Knox 2018, 15).

Der Deutsche Ethikrat spricht sich 2019 dafür aus, dass Keimbahneingriffe derzeit aufgrund der unvorhersehbaren Risiken als ethisch nicht vertretbar gelten (vgl. Deutscher Ethikrat 2019c, o. S.).

---

<sup>17</sup> <https://www.mpg.de/11033678/crispr-cas9-zukunft> [zuletzt überprüft am 30.12.19]

<sup>18</sup> E-Mail von Dr. Harald Rösch von der Max-Planck-Gesellschaft vom 20.02.20

<sup>19</sup> <https://www.mpg.de/11033456/crispr-cas9-therapien> [zuletzt überprüft am 30.12.19]

### 2.2.3 Aktuelle Anwendung am Menschen

Die Behandlung mit CRISPR/Cas9 an Tieren hat gezeigt, dass es in Zukunft möglich sein könnte, bestimmte Krankheitsbilder mithilfe der Technologie zu therapieren. So hat man schon Mäuse, Ratten, Kaninchen, Fruchtfliegen, aber auch Nutzpflanzen (vgl. Knox 2018, 15ff.) und Pilze (vgl. Ledford 2018, 40) dem genchirurgischen Verfahren unterzogen. Wie bereits im Abschnitt 2.2.2 angesprochen, ist es jedoch fragwürdig, inwieweit sich die erworbenen Erkenntnisse auf den Menschen übertragen lassen.

Zunächst ist wichtig zu erwähnen, dass CRISPR/Cas9 bisher nur zu Forschungszwecken eingesetzt wird und man dabei nicht die Keimbahn veränderte. Ein Keimbahneingriff bei menschlichen Embryonen mit der Genschere hat erstmals im Fall He Jiankui stattgefunden, der im Abschnitt 2.2.4 explizit beleuchtet werden soll. (Vgl. Merlot 2019, o. S.)

Bei der Anwendung kann entweder nach der „ex vivo“ oder „in vivo“ genchirurgischen Methode vorgegangen werden. Beim „ex vivo“ Ansatz werden dem Patienten Stammzellen entnommen, welche dann außerhalb des menschlichen Körpers von genetisch veränderten Viren die Gene von CRISPR/Cas9 eingebaut bekommen. Außerdem kann CRISPR/Cas9 auch in Fetttröpfchen eingeschleust werden, die dann von den Stammzellen aufgenommen werden. Die veränderten Stammzellen werden dann zurück in den Körper verpflanzt und vermehren sich. Bei der „in vivo“ Genchirurgie werden die CRISPR/Cas9-Gene bzw. die fertig modifizierte Moleküle von Fetttröpfchen oder Viren direkt auf die Körperzellen übertragen. Dabei besteht jedoch die Gefahr, dass die Zielzellen nicht erreicht werden.<sup>20</sup>

Die meisten Forschungen werden jedoch an nicht mehr lebensfähigen Embryonen oder an jenen, die in der Reproduktionsmedizin übergeblieben sind, vorgenommen. Diese Eingriffe werden in der vorliegenden Arbeit jedoch nicht weiter diskutiert, da sich auf die Behandlung von Erbkrankheiten mittels Keimbahneingriff durch CRISPR/Cas9 beschränkt wird.

Wendet man das Verfahren in Keimzellen an, werden dabei die männlichen bevorzugt. Sie kommen, anders als Eizellen, in einer Vielzahl vor, was die Chancen erhöht, auch bei suboptimaler Technik zumindest einige Zellen nach dem beabsichtigten Behandlungsergebnis zu verändern. Die direkte Behandlung von Spermien könnte zudem mögliche Nebenwirkungen potenziell vermeiden, sofern die Genschere noch vor der Befruchtung arbeitet. Durch eine später erfolgende Präimplantationsdiagnostik könnte man prüfen, ob die zur Befruchtung genutzte Spermazelle tatsächlich die angestrebte genetische Veränderung in sich trägt. (Vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 69)

In Bezug auf den Menschen berichten erstmals 2015 chinesische Forscher, dass sie zwecks einer Studie mit CRISPR/Cas9 ins Erbgut von nicht überlebenden menschlichen Embryonen eingriffen und dort ein Gen verändert hätten, dass bei einer Mutation die Blutkrankheit Beta-Thalassämie hervorrufen könne (vgl. Knox 2018, 17). Als Vorteil bei dieser Art der Behandlung von Erbkrankheiten lässt sich anführen, dass meist nur ein Schnitt durch die Genschere eine Heilung des Betroffenen ermöglicht. Die Ursache für die Erbkrankheit Beta-Thalassämie ist eine Mutation im  $\beta$ -Globin-Gen (HBB), das sich auf dem Chromosom 11 befindet.<sup>21</sup> Durch die Mutation ist die Produktion von verschiedenen Eiweißketten, sogenannte Globinketten, gestört. Globinketten sind der Bestandteil des Hämoglobins, der für den

<sup>20</sup> <https://www.mpg.de/11033456/crispr-cas9-therapien> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

<sup>21</sup> <https://flexikon.doccheck.com/de/Beta-Thalass%C3%A4mie> [zuletzt überprüft am 16.02.20]

Transport von Sauerstoff im Blut verantwortlich ist (vgl. Cario 2012, o. S.). Betroffene leiden deshalb unter Blutarmut<sup>22</sup>. Es kann auch zur Vergrößerung von Milz und Leber sowie zur Schädigung innerer Organe kommen. Patienten, die von einer schwerwiegenden Form betroffen sind, müssen deshalb lebenslang regelmäßig eine Bluttransfusion erhalten oder auf eine Knochenmarktransplantation bzw. Stammzelltransplantation hoffen.<sup>23</sup> Die Art der Mutation, durch die diese Blutkrankheit hervorgerufen wird, ist häufig eine Punktmutation (vgl. Holinski-Feder/Abicht 2016, 2). Als Punktmutation bezeichnet man eine Art der Genmutation, die nur eine Base der DNA betrifft. Mit CRISPR/Cas9 könnte man den DNA-Strang genau an der Stelle schneiden, an der die Punktmutation beim  $\beta$ -Globin-Gen auftritt und somit beispielsweise ein hinzugefügtes Nukleotid entfernen.

Auch beim Behandeln von Muskeldystrophie-Duchenne-Patienten habe die Genschere einen Erfolg gezeigt: Die Behandelten hätten leicht erhöhte Werte eines Proteins aufgewiesen, das aufgrund des Gendefekts nicht hergestellt werden könne.<sup>24</sup> Der Gendefekt äußert sich durch eine Mutation im Dystrophin-Gen auf dem X-Chromosom.<sup>25</sup> Diese schwere und lebensbedrohliche Krankheit ist gekennzeichnet durch Muskelschwund, der bei den Betroffenen auftritt. Dadurch liegt die Lebenserwartung von Erkrankten nur bei etwa 30 Jahren und auch durch eine Therapie ist eine Verbesserung des Zustands nur geringfügig möglich.<sup>26</sup> Da für den Gendefekt am häufigsten eine Deletion verantwortlich ist, bei der durch das Auslassen von einer Nukleotidsequenz genetisches Material verloren geht, könnte CRISPR/Cas9 hier zum Einsatz kommen. Dafür müsste die Genschere so programmiert werden, dass sie Deletion auf dem Chromosom findet. Dort würde das Protein Cas9 den DNA-Strang schneiden, sodass die fehlenden Nukleotide eingefügt werden können.

Ebenso soll die Heilung von Krebs- und HIV-Patienten in ersten klinischen Studien erprobt worden sein. Dabei hätten Wissenschaftler Teile des HI-Virus Erbguts erfolgreich aus menschlichen Zellen herausgeschnitten. Neuere Erkenntnisse deuten jedoch darauf hin, dass die Erreger schnell resistent gegen die Genschere werden können.<sup>27</sup>

## 2.2.4 Der Fall He Jiankui

In diesem speziellen Fall wurde CRISPR/Cas9 wahrscheinlich erstmalig mittels Keimbahneingriff an lebensfähigen menschlichen Embryonen angewendet und sorgte weltweit für Aufregung. Der 35 Jahre alte Forscher He Jiankui (vgl. Wurzel 2019, o. S.) verändert im November 2018 das Erbgut zweier Embryonen mithilfe der Genschere in einer Klinik in der chinesischen Stadt Shenzhen (vgl. Merlot 2019, o. S.).

Dabei habe er das Gen des CCR5-Rezeptors beider Embryonen verändert und deaktiviert (vgl. Burgio/Perrin 2019, o. S.), sodass die geborenen Kinder immun gegen eine Ansteckung mit dem HI-Virus seien, mit dem sich der Vater der Kinder infiziert habe.<sup>28</sup>

---

<sup>22</sup> Bezeichnet die „Verringerung der Zahl der roten Blutkörperchen (Erythrozyten) bzw. deren Fähigkeit, Sauerstoff zu transportieren.“; entnommen aus: <https://www.gesundheit.gv.at/lexikon/b/anaemie> [zuletzt überprüft am 16.02.20]

<sup>23</sup> <https://www.gesundheit.gv.at/krankheiten/blut/beta-thalassaemie> [zuletzt überprüft am 16.02.20]

<sup>24</sup> <https://www.mpg.de/11033456/crispr-cas9-therapien> [zuletzt überprüft am 28.12.19]

<sup>25</sup> <https://www.beobachter.ch/gesundheit/krankheit/muskelschwund-muskeldystrophie> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

<sup>26</sup> <https://www.duchenne.de/muskelerkrankungen-bei-kindern/> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

<sup>27</sup> <https://www.mpg.de/11033456/crispr-cas9-therapien> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

<sup>28</sup> <https://www.n-tv.de/wissen/Gen-Zwillinge-haben-offenbar-verbesserte-Gehirne-article20871882.html> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

Es ist möglich, dass es bei diesem Eingriff zu einem „Off-Target-Effekt“ kam, der potenziell zu schweren gesundheitlichen Beeinträchtigungen führt (vgl. Burgio/Perrin 2019, o. S.). Außerdem sei die Immunisierung bei einem Zwilling nur unvollständig erfolgt, sodass die Infizierung einiger Zellen mit dem HI-Virus nicht ausgeschlossen werden kann.<sup>29</sup>

Die Geburt gibt He Jiankui bei der Fachtagung „Second International Summit on Humane Genome Editing“ in Hongkong und in einem YouTube-Video bekannt. Er selbst rechtfertigt die Behandlung als moralisch vertretbar, weil seiner Ansicht nach alles gemacht werden muss, um Krankheiten zu heilen, wenn es technisch möglich ist (vgl. Ekkernkamp 2019, o. S.). Dabei ist die Vermeidung von einer Infektion mit dem HI-Virus sicherlich ein wichtiges Ziel, jedoch rechtfertigt dies nicht die unabsehbaren Folgen eines Keimbahneingriffs. Eine mit dem HI-Virus infizierte Person ist zwar ein Leben lang auf eine Behandlung angewiesen, aber die Krankheit verläuft nicht mehr tödlich (vgl. Arnold 2019, o. S.). Weiterhin äußert der Forscher He Jiankui, dass eine weitere Frau mit einem genmanipulierten Baby schwanger sei und laut der nationalen Nachrichtenagentur Xinhua soll dieses Kind ebenfalls schon auf der Welt sein.<sup>30</sup>

Am 30. Dezember 2019 berichtet die Nachrichtenagentur Xinhua über die Verurteilung des Forschers zu einer Haftstrafe von drei Jahren und einer Geldstrafe von etwa 380.000 Euro wegen illegaler Genmanipulation an menschlichen Embryonen (vgl. Merlot 2019, o. S.).

Durch den Keimbahneingriff befände sich die Veränderung des CCR5 Gens in allen Körperzellen der Zwillingsschwestern, wodurch die HIV-Immunität auch an zukünftige Generationen weitervererbt werden würde. He Jiankui löst mit seinem Eingriff eine umfangreiche Debatte über Regeln in der Wissenschaft aus.

### **3 Rechtslage zur Forschung an Keimbahnzellen und Embryonen**

Gesetze werden unter anderem erlassen, um unkontrollierte Handlungen zu unterbinden und Grenzen festzulegen. Vor allem für medizinische Verfahren oder ganz besonders in der Reproduktionsmedizin sind Richtlinien nötig, da hier durch die aufstrebende Technik eine enorme Reichweite an Handlungsmacht gewonnen wird. Im folgenden Kapitel soll die Rechtslage zur Forschung an Keimbahnzellen und Embryonen sowohl national, als auch international an ausgewählten Beispielen erläutert werden. Dabei sind große Unterschiede erkennbar.

#### **3.1 National**

Der Veränderung menschlicher Keimbahnzellen stehen in Deutschland hohe juristische und ethische Hürden entgegen. Das wohl bedeutendste deutsche Strafgesetz in Hinblick auf diese Thematik ist das Embryonenschutzgesetz (ESchG), das 1990 vom Bundestag verabschiedet wird (vgl. Hall 2018, 229). Es schützt den menschlichen Embryo. Dabei gelten bereits befruchtete, entwicklungsfähige menschliche Eizellen als Embryonen<sup>31</sup>. Das Strafgesetz soll die

---

<sup>29</sup> <https://www.srf.ch/kultur/wissen/crispr-babys-in-china-hat-er-sie-behandelt-oder-krank-gemacht> [zuletzt überprüft am 30.06.20]

<sup>30</sup> <https://www.theguardian.com/science/2019/jan/22/second-woman-carrying-gene-edited-baby-chinese-authorities-confirm> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

<sup>31</sup> § 8 Abs. 1 ESchG.



Verwendung einer In-vitro-Fertilisation zum falschen Zweck verhindern. Aus diesem Grund verbietet das Gesetz alleine schon den Versuch zur Erzeugung und Verwendung von Embryonen weitgehend für die Grundlagenforschung, also auch zur Erprobung und Entwicklung von Keimbahninterventionstechniken<sup>32</sup>. Auch die Gewinnung von embryonalen Stammzellen ist nicht erlaubt (vgl. Hacker 2017, 10). Wer gegen das Embryonenschutzgesetz verstößt, kann mit einer hohen Geldstrafe oder einer Freiheitsstrafe von bis zu 5 Jahren bestraft werden<sup>33</sup>.

Da für das Thema dieser Arbeit die rechtliche Lage betreffend Keimzellen, Keimbahninterventionen sowie Veränderung der Keimbahn und der Befruchtung relevant ist, wird diese im Folgenden jeweils kurz beschrieben. Nach § 5 Absatz 2 ESchG ist es verboten, künstlich veränderte Keimzellen zur Befruchtung zu verwenden. Befinden sich die Keimzellen jedoch außerhalb des menschlichen Körpers und werden ausdrücklich nicht zum Zwecke der Befruchtung verwendet, ist eine Veränderung erlaubt<sup>34</sup>. Die Veränderung der Keimbahn dagegen ist nach § 5 Absatz 1 ESchG gesetzwidrig. Ein explizites Verbot für Keimbahninterventionen, bei denen keine Veränderung an Zellen vorgenommen wird, existiert jedoch nicht (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 18f.). Künstliche Befruchtung ist nur erlaubt, wenn damit eine Schwangerschaft herbeigeführt wird<sup>35</sup>. Das heißt, dass eine Befruchtung zu Forschungszwecken wie sie heute bei CRISPR/Cas9 nötig wäre, unzulässig ist.

Weitere Unklarheiten sorgen jedoch dafür, dass das Gesetz für die Forschung ziemlich undurchsichtig ist. Es schützt eindeutig keine menschlichen Embryonen, die nicht (mehr) entwicklungsfähig sind. Ebenfalls nicht explizit verboten sind Gentherapien, die dem Weiterleben und der Gesundheit des Embryos dienen sollen. Doch was „nicht (mehr) entwicklungsfähig“ bedeutet, ist umstritten. Das Embryonenschutzgesetz birgt die Vermutung, dass jeder Embryo für die ersten 24 Stunden entwicklungsfähig ist<sup>36</sup>. Welches konkrete Entwicklungspotenzial aber erreicht sein muss, damit die fraglichen Zellen unter den Schutz des Embryonenschutzgesetzes fallen, ist unklar. (Vgl. Hacker 2017, 10)

Das Embryonenschutzgesetz wird vor 30 Jahren verabschiedet, wobei nur Sachverhalte Berücksichtigung finden, die zu dieser Zeit als besonders gefährlich und verbotsbedürftig eingeschätzt werden (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 102). Es wäre an der Zeit, den zahlreich neu entwickelten medizinischen Möglichkeiten aus den letzten Jahren ebenfalls Raum zu schaffen (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 19). Nach dem Grundsatz „keine Straftat ohne Gesetz“ (Art. 103 Abs. 2 GG) könnten ansonsten unkontrollierte Handlungen erfolgen. Um beispielsweise das Verbot zur Veränderung von Keimzellen<sup>37</sup> zu umgehen, könnten sie durch die künstlichen induzierten pluripotenten Stammzellen (iPS) zur Befruchtung verwendet werden (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 103). Für die iPS dienen Gewebezellen aus der Haut als Ausgangsmaterial, die dann mithilfe eines Virus und weiteren genetischen Faktoren so verändert werden, dass aus ihnen jede Art von menschlicher Körperzelle erzeugt werden kann (vgl. Henn 2017, o. S.). Wird die induzierte pluripotente Stammzelle zuvor genetisch verändert und dann zu einer Keimzelle umgewandelt, würde keine künstliche Veränderung der Erbinformation einer menschlichen Keimzelle vorliegen und somit das Verbot im Gesetz umgangen werden (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 103). Um der Komplexität der medizinischen Praxis gerecht zu werden und die Freiheit der Forschung zu gewährleisten, hat man dennoch bereits Versuche

---

<sup>32</sup> § 2 ESchG.

<sup>33</sup> § 5 Abs. 1 ESchG.

<sup>34</sup> § 5 Abs. 4 Nr. 1 ESchG.

<sup>35</sup> § 1 Abs. 1 Nr. 2 ESchG.

<sup>36</sup> § 8 Abs. 2 ESchG.

<sup>37</sup> § 5 Abs. 1 ESchG.

unternommen: Das Embryonenschutzgesetz wird 2011 hinsichtlich § 3a so verändert, dass eine Präimplantationsdiagnostik in Deutschland zulässig ist, wenn dadurch schwerwiegende Erbkrankheiten verhindert werden können. Eine ähnliche Gesetzesänderung wäre also auch zukünftig in Hinblick auf Keimbahninterventionen zur Heilung von Erbkrankheiten denkbar. Bis dahin werden deutsche Forscher aber zumeist weiterhin auf die Initiation einer nationalen Forschung verzichten, da die uneindeutige Rechtslage abschreckend wirkt (vgl. Hacker 2017, 10).

## 3.2 International

Im internationalen Raum sind die juristischen Hürden für Keimbahninterventionen meist wesentlich niedriger, trotzdem variieren die rechtlichen Normierungen stark. So sind in der Schweizer Bundesverfassung Eingriffe in das Erbgut menschlicher Keimzellen und Embryonen kategorisch verboten, Israel hingegen erlaubt bestimmte Forschungen an embryonalen Stammzellen. In Großbritannien trifft man auf ein strenges Lizenzierungsverfahren für die Forschung an menschlichen Embryonen, während die Forschung in den USA über die Vergabe von finanzieller Unterstützung reguliert wird und in China eine punktuelle staatliche Steuerung stattfindet. Es wird deutlich, dass die internationale Rechtslage unübersichtlich und sehr verschieden ist. (Vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 18)

Trotzdem gibt es einige Festlegungen, auf die man sich international zumindest mit einigen Staaten einigen konnte:

Nach Artikel 13 der Biomedizinkonvention des Europarates ist allgemein jeder Eingriff verboten, der „darauf abzielt, eine Veränderung des Genoms von Nachkommen herbeizuführen“. Dieser Artikel ist aber bisher noch nicht von allen Staaten ratifiziert. (Vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 17)

Artikel 24 der „Allgemeinen Erklärung über das menschliche Genom und Menschenrechte“ der UNESCO besagt, dass Eingriffe in die menschliche Keimbahn „der Menschenwürde widersprechen könnten“. Dabei wird allerdings weder ausdrücklich ein Menschenwürdeverstoß bei einem Keimbahneingriff festgestellt, noch explizit ein Verbot für diesen ausgesprochen. Vielmehr muss das International Bioethics Committee Fall für Fall überprüfen, ob gegen das Gesetz verstoßen wird. Aus diesem Grund hat dieses im Oktober 2015 dafür plädiert, gemeinsam mit allen Mitgliedsstaaten ein Moratorium zur Keimbahnveränderung durch Genome-Editing zu erlassen. (Vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 17f.)

Die EU-Grundrechtecharta erklärt mit Artikel 3 Absatz 2b eugenische Praktiken generell für unzulässig. Einerseits ist dies auch auf Keimbahninterventionen übertragbar, andererseits könnten Keimbahneingriffe zu therapeutischen Zwecken davon ausgenommen sein. Der Erwägungsgrund 40 zur Biopatentrichtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates der Europäischen Union konstatiert, dass „Übereinstimmung darüber [herrscht], daß die Keimbahnintervention am menschlichen Lebewesen und das Klonen von menschlichen Lebewesen gegen die öffentliche Ordnung und die guten Sitten verstoßen“. (Vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 18)

Der deutsche Ethikrat spricht sich im September 2017 für eine internationale Vereinbarung aus und betont die Wichtigkeit von länderübergreifenden Reglements (vgl. Deutscher Ethikrat 2017, 2). Bei einer solchen Entwicklung spielen Ländergrenzen oder nationale Gesetze keine Rolle mehr. Denn wenn es erst einmal einen Menschen mit veränderten Keimbahnen gibt, kann sich dieser frei auf der Welt bewegen und gegebenenfalls auch fortpflanzen. Alles andere wäre menschenunwürdig und würde gegen die Fortpflanzungsfreiheit sprechen. So fließt das veränderte Erbgut auch in den Genpool anderer Länder ein. Jeder noch so kleine Eingriff ist ein Thema, das die gesamte Menschheit und alle Nationen betrifft. Keimbahninterventionen zwingen uns dazu, international ins Gespräch zu kommen und über mögliche Verfahrensweisen zu debattieren. Dass dies keine leichte Aufgabe sein wird, wenn sie nicht sogar fast unmöglich ist, ist evident. (Vgl. Hall 2018, 228)

## 4 Ethische und medizinische Aspekte

In der Medizinethik sind bestimmte Prinzipien und Theorien nötig, um Handlungen bzw. medizinische Maßnahmen moralisch beurteilen zu können. Beim Utilitarismus beispielsweise wird das größtmögliche Glück für die größtmögliche Zahl an Menschen angestrebt. Danach wäre ein Keimbahneingriff mit CRISPR/Cas9 grundsätzlich moralisch vertretbar, wenn durch das Verfahren viele Menschen von Krankheiten geheilt werden können. Das würde im Umkehrschluss so etwas wie Glück bedeuten, da die Heilung von Krankheiten das Ziel der Medizin ist. Doch das Problem bei solch klassischen ethischen Theorien ist, dass sie meist wenig anwendungsfreundlich und im Kern sehr formal sind, sodass es viel Interpretationsleistung bedarf, um mit ihnen zu arbeiten. Besonders bei einem so praxisgebundenen Gebiet wie der Medizin stellt sich eine Begründung und Rechtfertigung mit diesen Theorien daher eher als ungünstig dar.

Die Prinzipien mittlerer Reichweite hingegen werden nicht fundamental begründet und sind weitgehend anerkannt (vgl. Schöne-Seifert 2007, 27). Außerdem haben sie sich als besonders geeignet für die Anwendung in der Medizin herausgestellt, weil sich mit ihnen praxisbezogen arbeiten lässt und nicht nur theoretische Überlegungen angeleitet werden können.

Das Prinzip Verantwortung des Philosophen Hans Jonas gilt als eines der meistgelesenen moralphilosophischen Bücher nach dem Zweiten Weltkrieg (vgl. Werner 2003, 41). Auch heute wird sich wieder häufig auf das Prinzip des Philosophen berufen, weil er mit seiner Zukunftsethik (vgl. Werner 2003, 42) den Nerv der Zeit trifft.

Weiterhin findet sich in diesem Kapitel eine Natürlichkeitsargumentation, in der die Genschere CRISPR/Cas9 in Verbindung mit dem Begriff Natürlichkeit gebracht wird. Es folgen Argumente, die verdeutlichen, ob Natürlichkeitsargumente ein geeignetes Mittel sind, das molekularbiologische Verfahren moralisch zu beurteilen.

Am Ende des vierten Kapitels wird der Begriff der Menschen- bzw. Gattungswürde thematisiert. Zunächst erfolgt in diesem Abschnitt ein Blick auf die Definition sowohl im modernen Gebrauch, als auch aus rechtlicher Sicht. Weiterhin werden auch hier Argumente angeführt, die in der später folgenden Diskussion bei der Entscheidung helfen sollen, ob ein Keimbahneingriff mit CRISPR/Cas9 die menschliche Würde verletzt oder nicht.

## 4.1 Prinzipien mittlerer Reichweite

Die Prinzipien mittlerer Reichweite behandeln vier verschiedene Schwerpunkte, die sich auch untereinander widersprechen können. Auf diese Weise kann man unterschiedliche moralische Präzentionen verdeutlichen und diese anschließend gegeneinander abwägen (vgl. Wiesemann/Biller-Andorno/Frewer 2005, 17). Die Prinzipien stammen ursprünglich aus der Monografie „Principles of Biomedical Ethics“, die von Tom Beauchamp und James Childress verfasst sind. (Vgl. Schöne-Seifert 2007, 27)

Bei den vier grundlegenden Moralprinzipien „mittlerer Reichweite“ handelt es sich um

- Respekt der Autonomie<sup>38</sup> (*autonomy*)
  - Prinzip des Nicht-Schadens (*nonmaleficence*)
  - Prinzip der Fürsorge (*beneficence*)
  - Prinzip der Gerechtigkeit (*justice*)
- (Vgl. Maio 2017, 157)

Im Folgenden soll nun zunächst jedes Prinzip einzeln vorgestellt und kurz in Bezug zur Keimbahnintervention durch CRISPR/Cas9 gebracht werden:

### 4.1.1 Das Prinzip der Autonomie

Unter der Patientenautonomie versteht man, dass jeder Patient das Recht auf ein selbstbestimmtes Handeln hat und diagnostische sowie therapeutische Maßnahmen nach eigenem Willen zustimmen oder ablehnen kann.<sup>39</sup> „Selbstbestimmung ist die Fähigkeit, im Einklang mit den eigenen Zielen zu handeln.“ (Wiesemann/Biller-Andorno/Frewer 2005, 19) Der Patient kann jedoch nur in seinem Sinne entscheiden, wenn der Arzt eine aufklärende und beratende Rolle einnimmt. Dieses Prinzip sichert dem Patienten also zu, dass er „das Recht [hat] zu entscheiden, was mit ihm geschieht“ (Rahbar 2010, o. S.). Als Arzt muss man die Entscheidung aus Respekt vor dem Patienten akzeptieren und damit die grundsätzliche Freiheit des Menschen anerkennen (vgl. Maio 2017, 159).

Damit der Patient eine selbstbestimmte Entscheidung treffen kann, müssen nach Wiesemann/Biller-Andorno/Frewer (2005, 19) folgende Punkte erfüllt sein:

- Der Arzt hat den Patienten umfassend und allgemeinverständlich über seine Krankheit bzw. Vor- und Nachteile der geplanten Maßnahmen aufgeklärt.
- Der Arzt hat sich ein Bild davon verschafft, ob der Patient seine Erklärungen auch verstanden hat.
- Der Patient kann ohne Zwang frei entscheiden.
- Der Patient ist einwilligungsfähig.

In der Fachsprache wird dieses Konzept auch Informed Consent (dt.: informierte Einwilligung) genannt (vgl. Maio 2017, 159). Es kommt nicht nur auf das reine Verständnis der Erklärungen des Arztes an, sondern der Arzt sollte auch erkennen, ob der Patient authentisch entscheidet. Das heißt insbesondere, ob die Entscheidung des Patienten zu seiner sonstigen Lebenseinstellung passt. Letztendlich hat der zu Behandelnde das Recht, selbständig eine Wahl zu

---

<sup>38</sup> Das Prinzip wird in anderen Büchern teilweise auch als „Prinzip der Autonomie“ bezeichnet.

<sup>39</sup> [http://www.kultur-gesundheit.de/medizin\\_und\\_bioethische\\_themen/arzt-patienten-verhaeltnis/patientenautonomie.php](http://www.kultur-gesundheit.de/medizin_und_bioethische_themen/arzt-patienten-verhaeltnis/patientenautonomie.php) [zuletzt überprüft am 20.02.20]

treffen, was an ihm im medizinischen Bereich geschehen oder unterlassen werden soll. (Vgl. Wiesemann/Biller-Andorno/Frewer 2005, 20)

Ob ein Patient einwilligungsfähig ist, hängt davon ab, ob ihm das Wesen, die Tragweite und die Bedeutung des Eingriffs verständlich sind und er daraus einen Entschluss ziehen kann (vgl. Wiesemann/Biller-Andorno/Frewer 2005, 19). Liegt der Betroffene aber zum Beispiel im Koma, ist eine klassische Patientenautonomie nicht möglich. In diesem Spezialfall gibt es bei Einwilligungsunfähigen die Möglichkeit, dass die gesetzlichen Stellvertreter, also zum Beispiel die Eltern oder der rechtliche Betreuer im Interesse des Patienten eine Entscheidung treffen (vgl. Wiesemann/Biller-Andorno/Frewer 2005, 20).

Zum Keimbahneingriff mit CRISPR/Cas9 stellen sich die Fragen: Kann die Patientenautonomie überhaupt in dieser Weise angewendet werden? Ist eine Stellvertreterentscheidung durch die Eltern nicht auch durchaus gerechtfertigt, da es schließlich keine andere Möglichkeit gibt? Oder schlüpfen die Eltern vielleicht selbst in die Patientenrolle, indem sie beraten und informiert werden sowie schlussendlich eine Entscheidung treffen?

#### **4.1.2 Das Prinzip des Nicht-Schadens**

Im Sinne des Nicht-Schaden-Prinzips ist der Arzt verpflichtet, die Rechte des Patienten anzuerkennen und ihm so wenig Schaden wie möglich zuzufügen (vgl. Maio 2017, 160). Schließlich ist es das Ziel der Medizin, Gesundheit zu erhalten oder wiederherzustellen.

Allgemein betrachtet ist jede medizinische Operation eine Körperverletzung. Dürfen Ärzte den Körper verletzen, wenn sie doch eigentlich helfen sollen? Grundsätzlich gilt: Nein, dürfen sie nicht. Aber wenn es dem Betroffenen dadurch besser geht, dann ist die Schädigung gerechtfertigt. Es wird deutlich, dass eine sorgfältige Risiko-Nutzen-Abwägung erfolgen muss. So ist beispielsweise bei einer Blinddarmentnahme der gesundheitliche Nutzen wesentlich höher als das Aufschneiden des Bauches schlimm ist.

Bei diesem Prinzip sollte jedoch auch stets die Patientenautonomie berücksichtigt werden. Die Kommunikation zwischen Arzt und Patient bzw. auch das Vertrauen des Patienten in den Arzt, stehen folglich im Mittelpunkt (vgl. Rahbar 2010, o. S.). Der Arzt hat dem Patienten gegenüber Verantwortung. In diesem Fall bezieht sich die Verantwortung des Arztes auf die Verpflichtung, dem Patienten zu helfen. So wird dem Erkrankten bei der Sterbehilfe auch auf den ersten Blick Schaden hinzugefügt. Da es aber der Wille des Patienten ist, wird die Schädigung gedeckt.

In Anlehnung an den US-amerikanischen Bioethiker Eric Mark Meslin lassen sich die Schadensarten wie folgt unterscheiden (Maio 2017, 160):

##### **Schematische Einteilung der Schadensarten**

(nach Meslin 1989)

Objektiver Schaden

- Beeinträchtigung der körperlichen Funktionen
- Verletzung
- Missachtung von Interessen

Subjektiver Schaden

- Schmerz
- Nichterfüllung einer Präferenz
- Sittlicher Schaden

Es wird deutlich, dass eine Konkretisierung der Schadensart zur Anwendung des Nicht-Schaden-Prinzips notwendig ist, um überzeugend zu argumentieren (vgl. Maio 2017, 161).

Inwieweit lässt sich CRISPR/Cas9 in Einklang mit dem Nicht-Schaden-Prinzip bringen? Wäre eine Anwendung von CRISPR/Cas9 unverantwortlich? Kann überhaupt ein Schaden entstehen, wenn ein Kind ohne einen Keimbahneingriff nicht lebensfähig wäre? Wäre ein Schnitt mit der Genschere überhaupt eine Körperverletzung oder ist das nur eine schlecht gewählte Analogie?

### 4.1.3 Das Prinzip der Fürsorge

Das Prinzip der Fürsorge<sup>40</sup> und das Prinzip des Nicht-Schadens werden in einigen Texten auch zusammen behandelt, da man in der Praxis kaum einen Unterschied zwischen ihnen findet. Beauchamp und Childress haben jedoch eine Trennung beider vorgesehen (vgl. Maio 2017, 162). In der Theorie berufen sich beide Prinzipien auf zwei verschiedene Pflichtenarten. Während die Nicht-Schadens-Pflicht eher auf einer negativen Unterlassungspflicht basiert („füge keinen Schaden zu“), handelt es sich bei der Pflicht zur Fürsorge um eine positive Tugendpflicht („tue etwas Gutes“). (Vgl. Maio 2017, 162)

Hierzu haben die Autoren des Buchs „Principles of Biomedical Ethics“ folgende Klassifikation beider Prinzipien vorgeschlagen (Maio 2017, 163):

#### **Unterscheidung des Prinzips des Nicht-Schadens vom Prinzip des Wohltuns**

(nach Beauchamp u. Childress 2013)

- I. Nicht-Schaden
  - Man soll niemandem Übel oder Schaden hinzufügen.
- II. Wohltun
  - Man soll Übel und Schaden verringern.
  - Man soll Übel und Schaden beseitigen.
  - Man soll Gutes tun und Gutes fördern.

Mit dem Prinzip der Fürsorge soll also überprüft werden, ob dem Patienten durch den ärztlichen Eingriff etwas Gutes getan wird. So muss sich zum Beispiel ein Chirurg die Frage stellen, ob er durch die Entnahme der Gebärmutter die Unterleibschmerzen einer Frau mindern kann und ihr somit etwas Gutes tut.

Dabei können folgende Fragen in Bezug auf die Genschere auftreten: Wird immer Gutes getan, wenn das Kind ohne CRISPR/Cas9 nicht lebensfähig wäre? Reichen allein die gute Absicht und der gute Wille aus, um eine Keimbahnintervention zu rechtfertigen, wenn sie nicht funktioniert?

---

<sup>40</sup> Wird zum Teil auch als Prinzip des Wohltuns bezeichnet. Manche Autoren fassen auch das Prinzip des Nicht-Schadens und das Prinzip des Wohltuns unter dem Prinzip der Fürsorge zusammen, jedoch ist dies so meiner Meinung nach nicht von Beauchamp und Childress vorgesehen was im Folgenden noch erläutert wird.

#### **4.1.4 Das Prinzip der Gerechtigkeit**

Das Prinzip der Gerechtigkeit ist ein wichtiger Bestandteil der vier Prinzipien mittlerer Reichweite. Besonders in den letzten Jahren hat es aufgrund des technischen Fortschritts in der Medizin an Bedeutung gewonnen (vgl. Maio 2017, 166). Dabei gibt es unterschiedliche Herangehensweisen, Gerechtigkeit zu definieren.

Einerseits spielt Gerechtigkeit in der Medizin insofern eine Rolle, als dass Gesundheitsleistungen und medizinische Ressourcen fair verteilt werden sollen. Bei der Gesundheitsleistung wird Gerechtigkeit vor allem mit Gleichheit in Verbindung gebracht. Folglich ist man erst gerecht, wenn alle die gleichen Rechte haben und somit auch gleichbehandelt werden. Es wäre also ungerecht, zwei Personen, die beide an der gleichen Krankheit leiden, unterschiedlich zu behandeln. Eine nicht gleichwertige Behandlung wäre nur erlaubt, wenn es moralisch ausschlaggebende Gründe gäbe, weshalb doch unterschiedlich behandelt werden sollte. Die Verteilungsgerechtigkeit findet sich zum Beispiel im Angebot von Krankenhausbetten oder Medikamenten wieder. (Vgl. Mazouz 2011, 374)

Einen weiteren Ansatzpunkt bietet das Recht auf Gesundheit, das in diesem Kontext als Gewährleistung einer angemessenen gesundheitlichen Versorgung verstanden wird. Dazu zählt ein entsprechender Zugang zu medizinischen Ressourcen und Dienstleistungen. (Vgl. Aslan et al. 2018, 27)

Außerdem verbirgt sich im Zusammenspiel zwischen Recht und Moral ein Aspekt, der für dieses Prinzip ebenfalls relevant ist. Unsere Moral bewertet intuitiv, was als gerecht und ungerecht wahrgenommen wird. Die gesellschaftliche Moral ist gebündelt in gesetzlichen Regelungen. Ungleich dessen gibt es auch Gesetze, die nach allgemeinem Empfinden als ungerecht wahrgenommen werden, wie zum Beispiel Steuergesetze. Auch der Bereich der Medizin kommt nicht ohne gesetzliche Vorschriften aus. Am Embryonenschutzgesetz wird ganz besonders deutlich, welche moralischen Grundwerte die Gesellschaft prägen. (Vgl. Schreiner 2001, 181)

In Verbindung mit Keimbahninterventionen treten folgende Gerechtigkeitsprobleme auf: Was wäre, wenn sich nur finanziell gut gestellte Leute eine Keimbahnintervention leisten können? Wäre es ungerecht, wenn manche Menschen mit CRISPR/Cas9 behandelt werden, andere aber nicht? Erlangen Menschen, die mittels Keimbahnintervention behandelt werden, einen körperlichen oder gesundheitlichen Vorteil?

#### **4.2 Hans Jonas' Prinzip Verantwortung**

„Atomenergie, selbstfahrende Autos, Eingriffe ins menschliche Erbgut: Die Entwicklung der Technik stellt uns vor Fragen, die mit der herkömmlichen Ethik nicht mehr zu beantworten sind.“ (Löhr 2019, o. S.) Der Philosoph Hans Jonas vertritt erstmals 1979 die Auffassung, dass die bislang vorherrschende Ethik, womit höchstwahrscheinlich die Ethik Kants gemeint ist, keine Antworten auf die neuen spezifischen Probleme der gegenwärtigen hochtechnisierten Gesellschaft findet. Diese These stützt Jonas auf die Tatsache, dass Kant die Menschheit als gegeben voraussetzt und man deshalb die Pflicht zur Erhaltung der menschlichen Spezies nicht begründen kann. Besonders der Begriff „Verantwortung“ spielt dabei eine große Rolle, da die enorme technische Entwicklung zur Folge hat, dass wir heute Entscheidungen treffen,

die unsere Nachkommen erheblich beeinflussen. Bei Fridays For Future plädieren die Menschen beispielsweise für Klimaschutz und einen nachhaltigen Umgang mit der Natur, weil wir alle Verantwortung für das haben, was wir zukünftigen Generationen hinterlassen. Es zählt nicht nur das Jetzt, sondern auch das, was uns in Zukunft bevorsteht. Das Prinzip Verantwortung nimmt Jonas dabei den heutigen Bewegungen in seinem gleichnamigen Buch vorweg und verfolgt dabei die Intention, die bislang aktuelle Ethik zu ergänzen und zu modernisieren. (Vgl. Werner 2003, 41f.)

Hans Jonas' ethische Grundaussage wird in folgender Forderung von ihm zusammengefasst: „Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlung verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden.“ (Jonas 1979, 36) Durch den technischen Aufschwung haben unsere Handlungen heute einen direkten Einfluss auf die Zukunft der Menschheit. Der Philosoph sieht es als Pflicht an, gegenwärtig bedacht zu handeln, sodass die Erhaltung des Menschen auf Dauer nicht gefährdet ist. Anders als die meisten Philosophen seiner Zeit, denkt Jonas nicht nur über die Auswirkungen für nächste Generation nach, sondern erweitert seinen Horizont auf mehrere hundert Jahre (vgl. Kussmann 2020, 3). Was Jonas unter „echtem“ menschlichen Leben versteht, ist nicht eindeutig beantwortbar. Findet das Prinzip Verantwortung Anwendung, so hilft Jonas mit der Entscheidungsregel „In dubio pro malo“ (zu Deutsch so viel wie „Gib der schlechteren Prognose den Vorrang“). Durch die Reichweite unserer wachsenden Handlungsmacht ist es heute trotz sorgfältiger Folgenabschätzung schwer, die wirklichen Ausmaße von Handlungen in der Zukunft zu erfassen. Deshalb schlägt Jonas vor, lieber *der schlechteren Prognose den Vorrang zu geben*, um mögliches Schlimmeres zu vermeiden. (Vgl. Werner 2003, 43ff.)

Jonas hat sein Prinzip neben geschriebenen Aufsätzen auch exemplarisch angewendet und sich dabei konkret zu bestimmten medizinischen Methoden geäußert. Einige der Aufsätze finden auch Antworten darauf, ob nach ihm Keimbahneingriff mit CRISPR/Cas9 erlaubt sein sollten:

Er hält Humanexperimente bei Nicht-Einwilligungsfähigen, so wie es für die Forschung an CRISPR/Cas9 nötig wäre, für moralisch unerlaubt. „[J]e ärmer an Wissen, Motivation und Entscheidungsfreiheit die Subjektgruppe [...] desto [...] zwingender muß [...] die aufwiegende Rechtfertigung durch den Zweck sein.“ (Jonas 1985, 136) Außerdem hält Jonas Maßnahmen zur „Verhütung von Erbängeln“ (Jonas 1985, 200) für vertretbar, vor allem wenn sich Eltern freiwillig gegen genetische Nachkommen entscheiden, um ihnen dadurch Leiden zu ersparen (vgl. Jonas 1985, 172). Er warnt jedoch davor, dass bereits durch solche Maßnahmen das Risiko besteht, bestimmte Gene als unerwünscht zu betiteln (vgl. Jonas 1985, 174). So etwas müsse unbedingt verhindert werden. Keimbahntherapien sind nach Jonas nicht prinzipiell verwerflich. Fragwürdig findet er jedoch damit rezessive Erbkrankheiten<sup>41</sup> zu behandeln. Außerdem könnte diese Therapieform als positiv-eugenische Maßnahme angewendet werden, was er als äußerst moralisch verwerflich ansieht. Des Weiteren sollte man das hohe Risiko eines solchen Eingriffs, der auch nachfolgende Generationen betrifft, mitbedenken. (Vgl. Werner 2003, 51ff.)

Inwieweit sind Jonas' Ansichten noch aktuell? Überzeugt seine Meinung oder gibt es Argumente, die gegen seine Auffassung sprechen?

---

<sup>41</sup> Rezessiv-vererbte Krankheiten treten seltener auf und werden nur ausgeprägt, wenn beide Elternteile das Potential für die Erbkrankheit in sich tragen, selber jedoch nicht erkrankt sind. Zu diesen Krankheiten zählen vor allem erbliche Stoffwechselerkrankungen wie die Phenylketonurie oder Mukoviszidose (vgl. Schaaf/Zschocke 2013, 74).



### 4.3 Natürlichkeitsargumentation

Der Begriff Natürlichkeit ist äußerst facettenreich und nicht eindeutig definierbar. Meistens erhalten Dinge in Bezug auf Natürlichkeit eine positive Konnotation, wohingegen Unnatürlichkeit bzw. Künstlichkeit einer negativen Konnotation obliegen. Die Debatte um den Begriff der Natürlichkeit wird schon seit vielen Jahren geführt und auch der zeitgenössische Philosoph Jürgen Habermas beschäftigt sich mit der Abgrenzung des natürlich Gewollten zum künstlich Gemachten (vgl. Habermas 2001, 80).

Als Natürlichkeit des Menschen in Bezug auf Keimbahninterventionen mit CRISPR/Cas9 „sind vornehmlich Einwände gegen biotechnische Verfahren zu verstehen, deren Absolutheitsanspruch mit der Unantastbarkeit der *Natur des Menschen* begründet wird“ (Hardt 2019, 124, Hervorhebung im Original). Dies ist kritisch zu betrachten, da der Mensch sich im Laufe der Evolution immer mehr von seinem ursprünglichen Zustand entfremdet hat und man somit nicht auf eine obligatorische Naturvorstellung schließen kann (vgl. Heyder 2015, 57). Dabei ist es schwer festzulegen, was am Menschen natürlich gewollt ist und wozu er sich im Laufe der Jahrhunderte gemacht hat. Es ist faktisch unmöglich, eine Grenze zu ziehen, die das Gewollte vom Gemachten trennt, ohne ihr einen willkürlichen Charakter zu verleihen. Betrachtet man zum Beispiel die Körperbehaarung von Menschen wird deutlich, dass diese mit der Entwicklung der Menschheitsgeschichte immer weniger geworden ist. Ist das so von der Natur vorbestimmt oder fand diese Entwicklung statt, weil jene scheinbar als unnötig empfunden und deshalb künstlich entfernt wird? Auch das Zubereiten und Anrichten von Nahrung oder die Befriedigung sexueller Lust, die nicht mehr ausschließlich der Fortpflanzung dient, könnten hier als Beispiele angeführt werden. Offensichtlich findet eine Vermischung vom Gewollten und Gemachten statt. Dies kann jedoch eher als Vorteil betrachtet werden: Lebewesen als hybride Wesen anzuerkennen und dabei die Wechselwirkungen zwischen dem Künstlichen und dem Natürlichen zu erfassen, wird der Komplexität der Welt etwas gerechter (vgl. Heyder 2015, 65). Außerdem stellt sich im Wesentlichen die Frage, inwieweit menschliche Eigenschaften und Handlungen überhaupt als unnatürlich betrachtet werden können, wenn er doch selbst ein natürliches Wesen ist. (Vgl. Heyder 2015, 62)

Grundsätzlich lässt sich festhalten, dass künstliche Eingriffe kategorisch nicht als moralisch verwerflich erachtet werden können, auch wenn ein Verweis zum Unnatürlichen häufig auf ein moralisches Vergehen hindeuten soll. Jede Art von medizinischem Eingriff wäre folglich ein Verstoß gegen die Moral, da in gewisser Weise immer das ursprüngliche Dasein des Menschen verändert wird. Beispielsweise greift man bei einer Behandlung von Krebs auch in die Natürlichkeit des Menschen ein, was jedoch in der Gesellschaft allgemein anerkannt ist und nicht auf übermäßige Kritik trifft. Viele unnatürliche Dinge, wie Schönheitsoperationen, werden als positiv bewertet. Im Gegensatz dazu empfinden wir natürliche Dinge wie beispielsweise Unkraut als unerwünscht. Es ist kompliziert hierbei einen Kompromiss zu finden, der den Menschen als moralischen Akteur anerkennt und nicht so versteht, dass sein Handeln der Natur widerstrebt bzw. nur durch seine Vernichtung kein Einfluss mehr auf die Natur genommen werden kann (vgl. Mill 1984, 22f.).

Gegner von vererbaren Interventionen beim Menschen „begreifen den Schutz der menschlichen genetischen Identität vor Manipulation als Bewahren der *Natur des Menschen* oder des *menschlichen Wesens*“ (Hardt 2019, 124f., Hervorhebung im Original). Es ist verständlich, dass die Sorge wächst, fahrlässig in Gegebenheiten einzugreifen, die sich über viele Millionen Jahre entwickelt haben. Der Erbanlage als kleinster Baustein menschlichen Lebens gebührt

besonderer Schutz und es ist in gewisser Weise nachvollziehbar, dass die Angst vor drastischen Auswirkungen dazu führt, solche Eingriffe kategorisch zu verbieten. Ähnlich argumentiert auch der Philosoph Hans Jonas mit seinem Prinzip Verantwortung. Vergleichbar wird in Deutschland das Verbot der künstlichen Geschlechtswahl begründet, da wir nicht das Recht haben, unbegründet in diesen sich selbst regulierenden Prozess einzugreifen. Auch eine Eizellspende weicht zu sehr von der Vorstellung von nur einer biologischen Mutter ab und ist deshalb hierzulande verboten. Aus diesem Grund ist es so wichtig, medizinische Maßnahmen bzw. die Genschere CRISPR/Cas9 nicht willkürlich, sondern gerechtfertigt einzusetzen.

In Bezug auf die Genschere stellen sich die Fragen: Was unterscheidet die Veränderung der Natürlichkeit bei einer Keimbahnintervention, mit der man auch Krankheiten heilen kann, von anderen medizinischen Eingriffen? Ist zweifelsfrei alles gut, was natürlich ist? Ist das Natürlichkeitsargument ein geeignetes Mittel, um Keimbahneingriffe moralisch zu bewerten oder sogar kategorisch zu verbieten?

#### 4.4 Begriff der Menschen- bzw. Gattungswürde

„Die Würde des Menschen ist unantastbar.“ – so lautet der Artikel 1 des deutschen Grundgesetzes. Der Stellenwert von menschlicher Würde wird somit signifikant zum Ausdruck gebracht. Dabei ist der Begriff der menschlichen Würde und wer als Mensch zu gelten hat seit vielen Jahren reges Gesprächsthema bioethischer Diskussionen (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 111). Aus der Begriffserklärung geht hervor, dass die Menschenwürde im modernen Gebrauch ein Wert ist, der jedem Menschen aufgrund seines bloßen Daseins und unabhängig von seiner sozialen Determination zugeschrieben wird. Somit kann sie nicht genommen, aber ihr Achtungsanspruch kann verletzt werden. Als Rechtsbegriff lässt sie Menschen bestimmte Grundrechte und Ansprüche zukommen. Mit der Menschenwürde geht das Verbot zur vollständigen Instrumentalisierung des Menschen mit einher (vgl. Deutscher Ethikrat 2019b, 18). Doch bereits der Begriff sorgt für heftige Streitgespräche, denn Kritiker meinen, er würde dem Menschen eine Vormachtstellung vor anderen Wesen unterstellen<sup>42</sup> (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 113). Da Immanuel Kant vor allem für die Etablierung des Würdebegriffs verantwortlich ist, wird seiner Konzeption teilweise Anthropozentrismus<sup>43</sup> sowie die damit einhergehende Rechtfertigung von zum Beispiel Tierquälerei und der Naturausbeutung vorgeworfen (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 113).<sup>44</sup>

Unklar ist, ob gegenwärtige und künftige Menschen durch einen Keimbahneingriff instrumentalisiert werden, „ihnen ein rechtlich abgewerteter Status zugewiesen wird und dadurch ihre Würde verletzt wird“ (Deutscher Ethikrat 2019a, 116f.). Keimbahneingriffe, wie sie in dieser Arbeit betrachtet werden, finden in einer Keimzelle statt. Es stellt sich die Frage, inwieweit das Prinzip der menschlichen Würde auch auf menschliches Leben in einem ganz frühen Entwicklungsstatus anzuwenden ist. Keimzellen umfassen ein Stadium menschlichen Lebens, das noch vor der Befruchtung der Eizelle erreicht ist und bei dem in Deutschland nach dem Embryonenschutzgesetz rechtlich noch nicht von einem Embryo gesprochen werden kann.<sup>45</sup>

---

<sup>42</sup> Berühmte Kritik von Schopenhauer 1988

<sup>43</sup> Dabei wird der Mensch als Mittelpunkt der Welt verstanden. Die Natur hingegen ist nur eine Ressource, die der Mensch benötigt, um sein Verlangen zu stillen (vgl. Mahlke 2014, 13).

<sup>44</sup> <https://www.grundrechtenschutz.de/gg/menschenwurde-2-255#die-menschenwrde-und-das-grundgesetz> [zuletzt überprüft am 26.08.20]

<sup>45</sup> § 8 Absatz 1 ESchG.: „Als Embryo im Sinne dieses Gesetzes gilt bereits die befruchtete, entwicklungsfähige menschliche Eizelle vom Zeitpunkt der Kernverschmelzung an, ferner jede einem Embryo entnommene

Es muss also bedacht werden, dass die Keimzelle „noch weniger Mensch/Person“ ist, als ein Embryo und deshalb nur schwer ihr Achtungsanspruch verletzt werden kann.

Dagegen spricht jedoch, dass die sogenannte Gattungswürde allen Entwicklungsstadien des Menschen Würde zuspricht. Dabei wird argumentiert, dass diese schon alleine durch die Zugehörigkeit zur Spezies Homo Sapiens gewährleistet ist. (Vgl. Ritter 2001, 155) Auch nach dem gegenwärtigen deutschen Philosophen Jürgen Habermas sollen Embryonen (und somit auch Keimzellen) aufgrund ihrer biologischen Zugehörigkeit zur Menschengattung geschützt werden (vgl. Habermas 2001, 67). Sie seien zwar noch keine Personen, aber ihnen stünde eine Art vorpersonale Würde zu (vgl. Habermas 2001, 68f.). Neben Habermas lässt sich zu dieser Thematik auch der deutsche Philosoph Robert Spaemann anführen, der bereits mit seinem Gegenspieler Reinhard Merkel aufgrund der gegensätzlichen Ansichten in Diskussionen der Zeitung „Die Zeit“ und der „Frankfurter Allgemeinen Zeitung“ getreten ist. Spaemann spricht sich für die Spezies- oder Gattungsbetrachtung aus, in der wir Menschen aufgrund unserer einzigartigen Eigenschaften wie beispielsweise Selbstbewusstsein, Personenwürde zuerkennen (vgl. Höffe 2001, 67). Somit würde auch einer Keimzellen Personenwürde zugeschrieben werden. Legt man den Fokus auf künftige Menschen und künftige Generationen, gewinnt die ganze Debatte eine neue Dimension. Das menschliche Genom würde zum Schutzgut der Menschenwürde mit einem daraus resultierenden Verbot von Eingriffen in die Keimbahn werden (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 117). Merkel kritisiert Spaemanns Auffassung dahingehend, dass Embryonen (und damit auch Keimzellen) laut dem deutschen Gesetz weder ein Anrecht auf Leben noch auf Menschenwürde haben und er auch keine überzeugenden Gründe sehe, warum man ein solches Recht einfordern solle (vgl. Merkel 2001, 51f.). Weiterhin wird kritisiert, dass eine frühe Entwicklungsform menschlichen Lebens eine interpersonale Größe sei, zu der man nicht „du“ sagen kann und die Menschenwürde erst maximal durch die Kommunikation von Kind und Mutter im Mutterleib wachse (vgl. Bahners 2001, 208). Nach Merkel gilt die Menschenwürde nur für Individuen, die die „Fähigkeit zur freien, vernunftgeleiteten Selbstbestimmung“ (Merkel 2001, 56) haben, die weder bei Embryonen noch bei Keimzellen auffindbar ist.

Zu klären ist: Inwieweit lässt sich einer Keimzelle in ihrem frühen Entwicklungsstatus Menschenwürde zusprechen? Ist ein Keimbahneingriff mit CRISPR/Cas9 etwas Würdeverletzendes? Lässt sich das Unterlassen einer Keimbahnintervention als menschenunwürdig bezeichnen, weil man Leid hätte verhindern können?

---

totipotente Zelle, die sich bei Vorliegen der dafür erforderlichen weiteren Voraussetzungen zu teilen und zu einem Individuum zu entwickeln vermag.“

## 5 Ethische Bewertung

Um die Genschere CRISPR/Cas9 ethisch zu beurteilen, erfolgt unter der These *„Die genetische Veränderung der menschlichen Keimbahn mit CRISPR/Cas9 an Keimzellen ist zur Behandlung von Erbkrankheiten ethisch nicht vertretbar und sollte deshalb nicht durchgeführt werden.“* eine gezielte Analyse anhand von ausgewählten Kriterien. In der nun folgenden Diskussion werden die untersuchten ethischen Theorien in Bezug auf die Genschere mit dem Hintergrundwissen zu den medizinischen Aspekten und der Rechtslage miteinander in Beziehung gebracht. Ziel des Diskussionsteils ist es, eine Aussage über die Bewertung der These zu treffen.

### 5.1 Anwendung der Prinzipien mittlerer Reichweite

Zunächst werden die vier Prinzipien am konkreten Beispiel menschlicher Keimbahneingriffe mittels CRISPR/Cas9 an Keimzellen zur Behandlung von Erbkrankheiten interpretiert, um anschließend eine Abwägung aufgrund der erarbeiteten Basis vorzunehmen. Dabei beziehen sich die Prinzipien mittlerer Reichweite nur auf ärztliches Handeln im Umgang mit dem Patienten. Es ist darauf hinzuweisen, dass sich über die Zuteilung der Patientenrolle bei diesem speziellen Beispiel des Keimbahneingriffs streiten lässt, da sowohl der potenzielle Embryo als auch die Mutter mit dem Kinderwunsch für diese Rolle in Betracht kommen könnte. Weiterhin ist es ungeklärt, inwiefern potenzielle Embryonen, das heißt zukünftige Menschen, überhaupt moralisch zu berücksichtigen sind. Deshalb ist eine Differenzierung zwischen dem Eingriff an Keimzellen, die noch nicht als Mensch bzw. Embryo gewertet werden können, und einem Eingriff an Embryonen nötig.

#### 5.1.1 Das Prinzip der Autonomie

Wird der Fall aus der Sichtweise des ersten Prinzips interpretiert, so sollte man zunächst die Zuweisung der Patientenrolle hinterfragen.

Als klassischen Patienten würde man bei einem Keimbahneingriff mit CRISPR/Cas9 den potentiellen Embryo bezeichnen, da an seinem künftigen Körper etwas verändert wird und er selbst am meisten von der Intervention betroffen ist. Problematisch ist nur, dass dieser Patient zum Zeitpunkt des Eingriffs noch kein moralisches Subjekt ist.

In diesem Spezialfall gibt es bei Einwilligungsunfähigen die Möglichkeit, dass die gesetzlichen Stellvertreter, also zum Beispiel die Eltern oder der rechtliche Betreuer, im Interesse des Patienten eine Entscheidung treffen (vgl. Wiesemann/Biller-Andorno/Frewer 2005, 20). Beispielsweise werden auch bei geistig behinderten Menschen medizinische Entscheidungen durch einen gesetzlichen Stellvertreter getroffen. Im Falle von CRISPR/Cas9 kann eine Stellvertreterentscheidung durch die Eltern durchaus gerechtfertigt sein, da schließlich keine andere Möglichkeit besteht und die eigenständige Entscheidungsgewalt von Kindern allgemein eingeschränkt ist. Auch wenn es zunächst wie eine Bevormundung scheint, lässt sich diese nur schwer begründen. Schließlich kann ein Mensch auch nicht darüber entscheiden, ob und unter welchen Umständen er geboren wird. Das zukünftige Kind ist ohne seine Mutter nicht lebensfähig und damit auch ein Teil von ihr. Insofern liegt der Schwerpunkt der Patientenautonomie eher auf den Eltern, die nicht nur stellvertretend für das Kind auftreten, sondern selbst als Patienten mit einem bestimmten Anliegen zum Arzt gehen. Es ist ihre autonome Entscheidung

überhaupt medizinische Hilfe in Anspruch nehmen zu wollen. Entscheiden sich diese für eine Beratung, erfolgt eine Aufklärung durch den Arzt nach dem im Abschnitt 4.1.1 vorgestellten Konzept Informed Consent (vgl. Maio 2017, 159), sodass sie anschließend die Entscheidung für ihr Kind treffen können.

Es fällt auf, dass es generell keinen Unterschied macht, ob die Eltern oder das zukünftige Kind als Patient angesehen werden. In beiden Fällen würden die Eltern, entweder als Stellvertreter für das Kind oder für sich selbst, eine Entscheidung treffen, wodurch das Prinzip der Autonomie respektiert wäre.

### **5.1.2 Das Prinzip des Nicht-Schadens**

Bei der Interpretation des Nicht-Schaden-Prinzips bezüglich der Genschere stellt sich anfangs eine insgesamt spannende philosophische Frage: Können wir Menschen, die noch nicht gezeugt worden sind, einen Schaden zufügen? Dabei kann man Schaden als einen physischen oder psychischen Nachteil ansehen, der einer Person durch ein Ereignis zugefügt wird. Trotzdem hängt die Definition des Begriffs auch in hohem Maße vom eigenen Verständnis ab. Im Allgemeinen gibt es kein Recht, unter bestimmten Umständen oder mit einer bestimmten Konstitution geboren zu werden. Beispielsweise sind Umstände wie die Geburt in Krisengebieten oder in Regionen, in denen Armut herrscht, persönlich und auch für andere Personen nicht wünschenswert. Dennoch würde man nicht behaupten, dass es moralisch unzulässig ist, unter diesen Umständen ein Kind zu bekommen. Durch ein Genexperiment könnte beispielsweise bewirkt werden, dass dem Embryo ein Finger fehlt. Diese Eigenschaft ist zwar im Vergleich zu anderen Menschen nachteilig, dennoch wird dem Menschen kein Schaden zugefügt. Er hat schließlich nie 10 Finger gehabt. Besonders schwierig wird es, wenn der Mensch ohne einen Eingriff gar nicht lebensfähig wäre. Würden hier nachteilige Unterschiede gegenüber gesunden Menschen auffallen, kann man ebenfalls nicht von Schaden sprechen, da ein Leben ohne medizinischen Eingriff gar nicht möglich gewesen wäre. An dieser Stelle lässt sich ein Gedankenexperiment anführen: Was wäre einem lieber, wenn man die Wahl gehabt hätte: An einer schweren genetisch bedingten Krankheit zu erkranken, nur neun Finger zu haben oder gar nicht geboren zu werden?

Dennoch erscheint es moralisch falsch, einem zukünftigen Menschen von vornherein das höchstmögliche Potenzial auf ein „normales“ Leben zu verwehren. Auf dieser Grundlage wäre es unzulässig, die körperlichen Beeinträchtigungen zu akzeptieren, die zum aktuellen Stand der CRISPR/Cas9-Technik auftreten und dem zukünftigen Kind objektiven Schaden (vgl. Maio 2017, 160) zufügen können (vgl. Abschnitt 4.1.2). Dass es bei einer künstlichen Befruchtung, wie es in diesem Fall nötig wäre, zu Nebenwirkungen kommen kann, die sich als objektiver Schaden in Form von Schmerzen äußern, muss bei jeder Therapie sowohl den Ärzten als auch der Mutter als Patient bewusst sein. Weiterhin könnte den Kinderwunschpatienten subjektiver Schaden (vgl. Maio 2017, 160) durch das Missachten ihrer Präferenz hinzugefügt werden, wenn der zur Erbkrankheit führende Gendefekt des Embryos durch die Genschere nicht geheilt werden kann oder Nebenwirkungen auftreten, die die körperlichen Funktionen des Kindes äußerst negativ beeinflussen (vgl. Abschnitt 4.1.2). Aus Sicht der Eltern kann man jedoch davon ausgehen, dass auch ein Risiko eingegangen wird, wenn die Chance besteht, sein Kind vollständig von einer Erbkrankheit zu heilen. Die meisten Eltern, die sich in der Realität gemeinsam mit ihrem Kind täglich einer Erbkrankheit stellen müssen, würden wahrscheinlich

mitnichten an mögliche Risiken bei der Heilungsmethode oder moralische Probleme bei einer Keimbahnintervention denken.

Der Wissenschaftler, der bei dem neuen Verfahren selber zum ausführenden Arzt wird, trägt die Verantwortung für den Eingriff. Er möchte in erster Linie Menschen heilen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn er die Folgen einer Anwendung von CRISPR/Cas9 als Keimbahneingriff verantworten kann. Hinsichtlich des Nicht-Schaden-Prinzips kann er beim heutigen Stand der Technik eine Anwendung vor sich selbst nur schwer rechtfertigen, da das Potential von auftretenden Komplikationen wie den „Off-Target-Effekten“ bei der Genschere und die unvorhersehbaren Risiken einer Keimbahnintervention noch zu groß sind (vgl. Abschnitt 2.2.2). Der Forscher He Jiankui (vgl. Abschnitt 2.2.4) begründet seine Tat zum Beispiel damit, dass seiner Ansicht nach alles gemacht werden muss, um Krankheiten zu heilen, wenn es technisch möglich ist (vgl. Ekkernkamp 2019, o. S.). Doch könnte das Ziel der Operation nicht vielmehr gewesen sein, als Erster das neuartige Verfahren anzuwenden? Es ist zweifelhaft, ob der Forscher aufgrund von Selbstlosigkeit die Behandlung durchgeführt hat, allein mit dem Ziel, den Eltern zwei gesunde Kinder zu ermöglichen. Schließlich hat er dafür seinen Job riskiert und ein Verfahren angewendet, das als noch nicht sicher genug gilt.

In diesem Zusammenhang kann man jedoch einwenden, dass jede medizinische Maßnahme vorerst notwendigerweise in einem Experimentierstadium gewesen ist, in dem das Prinzip des Nicht-Schadens nicht erfüllt werden konnte. Das heißt, dass ein Beharren auf dem Nicht-Schaden-Prinzip zur vollständigen Lähmung des medizinischen Fortschritts führen würde. Dennoch kann aber die Art und die Ausführung des Experiments wohlüberlegt werden, sodass die Tat von He Jiankui weiterhin als unmoralisch zu bewerten ist.

### **5.1.3 Das Prinzip der Fürsorge**

Treten Kinderwunschpatienten für eine Behandlung mit der Genschere an den Arzt heran, kann man davon ausgehen, dass die Erfüllung ihrer Wünsche (Autonomie) auch zur Steigerung ihres Wohlergehens führt. Solange der Eingriff mit der Genschere gelingt, gebietet das Prinzip der Fürsorge eine Anwendung der molekularbiologischen Methode, da das Wohlergehen des Patienten durch die Heilung einer Erbkrankheit sowohl im Sinne der Mutter als auch im Sinne des zukünftigen Kindes gefördert wird.

Gelingt eine Heilung mit dem genchirurgischen Verfahren jedoch nicht oder führt zu anderen starken Beeinträchtigungen, stellt sich auch hier die Frage, inwieweit dem potenziellen Embryo nun etwas Gutes getan wird. Selbst eine unbeabsichtigte Beeinträchtigung kann immer noch besser sein, als wenn das Kind ohne den Eingriff gezeugt worden wäre. Ist der Mensch ohne einen Eingriff nicht lebensfähig, könnte man ähnlich wie beim Prinzip des Nicht-Schadens argumentieren, dass somit trotz jeder Nebenwirkung etwas Gutes getan wird. Einzig und alleine die Möglichkeit zu leben, ist höherwertiger als alle möglich auftretenden Komplikationen. Dennoch: Was macht ein Leben lebenswert? Diese philosophische Frage kann man allgemein nicht beantworten, da sie vom individuellen persönlichen Empfinden abhängt und außerhalb der Prinzipien gesucht werden muss. An dieser Stelle sollte auch bedacht werden, dass schwer erkrankte Kinder aufgrund von natürlicher Selektion nicht lebensfähig sind. Deshalb ist es nicht immer von Vorteil, wenn in diesen natürlichen Prozess von außen eingegriffen wird.

Für den Wissenschaftler gilt grundsätzlich die Regel: Sollen impliziert Können. Wer nicht anders handeln kann bzw. es auch nicht hätte besser wissen können, hat auch nicht moralisch verwerflich gehandelt (vgl. Wedekind 2016, o. S.).<sup>46</sup> Dabei ist aber wichtig zu betonen, dass der Wissenschaftler in allen Fällen eine präzise Risiko-Nutzen-Abwägung vornehmen sollte. Dies ist letztlich der einzige Ausweg aus der schwierigen Abwägung zwischen Fürsorge und Nicht-Schaden. In Bezug auf einen Keimbahneingriff mit CRISPR/Cas9 sind eine Handvoll Risiken eindeutig erforscht (vgl. Abschnitt 2.2.2). Solange die Forschung beim aktuellen Stand verbleibt, reichen allein die gute Absicht und der gute Wille nicht aus, um die Genschere selbst und eine Keimbahnintervention als Arzt moralisch zu rechtfertigen. Problematisch ist also, dass nach aktuellem Wissensstand kein medizinischer Fortschritt möglich ist, sofern man kein Risiko eingehen will. Deshalb muss man sich die Frage stellen, ob der gesundheitliche Nutzen für zukünftige Menschen die gesundheitlichen Risiken derer, an denen das Verfahren ausprobiert wird, überwiegt. Bei dieser zentralen Frage der Debatte um CRISPR/Cas9 können die Prinzipien mittlerer Reichweite jedoch auch nicht mehr weiterhelfen.

#### 5.1.4 Das Prinzip der Gerechtigkeit

Das Prinzip der Gerechtigkeit findet im Fall von CRISPR/Cas9 insofern seine Anwendung, in dem es als eine angemessene gesundheitliche Versorgung für den Patienten verstanden wird. Ist die Behandlung mit der Genschere die beste Variante, um seine Gesundheit herzustellen, sollten Betroffene den entsprechenden Zugang zu dieser medizinischen Dienstleistung erhalten (vgl. Aslan et al. 2018, 27). Da bei Gesundheitsleistungen Gerechtigkeit oft mit Gleichheit in Verbindung gebracht wird (vgl. Mazouz 2011, 374), wäre es ungerecht, zwei Personen mit der gleichen Krankheit unterschiedlich zu behandeln, wenn sich nur eine von beiden die Behandlung mit der Genschere finanziell leisten kann. Dem könnte zum Beispiel durch Losen entgegengewirkt werden. Dabei öffnet sich aber auch ein generelles Problem der Medizin: Gelingt der Eingriff komplikationslos, hat der Patient vermutlich gegenüber einem auf herkömmliche Weise Behandelten einen Vorteil, da das genchirurgische Verfahren bisher die einzige potenzielle Methode ist, Erbkrankheiten vollständig zu heilen. Ebenso könnten durch eine Behandlung aber auch Nachteile entstehen. Um die Genschere jedoch kommerziell einzusetzen, müsste sie besser erforscht werden. Wie die Mittel im Gesundheitswesen aufgeteilt werden sollten, liegt auf einer gesellschaftspolitischen Ebene: Ist es legitim, diesen Forschungszweig zu unterstützen und dafür Geld woanders abzuziehen? Ist es gerecht, sehr viele Ressourcen in eine eher unsichere Therapie zu stecken, die sich nur wenige leisten können oder sollte das Geld besser der medizinischen Behandlung vieler Menschen zugutekommen? Auf diese Fragen kann hier keine Antwort gegeben werden, da es einer gesellschaftlichen Debatte bedarf, ob man in die Genschere investieren und dafür an einer anderen Stelle sparen will. Weiterhin ist unklar, wer überhaupt für die anfallenden Kosten aufkommen soll. Auch wenn sich die Gesamtkosten für die Herstellung der Genschere nur auf etwa 30 Dollar belaufen (vgl. Ledford 2015, 39), ist davon auszugehen, dass CRISPR/Cas9 für Betroffene nicht zu diesem Preis bereitgestellt wird. Die ausreichende Erforschung des molekularbiologischen Verfahrens zur

---

<sup>46</sup> Beispielsweise hat der französische Kriegschirurg Ambroise Paré die Wunden der Kriegsverletzten im 16. Jahrhundert versorgt, in dem er den Verwundeten kochendes Öl in das klaffende Fleisch schöpfte (vgl. Van de Laar 2015, 6). Er glaubte, dabei richtig zu handeln. Die so Behandelten haben dabei entsetzliche Schmerzen erlitten und mit ihrem Tod gerungen. Es ist zwar schwierig an dieser Stelle zu beurteilen, was Gutes tun heißt, dennoch lässt sich nicht leugnen, dass der Arzt fürsorglich gehandelt hat. Es war aus seiner Perspektive das Beste für die Patienten und er hätte es nicht besser wissen können.

Anwendung beim Menschen zieht hohe Kosten nach sich. Diese Forschungsgelder müssen schlussendlich wieder verdient werden und machen die medizinische Inanspruchnahme für den Patienten sehr teuer. Deshalb könnten zu Beginn einer möglichen Anwendung unvermögende Menschen von einer Behandlung ausgeschlossen werden, obwohl diese auch einen steuerlichen Beitrag zur Erforschung geleistet haben. Das kann als ausgesprochen unfair aufgefasst werden. Ebenso sollte bedacht werden, dass die Mittel für eine Anwendung der Genschere in den Händen von gewinnorientierten Unternehmen liegen. Das erhöht ebenfalls die Kosten einer Anwendung. Es ist aber denkbar, dass ein Erfolg von CRISPR/Cas9 irgendwann zu einer Kassenleistung führen könnte.

### 5.1.5 Zusammenfassung

<i>Menschliche Keimbahneingriffe mittels CRISPR/Cas9 an Keimzellen zur Behandlung von Erbkrankheiten</i>			
<b>Prinzip</b>	<b>Pro<sup>47</sup></b>	<b>Grenzbereich</b>	<b>Kontra</b>
<b>Autonomie</b>	Die Autonomie ist zwar komplex gestaltet und weicht vermutlich von der klassischen Sichtweise ab, dennoch ist die Anerkennung der Eltern als Kinderwunschpatienten und damit als Gegenstand der Patientenautonomie gerechtfertigt.	Das zukünftige Kind ist auf eine Stellvertreterentscheidung angewiesen und wäre eventuell mit einem Eingriff nicht einverstanden. Dabei lässt sich problematisieren, ob Eltern eine so schwerwiegende Entscheidung für ihr Kind treffen dürfen.	
<b>Nicht-Schaden</b>		Es ist schwer, überhaupt von Schaden zu sprechen, da wir kein Recht darauf haben, mit einer bestimmten Konstitution geboren zu werden. Dennoch erscheint es moralisch falsch, einem zukünftigen Menschen von vornherein das höchstmögliche Potenzial auf ein „normales“ Leben zu verwehren.	Die Schadenquote ist zum heutigen Stand der Technik durch die medizinischen Risiken noch zu hoch. Es lässt sich folglich ableiten, dass die Effizienz des genchirurgischen Verfahrens als Keimbahneingriff erst gesteigert werden muss, um als Arzt die Gesundheit des Patienten nicht zu gefährden und ihm nicht zu schaden.

<sup>47</sup> Pro-Argumente im Sinne von „für die Anwendung von CRISPR/Cas9“



<b>Fürsorge</b>	Treten Kinderwunschpatienten für eine Behandlung mit der Genschere an den Arzt heran, kann man davon ausgehen, dass die Erfüllung ihrer Wünsche (Autonomie) auch zur Steigerung ihres Wohlergehens führt.	Die Erforschung der Genschere ist ohne die Inkaufnahme von Risiken nicht möglich.	Eine präzise Risiko-Nutzen-Abwägung führt zum heutigen Stand der Technik dazu, dass eine Steigerung des Wohlergehens bei einer Behandlung nicht ausreichend gewährleistet werden kann.
	Gelingt der Eingriff komplikationslos, wird das Wohlergehen des Patienten gesteigert.		
<b>Gerechtigkeit</b>	Ist eine Behandlung mit CRISPR/Cas9 die beste Variante, um eine Erbkrankheit zu heilen, sollte sie für Betroffene zugänglich sein.	Es öffnet sich ein generelles Problem der Medizin: Gelingt der Eingriff komplikationslos, hat der Patient vermutlich gegenüber einem auf herkömmliche Weise Behandelten einen Vorteil, da das chirurgische Verfahren bisher die einzige potenzielle Methode ist, Erbkrankheiten vollständig zu heilen. Ebenfalls könnte er aber auch einen Nachteil durch die Behandlung haben.	Solange eine Behandlung mit der Genschere keine Kassenleistung ist, wird sie sich nicht jeder Betroffene finanziell leisten können.
		Es stellt sich die Frage, ob es legitim ist, diesen Forschungszweig zu unterstützen und dafür Geld woanders abziehen und auf diese Weise viele Ressourcen in eine eher unsichere Therapie zu stecken, die sich zunächst vermutlich nur wenige leisten können.	

Nach der Interpretation der vier Prinzipien in Bezug auf die Genschere CRISPR/Cas9 folgt nun eine Abwägung. Ein abschließendes Urteil kann hier anhand der vier Prinzipien mittlerer Reichweite jedoch nicht getroffen werden, da keine allgemeine Gewichtung der einzelnen Prinzipien vorliegt. Man kann dennoch den moralischen Konflikt bei der Anwendung der Genschere erkennen. Wird das Selbstbestimmungsrecht der Kinderwunschpatienten oder das Nicht-Schadens-Gebot mit der dabei einhergehenden Fürsorgepflicht des Arztes höher gewichtet? Worauf wird der Fokus bei der Risiko-Nutzen-Abwägung gelegt?

## 5.2 Betrachtung mittels zwei verschiedener Ethikansätze

Die Aspekte aus den Abschnitten 4.2 bis 4.4 sowie weitere relevante Gesichtspunkte werden einem der zwei verschiedenen Ethikansätze zugeordnet: der Deontologie oder dem Konsequentialismus. Dabei stehen bei der deontologischen Ebene die Werte im Mittelpunkt und in der konsequentialistischen Ebene liegt das Augenmerk auf den Folgen einer Anwendung.

### 5.2.1 Deontologische Ebene

Obwohl die Genschere als medizinische Revolution gilt, gerät sie mit einigen ethischen Ansätzen in Konflikt. Als Natürlichkeit des Menschen in Bezug auf Keimbahninterventionen mit CRISPR/Cas9 sind nach Kritikern „vornehmlich Einwände gegen biotechnische Verfahren zu verstehen, deren Absolutheitsanspruch mit der Unantastbarkeit der *Natur des Menschen* begründet wird“ (Hardt 2019, 124, Hervorhebung im Original) (vgl. Abschnitt 4.3). Was unterscheidet die Veränderung der Natürlichkeit bei einer Keimbahnintervention, mit der ebenfalls Krankheiten geheilt werden können, von anderen medizinischen Eingriffen? Die Methode von CRISPR/Cas9 ist noch relativ jung und weitgehend unerprobt (vgl. Abschnitt 2.1). Das „Experimentieren“ von Ärzten mit Erbmateriale, dem kleinsten Baustein menschlichen Lebens, ist nahezu unvorstellbar. Herkömmliche Krankheiten werden scheinbar simpel und einfach verständlich behandelt. Es ist vermeintlich logisch, dass man bei einem entzündeten Blinddarm diesen entfernen muss. Die Genschere hingegen ist viel komplexer, da sie auf molekularer Ebene arbeitet. Die Angst wächst, dass mit CRISPR/Cas9 Dinge getan werden, über die wir die Kontrolle verlieren. Dabei wirkt sich die Genschere zusätzlich direkt auf unsere Eigenschaften aus (vgl. Abschnitt 2.2.2). Doch nicht nur hier, sondern auch in unserer Nachkommenschaft werden die Auswirkungen einer Keimbahnintervention sichtbar. Das neuartige Verfahren hat das Potenzial, gezielt in die Evolution einzugreifen und uns Menschen von Grund auf zu verändern. Dennoch entwickelt sich der Mensch auf ganz natürliche Weise weiter und entfernt sich somit immer mehr von seinem ursprünglichen Dasein (vgl. Heyder 2015, 57). Weiterhin verändert jede Art von medizinischem Eingriff den Menschen in gewisser Weise. Künstliche Hüften oder dritte Zähne sind Beispiele, bei denen ganz offensichtlich die Natürlichkeit des Menschen schwindet. Zweifelsohne geht es bei einem Keimbahneingriff mit der Genschere um weit mehr, als um neue Kniegelenke. Es ist jedoch bereits lange ersichtlich, dass der Mensch früher oder später auch die menschliche Identität entdecken und diese untersuchen wird. Widersprüche denn nicht viel mehr eine Unterdrückung der Neugierde und des Fortschrittes dem menschlichen Wesen und wäre folglich unnatürlich? Zudem sollte bedacht werden, dass nicht alles was natürlich ist, auch zweifelsfrei gut ist. Naturkatastrophen bringen vor allem Leid mit sich und auch Krankheiten verursachen eine Last, die durch CRISPR/Cas9 verhindert werden könnten. Natürlichkeitsargumente sind daher für eine moralische Bewertung von Keimbahneingriffen mittels CRISPR/Cas9 eher ungeeignet.

Da die Natürlichkeitsargumente in der Diskussion um die Genschere zu keiner befriedigenden Aussage führen, kann man nun infrage stellen, zu welchem Ergebnis die Betrachtung mittels des Begriffes der Menschenwürde kommt. Inwieweit lässt sich einer Keimzelle in ihrem frühen Entwicklungsstatus Menschenwürde zusprechen? Obwohl die Keimzelle ein Teil des Menschen ist und das Potenzial hat, sich durch Verschmelzung mit einer andersgeschlechtlichen Keimzelle zu einem Embryo zu entwickeln, scheint es fragwürdig, dieser Menschenwürde zuzusprechen. Folglich wären männliche Masturbation und monatliche Menstruationsblutungen bei einer Frau verwerflich, weil dabei Keimzellen ohne Verwendung austreten und absterben. Es gibt demnach keinen ausschlaggebenden Grund, weshalb der Zuspruch von Menschenwürde als gerechtfertigt erscheint. In Bezug auf die Gattungswürde könnte man jedoch argumentieren, dass durch Keimbahneingriffe die Menschenwürde zukünftiger Generationen nicht gewahrt werden könnte (vgl. Deutscher Ethikrat 2019a, 117). Die zukünftigen Menschen können einer Behandlung schließlich nicht zustimmen. Insofern wäre dies eine voraus genommene Autonomieverletzung. Fraglich ist, ob man davon ausgehen kann, dass die potenziellen Menschen mit solch einem Eingriff einverstanden wären. Sofern die Effizienz der Technologie gesteigert werden würde, könnten die Betroffenen einer Behandlung zustimmen, andernfalls aber aufgrund der Unsicherheiten in der Ausführung ablehnen. Voraussetzung für den Einsatz von Keimbahneingriffen ist in jedem Fall eine angemessene Sicherheit und die Wirksamkeit, die wiederum während des Experimentierstatus zu problematisieren ist. Trotzdem erhält alleine die Keimbahn durch die ethische Analyse keine kategorische Unantastbarkeit und es erscheint subtil, die Beständigkeit von Erbkrankheiten durch die Menschenwürde zu schützen und deshalb Keimbahneingriffe als Verletzung des Achtungsanspruchs anzusehen. Lässt sich jedoch das Unterlassen einer Keimbahnintervention als menschenunwürdig bezeichnen, weil man Leid hätte verhindern können? Der Würdebegriff zeichnet sich vor allem darin aus, dass jeder Mensch seiner Gattung entsprechend angemessen behandelt werden muss. Entscheidet sich eine Person also aktiv gegen eine Keimbahnintervention, hat sie das Recht dazu und berührt damit in keinem Punkt die Würde. Ein Verbot von Keimbahneingriffen aufgrund der damit verbundenen Gesundheitsrisiken für die Nachkommen befindet sich auf einer anderen Ebene und lässt sich nicht mit der Menschen- bzw. Gattungswürde begründen.

Generell spricht gegen die Genschere, dass für die Erforschung Humanexperimente unumgänglich sind. In der präklinischen Forschung<sup>48</sup> mögen diese noch vertretbar sein, da zunächst beispielsweise mit „übriggebliebenen“ Embryonen aus der Grundlagenforschung gearbeitet werden kann. Spätestens in der klinischen Anwendung sollte aber ein gewisser Standard erreicht worden sein, was in einiger Zukunft durchaus möglich sein kann. Allgemein gilt, dass Menschenexperimente nur dann erlaubt sind, wenn dabei die Selbstbestimmung nicht verletzt wird. Dies ist bei Keimzellen problematisch zu betrachten, würde aber dennoch nicht zum Abschluss einer Keimbahnintervention führen.

Jedoch fallen bei der reinen Prozedur Merkmale auf, die an einer Verwendung zum heutigen Zeitpunkt zweifeln lassen (vgl. Abschnitt 2.2.2). Hinter dem CRISPR/Cas9-Verfahren verbergen sich hohe Risiken, die sich zum Beispiel in der Zerstörung von intakten und lebensnotwendigen Genen durch einen unkontrollierten Schnitt äußern (vgl. Irmer 2018, 165). Diese Schwächen erhöhen das Gefahrenpotenzial für den Patienten und lassen sich auch nicht mit dem Prinzip des Nicht-Schadens in Einklang bringen, wodurch eine Behandlung zum heutigen

---

<sup>48</sup> Die Präklinik beschreibt einen Zustand, bei dem im Labor ausschließlich an Modellen geforscht und das jeweilige Verfahren noch nicht an menschlichen Probanden durchgeführt wird. Dies erfolgt erst in der sich anschließenden klinischen Studie, die erst zum Einsatz kommt, wenn die neue Methode als sicher genug erachtet wird. (Vgl. Tallen 2018, o. S.)

Stand der Technik verantwortungslos und unmoralisch ist. Auch Keimbahneingriffe können derzeit aufgrund der unvorhersehbaren Risiken ethisch nicht gerechtfertigt werden (vgl. Deutscher Ethikrat 2019c, o. S.) und sind in Deutschland nach dem Embryonenschutzgesetz verboten (vgl. Abschnitt 3.1). Zu hinterfragen wäre an dieser Stelle aber, ob für das zukünftige Kind eine Behandlung mit unbekanntem Risiko oder eine sichere schwere Krankheit schlimmer sein würde.

Die prinzipielle Intention des Heilens ist gewiss keine schlechte und ohne die gravierenden Mängel in der Umsetzung könnte man mit dieser Technologie vielen Menschen helfen. Problematisch ist nur der Weg dahin, weil sich ein reges Ausprobieren nicht mit der Menschenwürde vereinbaren lässt. Es ist eher unwahrscheinlich, dass die Technologie in Deutschland aufgrund von hier vorherrschenden strengen Gesetzen so weit erforscht wird, dass sie für den kommerziellen Einsatz bereit wäre. Die Nutzung der Technologie ist selbst dann noch infrage zu stellen, wenn andere Länder diese erforscht und für den klinischen Einsatz anwendbar gemacht haben. Dürfen wir das Verfahren einsetzen, wenn die Erprobung in anderen Ländern erfolgreich durchgeführt wurde, wir in Deutschland das Experimentieren aber für moralisch falsch halten?

Die folgende Tabelle fasst die erarbeiteten Erkenntnisse innerhalb der deontologischen Ebene zusammen:

<i>Deontologische Ebene</i>			
<b>Wert</b>	<b>Pro</b>	<b>Grenzbereich</b>	<b>Kontra</b>
<b>Natürlichkeit</b>	Natürlichkeitsargumente sind eher ungeeignet, um damit Keimbahneingriffe mittels CRISPR/Cas9 moralisch zu bewerten.		
<b>Sicherheit</b>			Das „Experimentieren“ von Ärzten mit Erbmaterial, dem kleinsten Baustein menschlichen Lebens, ist nahezu unvorstellbar. Damit wächst die Angst, dass mit CRISPR/Cas9 Dinge getan werden, über die wir die Kontrolle verlieren.

<b>Würde</b>	Es gibt keinen ausschlaggebenden Grund, weshalb der Zuspruch von Menschenwürde für Keimzellen als gerechtfertigt erscheint.	Menschenversuche sind für eine Anwendung unumgänglich. Solange sie die persönliche Selbstbestimmung nicht verletzen, sind sie moralisch vertretbar. Dies ist bei Keimzellen als problematisch.	
	Die Keimbahn erhält durch die ethische Analyse keine kategorische Unantastbarkeit und es erscheint subtil, die Beständigkeit von Erbkrankheiten durch die Menschenwürde zu schützen und deshalb Keimbahneingriffe als Verletzung des Achtungsanspruchs anzusehen.		
<b>Verantwortung</b>		Die prinzipielle Intention des Heilens ist gewiss keine schlechte. Zu problematisieren ist jedoch der Weg bis hin zur klinischen Anwendung.	In der reinen Prozedur fallen Risiken auf, die eine Behandlung zum heutigen Stand der Technik verantwortungslos machen. Gleiches gilt für Keimbahneingriffe, die in Deutschland nach dem Embryonenschutzgesetz verboten sind.
		Zu hinterfragen ist, ob für das zukünftige Kind eine Behandlung mit unbekanntem Risiko oder eine sichere schwere Krankheit schlimmer wäre.	

Die deontologischen Argumente sind nicht ausreichend, um die Frage nach der moralischen Zulässigkeit von Keimbahneingriffen mit CRISPR/Cas9 zu beantworten. Hier bedarf es einer Folgenabwägung: Sind die individuellen Risiken zu hoch, um sie anderen zuzumuten? Ist es der erwartete Nutzen wert, die damit verbundenen Risiken einzugehen?

## 5.2.2 Konsequentialistische Ebene

Auf der Folgenebene ist besonders die Auswirkung auf die Gesellschaft zentrales Thema. Im Allgemeinen hätte die Genschere einen Einfluss auf das Menschenbild und gesellschaftliche Vorstellungen vom Leben. Problematisch ist, dass es bezüglich der Heilung von Erbkrankheiten zur Diskriminierung oder Stigmatisierung aktueller Betroffener kommen kann. Wie könnten wir damit als Gesellschaft umgehen?

Außerdem spricht gegen das neuartige molekularbiologische Verfahren der Eingriff in die natürliche Selektion. Dieser grundlegende Begriff der Evolutionstheorie beschreibt die natürliche Auslese von Individuen, wodurch die am besten Angepassten einer Art überleben (vgl. Kohlhaas 2020, o. S.). Prognosen zeigen heute schon, dass die Anzahl an Menschen auf der Erde in nicht allzu langer Zeit in einen riskanten Bereich ansteigen wird.<sup>49</sup> Es kann Nachteile haben, wenn noch mehr Menschen auf der Welt leben, auch wenn die Anzahl der Keimbahnbehandelten wahrscheinlich relativ gering ist.

Durch die in der Arbeit betrachteten Keimbahneingriffe spielen die Folgen von CRISPR/Cas9 eine größere Rolle als bei herkömmlichen medizinischen Verfahren. Die Anwendung der Genschere beim Menschen setzt an einer bisher ungewohnten Stelle an und bildet eine neue Stufe in den Behandlungsmöglichkeiten der Medizin. Bislang sterben mit einem Menschen auch seine Eigenschaften. Bei einem Eingriff in die Keimzelle werden die veränderten Merkmale aber über den Tod hinaus durch die Nachkommen weitervererbt. Das gezielte Einsetzen von CRISPR/Cas9 verändert spätere Generationen zuverlässig. Deshalb sollte man das Prinzip Verantwortung mit in die Diskussion einbeziehen (vgl. Abschnitt 4.2). Der Philosoph Hans Jonas fasst seine Auffassung in dem von ihm aufgestellten Imperativ wie folgt zusammen: „Handle so, dass die Wirkungen deiner Handlung verträglich sind mit der Permanenz echten menschlichen Lebens auf Erden.“ (Jonas 1979, 36) In Bezug auf die aktuelle Entwicklung fällt jedoch auf, dass dieser Imperativ bei einem Keimbahneingriff mittels CRISPR/Cas9 unbefriedigend ist. Der Imperativ scheint lebensfremd, denn der Fortschritt in der Wissenschaft wird immer Risiken mit sich bringen, die in einem gewissen Maße in Kauf genommen werden müssen. Um von der Erforschung der Genschere abzulassen, ist das Potenzial zur Heilung von Erbkrankheiten zu groß. Deshalb ist es wichtig, sich nicht von der „Revolution“ überrumpeln zu lassen und jede Handlung bedacht und begründet auszuführen. Aus diesem Grund sollte die Behandlung und Austragung von Nicht-Einwilligungsfähigen auch erst erlaubt sein, wenn der Nutzen in einer Abwägung höher ist als das Risiko. Im Gegensatz dazu sind Humanexperimente zum Zwecke der Forschung an nicht-mehr-lebensfähigen-Zellen oder an Personen, die einwilligungsfähig sind und der Behandlung zustimmen, moralisch vertretbar.

Wie aber bereits im Abschnitt 5.2.1 beschrieben, ist eine Verwendung der neuen Technologie zu nichttherapeutischen Zwecken äußerst fragwürdig. Dabei kann man jedoch keine klare Grenze zwischen heilenden und verbessernden Maßnahmen festlegen. Beispielsweise werden viele altersbedingte Erscheinungen als Krankheiten wahrgenommen. Das hohe Missbrauchsrisiko ist kritisch zu betrachten, denn wer Menschen von Erbkrankheiten heilen kann, der kann ihnen auch welche hinzufügen. Mit CRISPR/Cas9 könnte man das Schmerzempfinden von krebserkrankten Personen im Endstadium so verändern, dass es praktisch nicht mehr existiert. Es wäre aber auch möglich, Menschen immun gegen Folter zu machen und damit einen perfekten Kämpfer zu erschaffen. Eine dystopische Welt, in der Designerbabys von ihren

---

<sup>49</sup> <https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52699/bevoelkerungsentwicklung> [zuletzt überprüft am 01.01.21]

Eltern eine spezifische Haarfarbe und persönliche Eigenschaften zugeschrieben bekommen, scheint zwar noch weit entfernt, aber dennoch nicht ausschließbar.

Gewiss sind wir zu fatalen Taten fähig, aber dafür brauchen wir keine Technologie. Der Nutzer entscheidet über die Anwendung, nicht die Anwendung über sich selbst. Wer würde CRISPR/Cas9 außerdem in Anspruch nehmen? Wahrscheinlich ist, dass die Anzahl an Nutzern relativ gering sein wird. So kann man es durchaus akzeptieren, wenn das eigene Kind beispielsweise an einer Rot-Grün-Schwäche leidet. Für diese Erbkrankheit ist es fraglich, die Strapazen einer künstlichen Befruchtung auf sich zu nehmen. Eine künstliche Befruchtung ist bei der Anwendung der molekularbiologischen Methode unumgänglich und gebündelt mit zahlreichen Blutabnahmen, Ultraschall-Terminen, Operationen und teilweise auch Hormontherapien (vgl. Wendler 2016, o. S.). Noch viel unwahrscheinlicher ist es, dies nur für die Änderung der Haarfarbe auf sich nehmen.

Dennoch sollte die relativ leichte Ausführung der genchirurgischen Methode mitberücksichtigt werden. Auch wenn das Verfahren an sich komplex gestaltet ist und bei Laien ein großes Fragezeichen aufwirft, unterscheidet es sich in seiner Ausführung stark zu anderen Verfahren. Für CRISPR/Cas9 wird kein enorm spezielles und teuer ausgestattetes Labor benötigt, allenfalls eine Frau, die das Kind austrägt. Weiterhin bedarf es auch keines ausgesprochenen Fachwissens, um die Technologie anzuwenden. Dieser Aspekt macht abermals einen verantwortungsvollen Umgang mit dem molekularbiologischen Verfahren deutlich und sollte in einer Abwägung außerordentlich mitberücksichtigt werden. (Vgl. Ledford 2018, 37)

Die Erforschung von CRISPR/Cas9 könnte folglich vollständig unterlassen werden, um das Risiko eines verantwortungslosen Umgangs zu umgehen. Jedoch birgt das medizinische Verfahren die unverwechselbare Chance, Erbkrankheiten für immer zu heilen. Die Genschere CRISPR/Cas9 lässt sich im Gegensatz zu herkömmlichen Verfahren in der Gentherapie äußerst präzise platzieren, wodurch man exakt an einer gewünschten Stelle ins menschliche Erbgut eingreifen kann (vgl. Henn 2016, o. S.). Eine Alternative zur Behandlung mit CRISPR/Cas9 wäre die Präimplantationsdiagnostik, bei der nur ausgewählte Embryonen in die Gebärmutter eingesetzt werden, die keinen Gendefekt aufweisen. Hierbei ist es jedoch nicht möglich, ganze Generationen zu heilen. Es sollte außerdem bedacht werden, dass dadurch „nutzlose“ Embryonen „übrigbleiben“, die eben diesen Gendefekt in sich tragen. Weiterhin wäre es möglich, dass Eltern vollständig auf Fortpflanzung verzichten, wenn das Potenzial auf ein krankes Kind besteht. Diese Alternative ist jedoch nicht wirklich realistisch und ebenso nicht zumutbar. Wenn wir das Verfahren nie ausprobieren, dann werden wir auch nie erfahren, ob es funktioniert und ob damit viele Menschen geheilt werden können.

Außerdem kann man davon ausgehen, dass die Verursachung von schwerwiegenden Fehlern im Erbmaterial dazu führt, dass das Kind schon vor der Geburt im Mutterleib stirbt. Für die Eltern hätte das negative Folgen, aber es ist ihre eigene Entscheidung, eine Behandlung mit der Technologie überhaupt in Anspruch zu nehmen und in diesem Zusammenhang auch die Risiken zu kennen.

Dennoch hat die Anwendung im Fall He Jiankui (vgl. Abschnitt 2.2.4) gezeigt, dass die Genschere noch in den Kinderschuhen steckt und augenblicklich nicht bereit für die Behandlung von Erkrankten ist. Weiterhin existiert noch keine Langzeiterfahrung mit der Technik, wobei sich manche Probleme erst nach mehreren Jahren zeigen dürften.

Die folgende Tabelle fasst die erarbeiteten Erkenntnisse innerhalb der konsequentialistischen Ebene zusammen:

<i>Konsequentialistische Ebene</i>		
<b>Pro</b>	<b>Grenzbereich</b>	<b>Kontra</b>
Sofern Enhancement <sup>50</sup> mit Hilfe von CRISPR/Cas9 irgendwann eine Rolle spielen sollte, wäre die Inanspruchnahme wahrscheinlich ziemlich gering.	Die Genschere hat einen Einfluss auf das Menschenbild und die gesellschaftliche Vorstellung vom Leben.	Es könnte zur Diskriminierung oder Stigmatisierung aktueller Betroffener kommen.
Die Genschere hat das Potenzial, Erbkrankheiten für immer zu heilen.	Das gezielte Einsetzen von CRISPR/Cas9 verändert spätere Generationen zuverlässig.	Das neuartige molekularbiologische Verfahren ist ein Eingriff in die natürliche Selektion, durch den die Weltbevölkerung noch weiter steigen würde.
Wenn wir CRISPR/Cas9 nie ausprobieren, dann werden wir auch nie erfahren, ob das Verfahren funktioniert und damit viele Leute geheilt werden können.	Die Verwendung der neuen Technologie zu nichttherapeutischen Zwecken ist äußerst fragwürdig. Dabei kann man jedoch keine klare Grenze zwischen heilenden und verbessernden Maßnahmen festlegen.	Die Genschere bringt ein hohes Missbrauchsrisiko mit sich.
Man kann davon ausgehen, dass die Verursachung von schwerwiegenden Fehlern durch die Genschere dazu führen würde, dass das Kind schon vor der Geburt im Mutterleib stirbt.	Das neuartige Verfahren hat das Potenzial gezielt in die Evolution einzugreifen und uns Menschen von Grund auf zu verändern.	Es existiert noch keine Langzeiterfahrung mit der Technik, wobei sich manche Probleme erst nach mehreren Jahren zeigen dürften.
	Die relativ leichte Verwendung von CRISPR/Cas9 sollte mitberücksichtigt werden.	

<sup>50</sup> Aus dem Englischen für „Verbesserung“ – Damit wird in diesem Fall die Inanspruchnahme von CRISPR/Cas9 zur Verbesserung des Menschen zum Beispiel in Bezug auf die genetische Steigerung der Intelligenz oder des Muskelanteils bezeichnet.



### 5.3 Abschlussdiskussion

Die Genschere CRISPR/Cas9 gilt als medizinische Revolution, die Verleihung des Nobelpreises im Jahr 2020 unterstreicht das. Zu unterscheiden ist jedoch zwischen der Technologie als solche und möglichen Anwendungsfällen. In der Pflanzenzucht ist das Verfahren bereits etabliert, doch das menschliche Genom und noch viel mehr der Einfluss auf unser Band zu nachkommenden Generationen durch Keimbahneingriffe erzwingen eine wohlüberlegte Abwägung. Und doch: Früher war es Schicksal, doch in der Zukunft könnte es eine persönliche und bewusste Entscheidung sein, ob das eigene Kind von einer Erbkrankheit betroffen oder gesund ist.

Die vorgenommene ethische Bewertung auf Grundlage der beleuchteten Aspekte lässt weder eine gänzliche Verifizierung noch Falsifizierung der These *„Die genetische Veränderung der menschlichen Keimbahn mit CRISPR/Cas9 an Keimzellen ist zur Behandlung von Erbkrankheiten ethisch nicht vertretbar und sollte deshalb nicht durchgeführt werden.“* zu.

Diese Abwägung knüpft zunächst an den Kontra-Aspekten der Abschnitte 5.1 bis 5.2.2 an, die sich wie folgt umreißen lassen: Nicht-Schaden und Wohlergehen der Patienten können nach dem heutigen Stand der Technik nicht ausreichend gewährleistet und ungewollte Effekte bei nachfolgenden Generationen nicht hinreichend ausgeschlossen werden. Außerdem könnte der Mensch Prozesse der natürlichen Selektion tiefgreifend verändern, deren Langzeitfolgen heute unklar sind. Das Missbrauchsrisiko einer Anwendung zu nichttherapeutischen Zwecken, wie beispielsweise einem „Enhancement“, liegt auf der Hand, einschließlich der durch die hohen Therapiekosten induzierten Ungleichheit zwischen verschiedenen Personengruppen. Diese Argumente unterstützen die Arbeitsthese und es wird deutlich, dass das molekularbiologische Verfahren zum heutigen Stand der Technik durch die medizinischen Risiken nicht zur Behandlung von Menschen einsetzbar ist, insbesondere nicht durch Eingriffe in die Keimbahn.

Eine Mehrzahl an Argumenten lässt sich einem Grenzbereich zuordnen. Diese stimmen dem Verfahren weder zu, noch lehnen sie es ab, sind aber zu berücksichtigen. Würde ohne die Schwächen in der Ausführung kein dringlicher Faktor existieren, der eine Umsetzung vollkommen moralisch verwerflich machen würde? Kritiker halten eine hinreichende Verbesserung der Technik für unwahrscheinlich (vgl. Deutscher Ethikrat 2019, 31). Um deren Bedenken zu überprüfen, könnten Forschungen im präklinischen Bereich ermöglicht werden. Keimbahninterventionen, die in Deutschland verboten sind, dürften erst erlaubt werden, wenn die auftretenden medizinischen Risiken deutlich minimiert und hinreichende Sicherheit und Wirksamkeit der Methode garantiert werden können. CRISPR/Cas9 in menschlichen Stammzellen eines erwachsenen Organismus anzuwenden, die nur das Erbgut des gegenwärtigen Patienten verändern, wäre aus ethischer Sicht dann weniger problematisch und deshalb eher für eine Anwendung der Genschere geeignet.

Aus dieser Arbeit geht auch hervor, dass CRISPR/Cas9 nur zur Behandlung von Erbkrankheiten, die als solche definiert sind, eingesetzt werden sollte. Dabei ist es möglich, sich nur auf solche Erbkrankheiten zu beschränken, die auch für eine Behandlung mittels Präimplantationsdiagnostik zugelassen sind. Wenn das Verfahren rein aus Sicht der medizinischen Treffsicherheit für gut empfunden wird, ist es nicht verwerflich, über ein gesundes Kind nachzudenken. Der klassische Heilungsbegriff könnte aber auf die Probe gestellt werden, wenn es nicht mehr nur um die Heilung von Erbkrankheiten geht. CRISPR/Cas9 stellt einen Schritt in Richtung Designerbabys dar. Öffnen wir dadurch die Büchse der Pandora? Auch wenn die Grenze

zwischen therapeutischen und verbessernden Maßnahmen, wie bereits beschrieben, scheinbar gar nicht existiert, sind Eingriffe zum Zwecke der Verbesserung („Enhancement“) kritisch zu betrachten. Diese würden unser Menschenbild zu drastisch verändern und es scheint nicht ersichtlich, weshalb solche Eingriffe notwendig wären. Noch sind wir weit davon entfernt zum Beispiel die Persönlichkeit eines Menschen zu verändern. Nicht um den Willen der Wahrung von Natürlichkeit, sondern aufgrund des enormen Missbrauchspotenzials ist die Anwendung von CRISPR/Cas9 immer bedenklich. Der gesellschaftliche Preis, den es auch für die Anwendung zur Heilung von Erbkrankheiten zu zahlen gilt, sollte angemessen berücksichtigt werden.

Es wird deutlich, dass wir im Laufe des nächsten Jahrzehnts als Gesellschaft wichtige Entscheidungen zur Anwendung des revolutionierenden CRISPR/Cas9-Verfahrens treffen müssen. Diese Entscheidung kann die Arbeit nicht abnehmen. Sie kann nur Hinweise und Anregungen für eine Diskussion geben. Es bedarf einer umfassenden gesellschaftlichen Debatte, da die gesamte Menschheit von den Auswirkungen der Technologie betroffen ist. Außerdem sollten sowohl national als auch international klare Regeln geschaffen werden, die den Umgang mit der Genschere festlegen. Länderübergreifende Reglements zu entwerfen, dürfte dabei für alle Beteiligten viel Kraft und Mühe kosten, wäre aber ein großer Erfolg. Letztendlich sind internationale Festlegungen die einzige Möglichkeit, Keimbahninterventionen mit CRISPR/Cas9 zu regulieren, da Ländergrenzen dabei keine Rolle mehr spielen.

Schlussendlich ist zu betonen, dass selbst die Verfasserin beim Anfertigen der Arbeit einen Wandel in der Einstellung gegenüber dem Verfahren vollzogen hat. Diese Besondere Lernleistung umfasst eine persönliche Argumentation, die hier ein Ende findet. Das heißt, dass beim Weiterdenken dieses Themas ganz neue Aspekte auftreten können, die zu einem gänzlich anderen Ergebnis führen. Die Verleihung des Nobelpreises für Chemie im letzten Jahr für die Entdeckung von CRISPR/Cas9 kann dem wissenschaftlichen Fortschritt eine besondere Dynamik verleihen und innerhalb kürzester Zeit zu neuen Argumenten und damit zu einer sich stetig erweiternden, ethischen Beurteilung führen. Das vermittelte persönliche Statement gilt womöglich nur für exakt den im Moment existierenden Stand der Forschung und ist einzig und allein die Sichtweise einer einzelnen Person.

In Zukunft gelingt hoffentlich ein verantwortungsvoller Umgang mit der Technologie, sodass zahlreiche Erbkrankheiten geheilt und Menschen von ihren Leiden befreit werden können.

## Literaturverzeichnis

### Quellen mit Autor

Arnold, Norbert: Keimbahneingriffe und das kurze Gedächtnis der Öffentlichkeit. In: <https://www.kas.de/de/kurzum/detail/-/content/keimbahneingriffe-und-das-kurze-gedaechtnis-der-oeffentlichkeit> [zuletzt überprüft am 08.01.21]

Aslan, Serap Ergin et al.: Genome-Editierung in der Humanmedizin: Ethische und rechtliche Aspekte von Keimbahneingriffen bei Menschen. Münster 2018. Online abrufbar unter: [https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/bioethik/cfb\\_drucksache\\_4\\_2018\\_genom\\_editierung\\_13\\_06\\_final.pdf](https://www.uni-muenster.de/imperia/md/content/bioethik/cfb_drucksache_4_2018_genom_editierung_13_06_final.pdf) [zuletzt überprüft am 09.01.21]

Baack, Katharina et al.: Natura Oberstufe. Biologie für Gymnasien. Stuttgart 2016.

Bahners, Patrick: Bürger Embryo. Habermars kontra Markl: Die Grenzen der Gattungsethik. In: Geyer, Christian (Hg.): Biopolitik. Die Positionen. Frankfurt am Main 2001. 206-209.

Beauchamp, Tom L./Childress, James F.: Principles of Biomedical Ethics. 7. Aufl. Oxford 2013.

Burgio, Gaetan/Perrin, Dimitri: China's failed gene-edited baby experiment proves we're not ready for human embryo modification. In: <https://theconversation.com/chinas-failed-gene-edited-baby-experiment-proves-were-not-ready-for-human-embryo-modification-128454> [zuletzt überprüft am 30.06.20]

Cario, Holger: Ursachen: Wie entsteht die  $\beta$ -Thalassämie? In: [https://www.kinderblutkrankheiten.de/content/erkrankungen/rote\\_blutzellen/anaemien\\_blutarmut/thalassaemie/ursachen/](https://www.kinderblutkrankheiten.de/content/erkrankungen/rote_blutzellen/anaemien_blutarmut/thalassaemie/ursachen/) [zuletzt überprüft am 16.02.20]

Cathomen, Toni/Puchta, Holger: Basiswissen CRISPR/Cas. In: Cathomen, Toni/Puchta, Holger (Hg.): CRISPR/Cas9. Einschneidende Revolution in der Gentechnik. Berlin 2018. 1-6.

Cathomen, Toni/Puchta, Holger: Vorwort. In: Cathomen, Toni/Puchta, Holger (Hg.): CRISPR/Cas9. Einschneidende Revolution in der Gentechnik. Berlin 2018. V-VIII.

Czepel, Robert: Patentstreit: Die Folgen des Urteils. In: <https://science.orf.at/v2/stories/2827374> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Deutscher Ethikrat (Hg.): Eingriffe in die menschliche Keimbahn. Stellungnahme. Berlin 2019a. Online abrufbar unter: <https://www.ethikrat.org/fileadmin/Publikationen/Stellungnahmen/deutsch/stellungnahme-eingriffe-in-die-menschliche-keimbahn.pdf> [zuletzt überprüft am 08.01.21]

Deutscher Ethikrat (Hg.): Eingriffe in die menschliche Keimbahn. Stellungnahme. Kurzfassung. Berlin 2019b. Online abrufbar unter: <https://www.ethikrat.org/fileadmin/Publikationen/Stellungnahmen/deutsch/stellungnahme-eingriffe-in-die-menschliche-keimbahn-kurzfassung.pdf> [zuletzt überprüft am 08.01.21]

Deutscher Ethikrat (Hg.): Keimbahneingriffe am menschlichen Embryo: Deutscher Ethikrat fordert globalen politischen Diskurs und internationale Regulierung. Ad-Hoc-Empfehlung. Berlin 2017. Online abrufbar unter: <https://www.ethikrat.org/fileadmin/Publikationen/Ad-hoc-Empfehlungen/deutsch/empfehlung-keimbahneingriffe-am-menschlichen-embryo.pdf> [zuletzt überprüft am 08.01.21]

Deutscher Ethikrat (Hg.): Pressemitteilung 03/2019. Ethikrat: Keimbahneingriffe derzeit zu risikoreich, aber ethisch nicht grundsätzlich auszuschließen. In: <https://www.ethikrat.org/mitteilungen/2019/ethikrat-keimbahneingriffe-derzeit-zu-risikoreich-aber-ethisch-nicht-grundsatzlich-auszuschliessen/> [zuletzt überprüft am 30.10.20] 2019c.

Ekkernkamp, Axel: Auf dem Weg zur Unsterblichkeit. In: <https://rotary.de/gesellschaft/auf-dem-weg-zur-unsterblichkeit-a-15022.html> [zuletzt überprüft am 08.01.21]

Fieber, Tanja: Entdeckung der Genschere CRISPR ausgezeichnet. In: <https://www.br.de/wissen/nobelpreis-2020-chemie-chemienobelpreis-crispr-genome-editing-102.html> [zuletzt überprüft am 04.01.21]

Habermas, Jürgen: Die Zukunft der menschlichen Natur: Auf dem Weg zu einer liberalen Eugenik? erw. Aufl. Frankfurt am Main 2001.

Hacker, Jörg (Hg.): Ethische und rechtliche Beurteilung des *genome editing* in der Forschung an humanen Zellen. Halle 2017. Online abrufbar unter: [https://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2017\\_Diskussionspapier\\_GenomeEditing.pdf](https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2017_Diskussionspapier_GenomeEditing.pdf) [zuletzt überprüft am 09.01.21]

Hall, Stephen S.: Menschendesign durch die Hintertür. In: Cathomen, Toni/Puchta, Holger (Hg.): CRISPR/Cas9. Einschneidende Revolution in der Gentechnik. Berlin 2018. 215-232.

Hardt, Annika: Technikfolgenabschätzung des CRISPR/Cas-Systems. Über die Anwendung in der menschlichen Keimbahn. Berlin 2019.

Henn, Volker: Drei Gen-Scheren schneiden das Erbgut – CRISPR, TALEN, ZFN. In: [https://www.wissensschau.de/genom/genschere\\_crispr\\_zfn\\_talen.php](https://www.wissensschau.de/genom/genschere_crispr_zfn_talen.php) [zuletzt überprüft am 16.02.20] 2016.

Henn, Volker: Induzierte pluripotente Zellen: Stammzellen aus dem Labor. In: [https://www.wissensschau.de/stammzellen/ips\\_zellen.php](https://www.wissensschau.de/stammzellen/ips_zellen.php) [zuletzt überprüft am 24.08.20] 2017.

Heyder, Clemens: Die Natur und ihre Bedeutung für die Moral. In: Gerhard, Myriam (Hg.): Naturauffassungen jenseits derer der Naturwissenschaften. Würzburg 2015. 53-81.

Höffe, Otfried: Wessen Menschenwürde? Was Reinhard Merkel verschweigt und Robert Spaemann nicht sieht. In: Geyer, Christian (Hg.): Biopolitik. Die Positionen. Frankfurt am Main 2001. 65-72.

Holinski-Feder, Elke/Abicht, Angela: Die Genetik der Thalassämien. München 2016. Online abrufbar unter: <https://www.mgz-muenchen.de/files/mgz/Download/Diagnostische%20Schwerpunkte/Die%20Genetik%20der%20Thalassaemien.pdf> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

Irmer, Juliette: Zwischen Wunsch und Wirklichkeit. In: Cathomen, Toni/Puchta, Holger (Hg.): CRISPR/Cas9. Einschneidende Revolution in der Gentechnik. Berlin 2018. 157-167.

Jonas, Hans: Das Prinzip Verantwortung. Frankfurt am Main 1979.

Jonas, Hans: Technik, Medizin und Ethik: Zur Praxis des Prinzips Verantwortung. Frankfurt am Main 1985.

Knox, Margaret: Gezielter Eingriff ins Erbgut. In: Cathomen, Toni/Puchta, Holger (Hg.): CRISPR/Cas9. Einschneidende Revolution in der Gentechnik. Berlin 2018. 7-22.

Kohlhaas, Oliver: Was ist natürliche Selektion? In: <https://www.oliverkohlhaas.de/evolution/nat%C3%BCriche-selektion/> [zuletzt überprüft am 10.01.21]

Kusmann, Matthias: Hans Jonas und die Ethik der Verantwortung. In: <https://www.swr.de/swr2/wissen/swr2-wissen-2020-02-28-102.pdf> [zuletzt überprüft am 25.08.20]

Ledford, Heidi: Gentechnik: CRISPR verändert alles. In: Cathomen, Toni/Puchta, Holger (Hg.): CRISPR/Cas9. Einschneidende Revolution in der Gentechnik. Berlin 2018. 35-51.

Löhr, Eckart: Der Mensch muss der Natur ihre Würde zurückgeben, um seine eigene Würde zu bewahren: Warum es sich lohnt, Hans Jonas wieder zu lesen. In: <https://www.nzz.ch/feuilleton/hans-jonas-der-mensch-muss-der-natur-ihre-wuerde-zurueckgeben-ld.1479968> [zuletzt überprüft am 25.08.20]

Mahlke, Sandra: Das Machtverhältnis zwischen Mensch und Tier im Kontext sprachlicher Distanzierungsmechanismen. Anthropozentrismus, Speziesismus und Karnismus in der kritischen Diskursanalyse. Hamburg 2014.

Maio, Giovanni: Mittelpunkt Mensch: Ethik in der Medizin. 2., überarb. erw. Aufl. Stuttgart 2017.

Mazouz, Nadia: Gerechtigkeit. Gleichheit und Gerechtigkeit. In: Düwell, Marcus/Hübenthal, Cristoph/Werner, Micha H. (Hg.): Handbuch Ethik. 3., aktualis. Aufl. Stuttgart 2011. 371-376.

Merkel, Reinhard: Rechte für Embryonen? Die Menschenwürde lässt sich nicht allein auf die biologische Zugehörigkeit zur Menschheit begründen. In: Geyer, Christian (Hg.): Biopolitik. Die Positionen. Frankfurt am Main 2001. 51-64.

Merlot, Julia: Forscher wegen genveränderter Babys zu drei Jahren Haft verurteilt. In: <https://www.spiegel.de/wissenschaft/medizin/he-jiankui-chinesischer-forscher-wegen-gen-babys-zu-drei-jahren-haft-verurteilt-a-1303097.html> [zuletzt überprüft am 30.06.20]

Meslin, Eric Mark: Protecting Human Subjects from Harm in Medical Research: A Proposal for Improving Risk Judgments by Institutional Review Boards. Georgetown 1989.

- Mill, John Stuart: Natur. In: Mill, John Stuart: Drei Essays über Religion. Stuttgart 1984. 9-62.
- Osterkamp, Jan: Fördert CRISPR/Cas9 Krebs? In: <https://www.spektrum.de/news/foerdert-crispr-cas9-krebs/1570972> [zuletzt überprüft am 30.12.19]
- Rahbar, Kambiz: Die vier Prinzipien ethischen Handelns in der Medizin. In: <https://ethicarationalis.org/die-vier-prinzipien-ethischen-handelns-in-der-medizin/> [zuletzt überprüft am 29.02.20]
- Ritter, Henning: Die Zerreißprobe. Was man der Menschenwürde nicht zumuten darf. In: Geyer, Christian (Hg.): Biopolitik. Die Positionen. Frankfurt am Main 2001. 155-160.
- Schaaf, Christian/Zschocke, Johannes: Basiswissen Humangenetik. 2., überarb. Aufl. Heidelberg 2013.
- Schöne-Seifert, Bettina: Grundlagen der Medizinethik. Stuttgart 2007.
- Schreiner, Helmut: Recht und Ethik. In: Renate Hutterer-Krisch (Hg.): Fragen der Ethik in der Psychotherapie. Konfliktfelder, Machtmißbrauch, Berufspflichten. 2., aktualis. Aufl. Wien 2001. 181-196.
- Sieb, Antje: Eingriffe in die menschliche Keimbahn: kein Tabu mehr? (Folge 05). Hessischer Rundfunk. In: <https://www.hr-inforadio.de/podcast/funkkolleg-biologie/podcast-episode17630.html> [zuletzt überprüft am 30.12.19]
- Tallen, Gesche: Präklinische Forschung. In: [https://www.kinderkrebsinfo.de/patienten/forschung/praeklinische\\_forschung/index\\_ger.html](https://www.kinderkrebsinfo.de/patienten/forschung/praeklinische_forschung/index_ger.html) [zuletzt überprüft am 27.11.20]
- Van de Laar, Arnold: Schnitt! Die ganze Geschichte der Chirurgie erzählt in 28 Operationen. München 2015.
- Wedekind, Hartmut: Sollen impliziert Können. Eine Kritik an der klassischen Ethik. In: <https://blogs.fau.de/wedekind/sollen-impliziert-koennen/> [zuletzt überprüft am 26.10.20]
- Wendler, Nicole: Künstliche Befruchtung. In: <https://www.netdokter.de/kinderwunsch/kuenstliche-befruchtung/> [zuletzt überprüft am 28.10.20]
- Werner, Micha H.: Hans Jonas' Prinzip Verantwortung. In: Düwell, Marcus/Steigleder, Klaus (Hg.): Bioethik. Eine Einführung. Frankfurt am Main 2003. 41-56.
- Wiesemann, Claudia/Biller-Andorno, Nikola/Frewer, Andreas: Medizinethik. Für die neue AO. Stuttgart 2005.
- Wurzel, Steffen: Haftstrafe für chinesischen Genforscher. In: <https://www.tagesschau.de/ausland/china-genmanipulation-101.html> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

## Quellen ohne Autor

<https://www.transgen.de/forschung/2662.crispr-genome-editing-beispiele-pflanzen.html>  
[zuletzt überprüft am 16.02.20]

<https://www.mpg.de/11032886/crispr-cas9-aufgaben> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<https://www.zeit.de/wissen/2019-10/crispr-cas9-genetik-erbgut-genschere-dna> [zuletzt überprüft am 26.12.19]

<https://www.mpg.de/11033678/crispr-cas9-zukunft> [zuletzt überprüft am 29.12.19]

<https://www.mpg.de/11018867/crispr-cas9> [zuletzt überprüft am 28.12.19]

<https://www.mpg.de/11032932/crispr-cas9-mechanismus> [zuletzt überprüft am 15.07.20]

<https://www.mpg.de/11032846/crispr-dna-abschnitt> [zuletzt überprüft am 28.12.19]

<https://www.mpg.de/11033456/crispr-cas9-therapien> [zuletzt überprüft am 30.12.19]

<https://flexikon.doccheck.com/de/Beta-Thalass%C3%A4mie> [zuletzt überprüft am 16.02.20]

<https://www.gesundheit.gv.at/lexikon/b/anaemie> [zuletzt überprüft am 16.02.20]

<https://www.gesundheit.gv.at/krankheiten/blut/beta-thalassaemie> [zuletzt überprüft am 16.02.20]

<https://www.beobachter.ch/gesundheit/krankheit/muskelschwund-muskeldystrophie> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

<https://www.duchenne.de/muskelerkrankungen-bei-kindern/> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

<https://www.n-tv.de/wissen/Gen-Zwillinge-haben-offenbar-verbesserte-Gehirne-article20871882.html> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

<https://www.srf.ch/kultur/wissen/crispr-babys-in-china-hat-er-sie-behandelt-oder-krank-gemacht> [zuletzt überprüft am 30.06.20]

<https://www.theguardian.com/science/2019/jan/22/second-woman-carrying-gene-edited-baby-chinese-authorities-confirm> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

[http://www.kultur-gesundheit.de/medizin\\_und\\_bioethische\\_themen/arzt-patienten-verhaeltnis/patientenautonomie.php](http://www.kultur-gesundheit.de/medizin_und_bioethische_themen/arzt-patienten-verhaeltnis/patientenautonomie.php) [zuletzt überprüft am 20.02.20]

<https://www.grundrechtenschutz.de/gg/menschenwurde-2-255#die-menschenwrde-und-das-grundgesetz> [zuletzt überprüft am 26.08.20]

<https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52699/bevoelkerungsentwicklung> [zuletzt überprüft am 01.01.21]

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Enzym schneidet kleines Stück aus der Viren-DNA heraus. In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> (00:00:37) [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Abb. 2: Viren-DNA wird in Erbgut der Bakterien eingefügt. In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> (00:00:40) [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Abb. 3: Beispiel für eine palindromische DNA-Sequenz. In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> [zuletzt überprüft am 16.07.20]

Abb. 4: Übersetzung der CRISPR-Sequenz in CRISPR-RNA. In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> (00:00:54) [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Abb. 5: CRISPR-RNA bestehend aus Bakterien-DNA (rot) und Viren-DNA (blau). In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> (00:01:00) [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Abb. 6: CRISPR-RNA mit gebundener tracrRNA. In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> (00:01:09) [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Abb. 7: Bindung von CRISPR-RNA und tracrRNA an Cas9. In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> (00:01:13) [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Abb. 8: Virus-DNA bindet komplementär an CRISPR-RNA. In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> (00:01:26) [zuletzt überprüft am 15.07.20]

Abb. 9: Cas9 zerschneidet DNA-Strang des Virus. In: <https://www.youtube.com/watch?v=ouXrsr7U8WI&feature=youtu.be> (00:01:29) [zuletzt überprüft am 15.07.20]



## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich diese Besondere Lernleistung selbstständig verfasst und keine anderen, als die angegeben Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, wurden als solche kenntlich gemacht.

Leipzig, den 15.01.2021

  
\_\_\_\_\_  
Lisa Kristin Kröger