

# AUS POLITIK UND ZEITGESCHICHTE

## Gentechnik

*Juliette Irmer*  
VON A WIE „ADENIN“  
BIS Z WIE „ZÜCHTUNG“

*Samia Salem*  
AM ANFANG WAR DIE ERBSE

*Thomas Thum*  
„WIR DÜRFEN DA NOCH  
SEHR VIEL ERWARTEN“.  
EIN GESPRÄCH

*Sigrid Graumann*  
ENDE DES SCHICKSALS?

*Katharina Schreiber*  
RECHT VS.  
NATURWISSENSCHAFTEN?

*Ortwin Renn*  
DIE GROßE  
VERUNSICHERUNG

# APuZ

ZEITSCHRIFT DER BUNDESZENTRALE  
FÜR POLITISCHE BILDUNG

Beilage zur Wochenzeitung Das **Parlament**



# Gentechnik

## APuZ 34–35/2022

**JULIETTE IRMER**

VON A WIE „ADENIN“ BIS Z WIE „ZÜCHTUNG“.  
EINE EINFÜHRUNG IN DIE GENTECHNOLOGIE

Durch die „Genschere“ CRISPR/Cas9 ist der Mensch heute mehr denn je in der Lage, gezielt in das Erbgut aller Organismen einzugreifen, auch in sein eigenes. Vielen Menschen ist das nicht geheuer. Dabei wird Gentechnologie in vielen Bereichen seit Jahrzehnten angewendet.

Seite 04–10

**SAMIA SALEM**

AM ANFANG WAR DIE ERBSE.  
KLEINE GESCHICHTE DER GENTECHNIK  
UND IHRER REZEPTION

Bereits Jahre vor dem ersten gelungenen gentechnischen Experiment 1972 begannen die Diskussionen darum. Dabei war die Rezeption der Gentechnik nicht nur durch den gentechnologischen Fortschritt selbst, sondern auch durch Diskurse um andere Technologien geprägt.

Seite 11–17

**THOMAS THUM**

„WIR DÜRFEN DA NOCH SEHR VIEL ERWARTEN“.  
EIN GESPRÄCH ÜBER MEDIZINISCHE  
RNA-FORSCHUNG UND -THERAPIEN

Thomas Thum entwickelt eine Therapie gegen Herzschwäche, die über einen Hemmer für microRNAs wirkt. Im Interview spricht er über das RNA-Molekül und sein Potenzial für die Medizin – auch jenseits der mRNA-Technologie hinter den Impfstoffen gegen Covid-19.

Seite 18–20

**SIGRID GRAUMANN**

ENDE DES SCHICKSALS?  
GENOMEDITIERUNG IN DER MEDIZIN

Genomeditierung ermöglicht viel zielgenauere, präzisere und effektivere gentechnische Veränderungen als bislang – auch an menschlichen Zellen. Aber welche Anwendungen der Gentechnik am Menschen sind aus naturwissenschaftlicher und ethischer Sicht überhaupt zu verantworten?

Seite 21–26

**KATHARINA SCHREIBER**

RECHT VS. NATURWISSENSCHAFTEN?  
DIE DEBATTE ZUR REGULIERUNG GRÜNER  
GENTECHNIK IN DER EU

Der Europäische Gerichtshof hat entschieden, dass Pflanzen, die mit Genomeditierungsverfahren erzeugt wurden, unter das Zulassungsverfahren des Europäischen Gentechnikrechts fallen. Das Echo in Wissenschaft und Politik ist geteilt, die Reformdebatte in vollem Gang.

Seite 27–32

**ORTWIN RENN**

DIE GROBE VERUNSICHERUNG.  
ZUR RESONANZ GRÜNER GENTECHNIK  
IN DER DEUTSCHEN BEVÖLKERUNG

Die öffentliche Debatte um Gentechnik ist von Unsicherheiten und Unklarheiten geprägt. Im Fokus steht dabei ihr Einsatz in der Landwirtschaft. Wie lässt sich die mehrheitliche Skepsis gegenüber Lebensmitteln erklären, die mithilfe von Gentechnik produziert werden?

Seite 33–38

# EDITORIAL

Seit zehn Jahren erleben wir eine Revolution. Im August 2012 beschrieben die Mikrobiologin Emmanuelle Charpentier und die Biochemikerin Jennifer Doudna in der Zeitschrift „Science“ eine Methode, um mithilfe eines bakteriellen Abwehrsystems bestimmte DNA-Abschnitte zu schneiden: die „Genschere“ CRISPR/Cas9. Sie erlaubt einen relativ leicht zu handhabenden und vor allem punktgenauen Eingriff ins Erbgut, um einzelne Bausteine zu entfernen oder auszutauschen. Das gilt für alle Organismen, von Mikroorganismen über Pflanzen und Tiere bis hin zum Menschen, und eröffnet weiter reichende Möglichkeiten denn je. Eine Heilung von Erbkrankheiten scheint in greifbarer Nähe, ebenso ein klimaangepasster Getreideanbau.

Das neue Instrument der Genomeditierung bedeutet nicht nur einen enormen Fortschritt für die Gentechnik, bei deren klassischen Verfahren es vom Zufall abhängt, wo im Erbgut sich von außen eingebrachtes genetisches Material integriert. Es verschiebt auch den Diskursrahmen der öffentlichen Debatten rund um gentechnologische Anwendungen. So werden etwa vererbte Veränderungen des menschlichen Genoms für die Zukunft nicht mehr kategorisch ausgeschlossen, sofern ihre Sicherheit und Wirksamkeit gegen schwere Gendefekte gewährleistet ist; und in der EU könnten künftig einfach genomeditierte Nutzpflanzen, denen keine fremde Erbinformation übertragen wurde, regulatorisch wie ihre herkömmlich gezüchteten Verwandten behandelt werden.

In Deutschland und Europa sehen viele Menschen den Einsatz von Gentechnik mit Skepsis, wie auch mit Blick auf die Impfstoffe gegen Covid-19 deutlich geworden ist. Insbesondere bei der Produktion von Lebensmitteln reichen die Vorbehalte bis hin zu vehementer Ablehnung. Umso wichtiger ist ein breiter und sachlicher gesellschaftlicher Aushandlungsprozess zum gemeinwohlorientierten Umgang mit den Potenzialen und Risiken der bereits allgegenwärtigen Querschnittstechnologie. Denn Gentechnik wird weiter an Bedeutung gewinnen.

*Anne-Sophie Friedel*

# VON A WIE „ADENIN“ BIS Z WIE „ZÜCHTUNG“

## Eine Einführung in die Gentechnologie

*Juliette Irmer*

1953 wurde die wohl bedeutsamste Entdeckung der Biologie des 20. Jahrhunderts gemacht: Zwei jungen Wissenschaftlern, James Watson und Francis Crick, gelang es, die dreidimensionale Struktur der Erbsubstanz zu entschlüsseln: der DNA (*desoxyribonucleic acid*). Die Tragweite dieser Entdeckung kann nicht hoch genug eingeschätzt werden: Die DNA speichert die genetische Information der gesamten Biodiversität des Planeten. Das Molekül sorgt dafür, dass aus einem Tomatensamen eine Tomatenpflanze wächst und aus einem Hühnerei Küken schlüpfen – und das konstant: Tomaten wandeln sich nicht in Gurken und Hühner nicht in Adler. Das gilt für über 5000 Säugetier-, 10000 Vogel-, 400000 Pflanzen- und eine Million Insektenarten. Erst der Aufbau dieses einzigartigen Moleküls offenbarte, wie das gelingt, und seine Entschlüsselung legte auch den Grundstein für die Gentechnologie.

Davor hatten sich Wissenschaftler weltweit jahrzehntelang bemüht, den Genen auf die Spur zu kommen. Lange Zeit hatte man angenommen, dass Proteine die genetische Information speichern: In jeder Zelle eines Lebewesens befinden sich Tausende verschiedene Proteine, die unzählige biochemische Prozesse steuern. Die enorme Strukturvielfalt der Proteine schien am ehesten der Vielfalt an Arten und Merkmalen zu entsprechen.<sup>01</sup> Nukleinsäuren hingegen, die aus Zucker, Phosphat und den vier Basen Adenin und Thymin, Cytosin und Guanin bestehen, schienen viel zu simpel aufgebaut, um die Unterschiede des Lebens auf Erden erklären zu können.<sup>02</sup>

Zwar wurde schon um 1930 bewiesen, dass nur Nukleinsäuren die Träger der Erbinformation sein können, aber erst der Aufbau der DNA erklärte, wie diese Information gespeichert wird, nämlich in der unregelmäßigen Abfolge der vier Basen. Die Informationsmenge, die auf diese Weise gespeichert werden kann, ist unvorstellbar

groß: Für einen DNA-Abschnitt aus  $n$  Nukleotiden, den Grundbausteinen der DNA bestehend aus einer Base, Zucker und einem Phosphatrest, ergeben sich rund  $4^n$  Möglichkeiten. Betrachtet man ein Stück von 1000 Basenpaaren Länge, ergeben sich bereits  $4^{1000}$  Möglichkeiten. Die DNA der meisten Organismen besteht jedoch aus mindestens einer Million Basenpaaren. Selbst wenn wir heute wissen, dass nur ein kleiner Teil des Genoms wirklich aus Genen besteht, also aus jenen DNA-Abschnitten, die in Proteine übersetzt werden, macht das Zahlenbeispiel die Dimension der Speicherkapazität klar.

Die üppige Vielfalt der Organismen findet sich im Inneren der Zellen so nicht wieder. Auf molekularer Ebene gleichen sich alle Lebewesen: Sie nutzen dieselben Moleküle wie eben DNA, und Proteine sind vom Bakterium bis zum Menschen aus denselben 20 Aminosäuren aufgebaut. Auch die „Bauanleitung“, der sogenannte genetische Code, der die Übersetzung der genetischen Information in Proteine regelt, ist bis auf wenige Ausnahmen universell.

Diese Tatsache zeigt, dass alle Lebewesen einen gemeinsamen Ursprung haben. Sie ist außerdem die Grundlage der Gentechnologie: Ein menschliches Gen lässt sich in eine Maus oder eine Bakterienzelle übertragen, weil alle Lebewesen eine ähnliche „molekulare Sprache“ sprechen.

### MEILENSTEINE DER GENTECHNOLOGIE

Die Genetik als Wissenschaft begründete Gregor Johann Mendel 1865, als er mit seinen ausdauernden Kreuzungsversuchen mit gelben und grünen Erbsen den Genen und ihren Vererbungsmustern auf die Spur kam. Rund 100 Jahre später entwickelte sich aus dem Forschungsfeld unter anderem die Gentechnologie, also eine Reihe

unterschiedlicher Methoden, die zur Isolierung, Analyse und zur gezielten Veränderung der Erbsubstanz genutzt werden.

Nachdem die Struktur der DNA Mitte des 20. Jahrhunderts aufgeklärt worden war, folgten weitere Meilensteine: Wesentlich waren Ende der 1960er Jahre die Entdeckung der Restriktionsenzyme und der DNA-Ligasen, mit denen sich DNA an bestimmten Stellen schneiden und wieder verbinden ließ. 1973 gelang es Wissenschaftlern dann erstmalig, ein Stück Fremd-DNA in Bakterien zu übertragen und auf diese Weise stark zu vermehren – eine ganz wesentliche Voraussetzung, um DNA untersuchen zu können. Die sogenannte Klonierung wurde zu einer der gängigsten Methoden der Gentechnologie. Später folgte die PCR (*polymerase chain reaction*), mit der sich DNA *in vitro*, also ohne den Umweg über Wirtszellen wie Bakterien, vervielfältigen lässt.

Den Beginn einer neuen Ära markierte die Entschlüsselung der Basenabfolge der DNA, was lange Zeit als unmöglich galt. Heute ist die Sequenzierung von DNA Routine geworden, was auch den enormen Fortschritten in der Bioinformatik zu verdanken ist. Mithilfe des Next-Generation-Sequencings, ein Hochdurchsatzverfahren, können Genome mittlerweile in Tagen entschlüsselt werden, und das zu einem Bruchteil der Kosten. Zum Vergleich: Das Human Genome Project, die vollständige Sequenzierung des ersten menschlichen Genoms, dauerte 13 Jahre (1990–2003) und kostete drei Milliarden Euro.<sup>03</sup>

Den nächsten gewaltigen Schub erhielt die Gentechnologie 2012 mit der Entdeckung von CRISPR/Cas9, einem präzisen Genomeditierungsverfahren, besser bekannt als „Genschere“. Die Methode wird heute in allen Laboren rund um die Welt genutzt und hat die Biowissenschaften regelrecht revolutioniert. Die Entdeckerinnen Emmanuelle Charpentier und Jennifer Doudna wurden 2020 mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. CRISPR steht für *clustered regularly interspaced short palindromic repeats*, eine Art bakterielles Anti-Virus-Programm. Das im

Labor genutzte Verfahren besteht aus zwei miteinander gekoppelten Komponenten: einer sogenannten Guide-RNA, die spezifisch den vorgegebenen Ort im Erbgut ansteuert, und dem Enzym Cas9, das die DNA an jenem Ort schneidet. Die Präzision der DNA-Veränderung ist ein wesentlicher Unterschied zur klassischen Gentechnik, bei der neue Gene in Organismen eingebracht werden, allerdings ohne vorher bestimmen zu können, wo genau. Das birgt das Risiko, dass bestehende Gene zerstört werden, was unerwünschte Effekte mit teils verheerenden Folgen hervorrufen kann, vor allem in der Medizin. In der Landwirtschaft müssen gentechnisch veränderte Organismen auch deswegen ein aufwendiges Zulassungsverfahren durchlaufen, das ihre Sicherheit prüft.

In Europa steht ein großer Teil der Bevölkerung der Gentechnologie kritisch gegenüber. Vor allem die Erzeugung gentechnisch veränderter Lebensmittel stößt auf Ablehnung. Dabei ist Gentechnologie heute allgegenwärtig und wird in vielen Bereichen bereits seit Jahrzehnten eingesetzt. Die unterschiedlichen Anwendungsfelder werden den Farben Weiß, Rot und Grün zugeordnet.

## WEIßE GENTECHNOLOGIE

Als „weiße“ Gentechnologie bezeichnet man die Verwendung gentechnisch veränderter Mikroorganismen in der Industrie, um zahlreiche Substanzen etwa für Medikamente, Wasch- und Lebensmittel herzustellen.

Davon abzugrenzen sind klassische biotechnologische Verfahren, bei denen natürlich vorkommende Mikroorganismen oder Enzyme eingesetzt werden, die zum Teil seit Jahrhunderten im Dienste des Menschen stehen: etwa der Einsatz von Hefen in der Brot-, Bier- und Weinproduktion oder von Schimmelpilzen und Bakterien bei der Herstellung von Käse. Die Gentechnik hat die wirtschaftliche Verwendung von Mikroorganismen allerdings enorm befördert: Bakterien, Pilze und Hefen lassen sich gentechnisch gut optimieren, sodass ein Großteil der heute eingesetzten Organismen an industrielle Produktionsprozesse angepasst wurde. So kann man Mikroorganismen entweder ein gewünschtes Gen aus einem Spenderorganismus übertragen, oder man verändert ihren Stoffwechsel gentechnisch so,

**01** Vgl. Neil A. Campbell/Jane B. Reece, *Biologie*, Berlin 2003, S. 340f.

**02** Vgl. Hans Jörg Rheinberger, *Kurze Geschichte der Molekularbiologie*, in: Ilse Jahn (Hrsg.), *Geschichte der Biologie*, Jena 1998, S. 642–663, hier S. 644.

**03** Vgl. Juliette Irmer, *Vor seinen Genen braucht sich keiner zu fürchten*, 4. 4. 2018, [www.faz.net/15523431.html](http://www.faz.net/15523431.html).

dass sie eine gewünschte Substanz in viel größeren Mengen produzieren, als sie es natürlicherweise tun würden.

Weißer Gentechnologie erlaubt mit Blick auf den Verbrauch von Rohstoffen, Material und Energie eine kostengünstigere Herstellung vieler Produkte und ist im Vergleich zu Techniken der chemisch-synthetischen Herstellung umweltverträglicher.<sup>04</sup> Beispiele für Produkte, die aus gentechnisch veränderten Mikroorganismen gewonnen werden, sind etwa Aminosäuren, die Futtermitteln zugesetzt werden und sich in Geschmacksverstärkern und anderen Zusatzstoffen wie Glutamat in Fertigsuppen oder Cystein in Backwaren finden; Vitamin B12, dessen Ausbeute in einem gentechnisch veränderten Stamm *E.coli*-Bakterien um das 250-Fache gesteigert werden kann;<sup>05</sup> oder auch Hormone wie beispielsweise Humaninsulin zur Behandlung von Diabetes. Bis Anfang der 1980er Jahre das menschliche Insulin-Gen in Bakterien übertragen werden konnte, um es im großen Maßstab zu produzieren, wurde therapeutisches Insulin aus Bauchspeicheldrüsen von Schweinen und Rindern gewonnen.

Auch Biotreibstoffe können mithilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen gewonnen werden. Während Bioethanol üblicherweise aus Mais oder Zuckerrüben hergestellt wird und daher angesichts des Hungers in der Welt umstritten ist, können mittlerweile auch Pflanzenabfälle wie Stroh oder Holzreste eingesetzt werden. Dazu haben Forscher Hefen gentechnisch so verändert, dass sie neben der üblichen Glucose auch den Holzzucker Xylose vergären können. Aufgrund des jahrelang niedrigen Ölpreises konnte sich die Technologie bislang nicht durchsetzen.<sup>06</sup>

Etwa die Hälfte der rund 400 zugelassenen Enzyme in der EU wird mithilfe gentechnisch veränderter Mikroorganismen hergestellt.<sup>07</sup> Enzyme steuern den größten Teil der biochemi-

schen Reaktionen, von der Verdauung über den Energiestoffwechsel der Zellen bis hin zum Kopieren der Erbinformation. Sie wirken als biologische Katalysatoren, das heißt, sie beschleunigen chemische Reaktionen, und das alles unter lebensfreundlichen Bedingungen, also ohne hohe Temperaturen, Druck oder aggressive Chemikalien. Enzyme sind in vielen Alltagsprodukten enthalten, etwa in Waschmitteln, um Stärke, Fette und Eiweiße auch bei niedrigeren Waschartemperaturen abzubauen, in Zahnpasta oder Kosmetika. Sie bauen Milchzucker und Gluten für lactose- und glutenfreie Lebensmittel ab oder sorgen in Backwaren für Volumen und eine stabile Brotkrume.

Die mithilfe der weißen Gentechnologie gebildeten Zusatzstoffe fallen nach den EU-weit geltenden Rechtsvorschriften nicht unter die Kennzeichnungspflicht für gentechnisch veränderte Lebensmittel.

## ROTE GENTECHNOLOGIE

Als „rote“ Gentechnologie bezeichnet man den Einsatz der Gentechnologie in der Medizin. Die Anwendungsfelder reichen von der Herstellung von Medikamenten und Impfstoffen über diagnostische Methoden bis hin zur Genterapie. Auch die biomedizinische Grundlagenforschung profitiert stark von den Fortschritten der Gentechnologie. So lassen sich etwa an transgenen Tieren wie Fruchtfliegen, Zebrafischen und vor allem Mäusen, in deren Erbgut entweder artfremde Gene eingebracht oder Gene ausgeschaltet werden, die Funktion von Genen untersuchen.

In Deutschland sind derzeit 343 gentechnisch hergestellte **Arzneimittel und Impfstoffe** mit 303 Wirkstoffen zugelassen.<sup>08</sup> Dabei handelt es sich um unterschiedlichste Medikamente: Humaninsuline, Gerinnungshemmer, Enzyme und monoklonale Antikörper. Auch alle fünf in Deutschland zugelassenen Covid-19-Impfstoffe werden gentechnisch hergestellt.

In der **Diagnostik** kommt Gentechnologie zum Einsatz, um ein Gen oder einen Teil davon nachzuweisen. So können viele Erreger von Infektionskrankheiten mittels PCR nachgewiesen werden, indem ein spezifischer Genabschnitt des Erregers vervielfältigt wird. Das gelingt sowohl

**04** Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), *Weißer Biotechnologie. Chancen für eine biobasierte Wirtschaft*, Berlin 2015.

**05** Vgl. Huan Fang et al., *Metabolic Engineering of Escherichia coli for de novo Biosynthesis of Vitamin B12*, in: *Nature Communications* 9/2018, <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07412-6>.

**06** Vgl. Frank Grotelüschen, *Neue Hefen für Biokraftstoffe*, 28.3.2017, [www.deutschlandfunk.de/tolle-idee-was-wurde-daraus-neue-hefen-fuer-biokraftstoffe-100.html](http://www.deutschlandfunk.de/tolle-idee-was-wurde-daraus-neue-hefen-fuer-biokraftstoffe-100.html).

**07** Vgl. *Lebensmittel-Enzyme: Bei der Herstellung wird Gentechnik zum Standard*, 9.2.2022, [www.transgen.de/lebensmittel/1051.lebensmittelenzyme-gentechnisch-hergestellt.html](http://www.transgen.de/lebensmittel/1051.lebensmittelenzyme-gentechnisch-hergestellt.html).

**08** Siehe [www.vfa.de/gentech](http://www.vfa.de/gentech).

bei Viren wie SARS-CoV-2 und HIV als auch bei Bakterien wie Salmonellen oder Borrelien und spart Zeit, da die langwierige Anzucht der Erreger wegfällt.

Im Fall von Erbkrankheiten können mithilfe von Genanalysen monogene Erkrankungen nachgewiesen werden, die durch Mutationen, also kleine DNA-Veränderungen, in einem einzelnen Gen ausgelöst werden. Schon eine kleine Mutation kann zum Funktionsverlust des entsprechenden Proteins führen. Auch bei erblichen Tumorerkrankungen kommen Genanalysen bei der Diagnose zum Einsatz, aber auch in der Prävention. Frauen, die beispielsweise Mutationen im BRCA1- oder BRCA2-Gen (Breast Cancer Gene) aufweisen, haben ein stark erhöhtes Risiko an Brust- und/oder Eierstockkrebs zu erkranken, weil die entsprechenden Proteine eine wichtige Funktion bei der Reparatur von Zellschäden spielen. Beim Vorliegen einer solchen Mutation kann daher die Entfernung des Brustdrüsengewebes sowie der Eierstöcke angeraten sein, um eine Erkrankung zu verhindern. Im Idealfall führt eine entsprechende Diagnose zu einer Behandlungsstrategie, die Chancen auf Heilung oder zumindest Linderung bietet. In der Realität existiert aber eine zunehmend größer werdende Kluft zwischen immer mehr nachweisbaren Erkrankungen und fehlenden Therapien.<sup>09</sup> Besonders umstritten ist die Pränataldiagnostik, bei der das ungeborene Kind auf genetisch nachweisbare Krankheiten untersucht wird.

Ferner können Erbgutanalysen im Bereich der personalisierten Medizin bei einigen Erkrankungen, vor allem bestimmten Krebsarten, zur Wahl der geeigneten Therapie herangezogen werden. In manchen Fällen kann so vorhergesagt werden, ob eine Person von der Therapie profitiert oder nicht, sodass ihr wirkungslose Therapien und Nebenwirkungen erspart werden können.<sup>10</sup>

Beim gentechnologischen Anwendungsfeld der **Gentherapie** ist die zugrundeliegende Idee bestechend einfach: Vielen Krankheiten liegt ein Genfehler zugrunde, der das entsprechende Protein funktionslos macht. Bei der klassischen Gentherapie versucht man, das fehlerhafte Gen durch ein intaktes zu ersetzen, sodass die Zelle wieder

in der Lage ist, das Protein korrekt zu produzieren. Das Spektrum möglicher Anwendungen reicht heute von der Therapie seltener Erbkrankheiten bis zur Behandlung bestimmter Krebsarten (CAR-T-Zelltherapie). In der EU sind bislang elf sogenannte somatische Gentherapien zugelassen. Das heißt, sie betreffen nur das Individuum. Davon zu unterscheiden ist die umstrittene und in Deutschland bislang verbotene Keimbahntherapie, bei der auch Ei- und Spermienzellen verändert werden, sodass die Veränderung an Nachkommen weitergegeben wird.<sup>11</sup>

Seit einigen Jahren greifen Forscher auf die Methoden der Genomeditierung zurück, insbesondere auf die Genschere CRISPR/Cas9, die noch präzisere Eingriffe ermöglichen soll, indem Erbgutdefekte direkt vor Ort in der Zelle repariert werden. Die Weltgesundheitsorganisation listet in ihrer Human Genome Editing Registry 139 klinische Studien auf.<sup>12</sup> In den vergangenen Jahren wurden auf diese Weise einige Fortschritte erzielt: Mehrere Patienten mit  $\beta$ -Thalassämie und Sichelzellanämie wurden erfolgreich behandelt. Bedeutend sind auch zwei Studien zur Anwendung der Genschere direkt in Patienten, um eine Augenerkrankung und ein Leberleiden zu lindern. Die Zwischenergebnisse stimmen weitgehend optimistisch. Experten betonen aber, dass man die möglichen Spätfolgen einer solchen Gentherapie, etwa *Off-target*-Effekte, also Fehlschnitte der Genschere, noch nicht beurteilen kann.

Eine der größten Hürden auch der CRISPR-Gentherapie bleibt der Transport der fehlerfreien Ersatzgene oder der Reparaturwerkzeuge in die Zellen. Denn um einen Gendefekt zu korrigieren, müssen Millionen Zellen erreicht werden. In der Regel nutzen Forscher dazu harmlose gentechnisch veränderte Viren als Transporter, doch diese werden vom Immunsystem häufig abgefangen. Viele Organe können deswegen noch nicht angesteuert werden, das heißt, viele Erkrankungen noch nicht therapiert werden.<sup>13</sup>

<sup>11</sup> Vgl. Deutsches Referenzzentrum für Ethik in den Biowissenschaften, Im Blickpunkt: Somatische Gentherapie, November 2020, [www.drze.de/im-blickpunkt/somatische-gentherapie](http://www.drze.de/im-blickpunkt/somatische-gentherapie).

<sup>12</sup> Siehe [www.who.int/groups/expert-advisory-committee-on-developing-global-standards-for-governance-and-oversight-of-human-genome-editing/registry](http://www.who.int/groups/expert-advisory-committee-on-developing-global-standards-for-governance-and-oversight-of-human-genome-editing/registry).

<sup>13</sup> Vgl. Juliette Irmer, Reparatur am Erbgut: Gibt es bald einen lang ersehnten Durchbruch? 24.6.2022, <https://magazin.nzz.ch/d.1689960>.

<sup>09</sup> Vgl. Juliette Irmer, Kommerzielle Gentests stehen auf sehr dünnen Beinen, 11.2.2019, [www.tagesanzeiger.ch/918051829330](http://www.tagesanzeiger.ch/918051829330).

<sup>10</sup> Vgl. dies., Der gläserne Tumor, 30.1.2019, [www.spektrum.de/news/1620754](http://www.spektrum.de/news/1620754).

Die zunehmenden Fortschritte rufen vielfältige ethische Fragen hervor, auch solche der Finanzierbarkeit. Vergleichbare Therapien können bis zu zwei Millionen US-Dollar kosten, was die Möglichkeiten solidarisch finanzierter Gesundheitssysteme sprengt. Und spätestens seit Ende 2018 die Nachricht um die Welt ging, dass ein Wissenschaftler in China Embryonen mit CRISPR/Cas9 verändert hat und dies zur Geburt von zwei Mädchen führte, fallen Eingriffe in die menschliche Keimbahn nicht länger ins Reich der Science-Fiction.

Tatsächlich entfällt das grundsätzliche Transportproblem weitgehend, wenn man Embryonen im Frühstadium behandelt: Die Reparaturwerkzeuge müssen dann nicht in Millionen Zellen eingeschleust werden, sondern nur in eine Handvoll. Gendefekte ließen sich so leichter korrigieren, sie wären dann aber vererbbar. In vielen Ländern sind solche Eingriffe verboten. Neben grundsätzlichen ethischen Bedenken existieren auch handfeste medizinische, da die Verfahren unausgereift und die Langzeitfolgen nicht absehbar sind. Dennoch ist eine Grenzverschiebung auszumachen: Die internationale Kommission zum klinischen Einsatz von Genomeditierung in der Keimbahntherapie und auch der Deutsche Ethikrat schließen einen Keimbahneingriff – Sicherheit und Wirksamkeit vorausgesetzt – bei schweren Gendefekten in Zukunft nicht mehr kategorisch aus.<sup>14</sup>

## GRÜNE GENTECHNOLOGIE

Als „grüne“ Gentechnologie bezeichnet man den Einsatz der Gentechnologie in der Landwirtschaft. Mittlerweile muss man auch hier zwischen klassischer Gentechnik und Genomeditierung unterscheiden. Bei der klassischen Gentechnik werden ein oder mehrere Gene aus einem artfremden Organismus in eine Nutzpflanze eingeschleust, etwa ein bakterielles Gen für Herbizidtoleranz. Wo sich das oder die Gene in das Erbgut einfügen, kann nicht vorherbestimmt werden. Die betreffende Pflanze wird als „transgen“ bezeichnet oder als „gentechnisch veränderter Organismus“ (GVO). Mithilfe der Genomeditierung, vor

allem mit CRISPR/Cas9, lässt sich das Erbgut von Nutzpflanzen direkt und punktgenau verändern: Es können einzelne Basen ausgetauscht werden, größere Abschnitte verändert oder auch ganze Gene eingefügt werden.

Die erste gentechnisch veränderte Frucht kam 1994 in den USA auf den Markt: die Anti-Matsch-Tomate. Inzwischen werden transgene Nutzpflanzen weltweit in 29 Ländern auf rund 190 Millionen Hektar angebaut, was etwa der fünffachen Fläche Deutschlands und zwölf Prozent der weltweiten Anbaufläche entspricht (Stand 2019). Hauptanbauggebiete sind die USA, Brasilien, Argentinien, Indien und Kanada. Auf sie entfallen 91 Prozent des globalen Anbaus. Hauptsächlich werden herbizidtolerante und/oder insektenresistente Sorten wie Mais, Baumwolle, Soja und Raps angebaut, außerdem einige andere Pflanzenarten wie Zuckerrüben, Papaya, Zucchini und Auberginen.<sup>15</sup>

Das Aufkommen der grünen Gentechnik wurde von einer breiten gesellschaftlichen Diskussion über mögliche Risiken für Umwelt und Gesundheit begleitet. In Deutschland wurde 1990 ein Gesetz zur Regelung der Gentechnik erlassen, um Menschen, Tiere und Umwelt vor möglichen schädlichen Auswirkungen der Gentechnik zu schützen und einen rechtlichen Rahmen für ihre Erforschung, Entwicklung, Nutzung und Förderung zu schaffen. Mittlerweile gibt es rund 30 Jahre Erfahrung mit dem Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen, in denen Hunderte Studien zu möglichen negativen Auswirkungen vorgelegt wurden. Die Schlussfolgerung über zahlreiche Studien hinweg lautet:<sup>16</sup> Von gentechnisch veränderten Pflanzen geht kein höheres Risiko aus als von Pflanzen, die durch konventionelle Züchtungstechniken erzeugt wurden.<sup>17</sup>

So ist etwa das Allergierisiko beim Konsum transgener Pflanzen nicht höher als bei konventionell gezüchteten neuen Sorten.<sup>18</sup> Richtig ist,

<sup>14</sup> Vgl. Internationale Empfehlungen zur Geneditierung in der Keimbahntherapie, 4.9.2020, [www.sciencemediacenter.de/angebote/rapid-reaction/details/news/internationale-empfehlungen-zur-geneditierung-in-der-keimbahntherapie](http://www.sciencemediacenter.de/angebote/rapid-reaction/details/news/internationale-empfehlungen-zur-geneditierung-in-der-keimbahntherapie).

<sup>15</sup> Vgl. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications, Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier, ISAAA Brief 55/2019, Executive Summary.

<sup>16</sup> Vgl. BMBF, 25 Jahre BMBF-Forschungsprogramme zur biologischen Sicherheitsforschung. Umweltwirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen, Bonn 2014.

<sup>17</sup> Vgl. Wie sicher ist Grüne Gentechnik für Umwelt und Gesundheit?, [www.leopoldina.org/wissenschaft/gruene-gentechnik/gruene-gentechnik-sicherheit](http://www.leopoldina.org/wissenschaft/gruene-gentechnik/gruene-gentechnik-sicherheit).

<sup>18</sup> Vgl. Irmer (Anm. 9).



dass der Anbau transgener Pflanzen zu Resistenzproblemen führen kann, also zu Unkräutern, die eine Widerstandsfähigkeit gegen das gespritzte Herbizid entwickeln, oder zu Schadinsekten, denen das von der Pflanze produzierte Insektizid nichts mehr anhaben kann. Das ist jedoch vor allem auf die Art und Weise zurückzuführen, wie Landwirtschaft betrieben wird: Setzt man große Mengen des gleichen Herbizids ein, fördert das die Entwicklung resistenter Unkräuter, so wie der Einsatz großer Mengen Antibiotika die Entstehung resistenter Bakterien fördert. So kämpft auch die Landwirtschaft in Deutschland mit herbizidresistenten Unkräutern, obwohl hierzulande keine transgenen Pflanzen angebaut werden.<sup>19</sup> Und mit Blick auf den Anbau insektenresistenter Pflanzen zeigen zahlreiche Studien, dass sich gängige Insektizide stärker auf die Artenzusammensetzung und -dichte auswirken. In vielen Fällen können mit gentechnisch veränderten Pflanzen Pflanzenschutzmittel eingespart werden, und der Ertrag ist höher.<sup>20</sup>

In Europa hat die grüne Gentechnik dennoch einen schweren Stand. Nur Spanien und Portugal bauen die insektenresistente Maissorte MON810 an – die einzige gentechnisch veränderte Pflanze, die in der EU angebaut werden darf. Ihre Zulassung stammt aus dem Jahr 1998. Das bedeutet nicht, dass keine transgenen Pflanzen in der EU verwendet werden: Aktuell sind 89 unterschiedliche gentechnisch veränderte Pflanzensorten (Mais, Soja, Baumwolle, Raps und Zuckerrüben) zur Einfuhr in die EU zugelassen und dürfen als Lebens- und Futtermittel vermarktet werden.<sup>21</sup> So hat die EU von 2013 bis 2015 im Jahresdurchschnitt rund 36 Millionen Tonnen Soja importiert,<sup>22</sup> hauptsächlich aus den GVO-Hauptanbaugebieten USA, Brasilien und Kanada. Genutzt wird Soja unter anderem, um Kühe, Schweine oder Hühner zu füttern. Deren Milch,

Fleisch oder Eier fallen anschließend nicht unter die übliche Kennzeichnungspflicht für gentechnisch veränderte Lebensmittel.<sup>23</sup>

Neu angefacht wurde die Debatte um die grüne Gentechnik in Deutschland und Europa durch die neuen Methoden der Genomeditierung, allen voran CRISPR/Cas9. Das Potenzial für die Pflanzenzucht ist groß, denn die Genomeditierung ist so präzise und vorhersagbar wie noch keine Methode zuvor. Die Ziele der Pflanzenzucht sind seit gut 10 000 Jahren die gleichen: Nutzpflanzen sollen einen hohen Ertrag bringen und Schädlingen und Krankheiten trotzen – mit CRISPR/Cas9 kommt man nur schneller und günstiger ans Ziel, denn es lassen sich einzelne Mutationen zielgerichtet einbringen. So hoffen Wissenschaftler und Pflanzenzüchter, mithilfe der Genomeditierung klimaresilientere und robustere Pflanzen zu züchten, die beispielsweise Dürre besser aushalten und weniger Pflanzenschutzmittel benötigen. Die konventionelle Pflanzenzucht und auch die klassische Gentechnik stoßen bei so komplexen Merkmalen wie etwa Dürretoleranz, die von vielen Genen gesteuert werden, an Grenzen. Auch CRISPR/Cas9 ist kein Wunderwerkzeug, mit dem sich flugs solche Eigenschaften in Pflanzen einbauen lassen, aber deutlich versatiler.<sup>24</sup>

Der Streit entbrennt an der Frage, wie genomeditierte Nutzpflanzen eingeordnet werden sollen. Wissenschaftliche Institutionen plädieren für eine Gleichsetzung mit Produkten der klassischen Züchtung – solange es sich um kleine Veränderungen handelt, die nur einzelne Gene betreffen und natürlicherweise hätten entstehen können.<sup>25</sup> Tatsächlich sind solche Mutationen der Motor der Evolution, sie entstehen natürlicherweise fortlaufend in allen Organismen. Genomeditierte Pflanzen, bei denen größere Erbgutabschnitte verändert wurden, oder solche, die ein Fremdgen tragen, sollen weiterhin als GVO klassifiziert werden. Um die Forderung einordnen zu können, muss man sich die Methoden der traditionellen Pflanzenzucht vor Augen führen,

**19** Vgl. Julius Kühn-Institut, Entstehung und Management von herbizidresistenten Unkräutern und Ungräsern im Ackerbau, November 2019, [www.julius-kuehn.de/media/Veroeffentlichungen/Flyer/Herbizidresistenz\\_unvermeidbar.pdf](http://www.julius-kuehn.de/media/Veroeffentlichungen/Flyer/Herbizidresistenz_unvermeidbar.pdf).

**20** Vgl. Wilhelm Klümper/Matin Qaim, A Meta-Analysis of the Impacts of Genetically Modified Crops, in: Plos One 2013, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0111629>.

**21** Siehe [https://webgate.ec.europa.eu/dyna/gm\\_register/index\\_en.cfm](https://webgate.ec.europa.eu/dyna/gm_register/index_en.cfm).

**22** Vgl. Sechs Dinge, die Sie über GVO wissen sollten, 27.10.2015, [www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20151013STO97392](http://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20151013STO97392).

**23** Vgl. Lebensmittel in Deutschland grundsätzlich gentechnikfrei, [www.bundesregierung.de/-/348862](http://www.bundesregierung.de/-/348862).

**24** Vgl. Juliette Irmer, Bremse oder Vollgas in der Pflanzen-Gentechnik, 7.1.2020, [www.spektrum.de/news/1695742](http://www.spektrum.de/news/1695742).

**25** Vgl. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften/Deutsche Forschungsgemeinschaft (Hrsg.), Wege zu einer wissenschaftlich begründeten, differenzierten Regulierung genomeditierter Pflanzen in der EU. Stellungnahme, Halle/S. 2019.

die sogenannte ungerichtete Mutagenese: Dabei werden Keime mit Chemikalien und ionisierender Strahlung behandelt, um Hunderte Mutationen auszulösen. Das Gros dieser Mutationen ist unbedeutend, einige führen zu negativen Eigenschaften und einige zu positiven. Mithilfe der ungerichteten Mutagenese sind in Jahrzehnten über 2000 Obst- und Gemüsesorten entstanden, etwa die hübschen rosafarbenen Grapefruits.

Der Europäische Gerichtshof entschied im Juli 2018, dass alle genomeditierten Pflanzen unter das EU-Gentechnikgesetz fallen, also auch jene minimal veränderten ohne fremde Erbinformation. Formal betrifft das auch Pflanzen, die durch Verfahren der ungerichteten Mutagenese erzeugt wurden. Hier jedoch macht das Gericht eine Ausnahme und erklärt solche altbewährten Methoden für sicher. Dabei gibt es keine wissenschaftlichen Hinweise darauf, dass die Methoden der Genomeditierung mit spezifischen Risiken verbunden sind, wie auch die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina, die Deutsche Forschungsgemeinschaft und die Union der deutschen Akademien der Wissenschaften 2019 in einer gemeinsamen Stellungnahme zur Regulierung genomeditierter Pflanzen betont haben.<sup>26</sup>

Derweil schlagen viele Länder einen anderen Weg ein: In den USA, Kanada, Australien, Japan, Brasilien, Argentinien, Israel und neuerdings auch Indien gelten einfach genomeditierte Nutzpflanzen, die keine fremde Erbinformation tragen und unter natürlichen Bedingungen durch zufällige Mutation hätten entstehen können, nicht als gentechnisch verändert: Sie sind konventionell gezüchteten Pflanzen gleichgesetzt. Die langwierigen und mit hohen Kosten verbundenen Sicherheitsprüfungen für transgene Pflanzen entfallen.

<sup>26</sup> Siehe ebd.

<sup>27</sup> Vgl. Genome Editing: Lockerungen überall, 7.4.2022, [www.transgen.de/aktuell/2853.genome-editing-pflanzen-regulierung-weltweit.html](http://www.transgen.de/aktuell/2853.genome-editing-pflanzen-regulierung-weltweit.html). Siehe auch <https://crispr-gene-editing-regstracker.geneticliteracyproject.org>.

<sup>28</sup> Vgl. Martin Wiehl, Genbasierte Impfstoffe: Gute Argumente gegen Skepsis, in: Deutsches Ärzteblatt 21/2021, S. A1054–A1058, [www.aerzteblatt.de/archiv/219240](http://www.aerzteblatt.de/archiv/219240).

<sup>29</sup> Vgl. Fakt oder Vorurteil? Häufige Aussagen über Grüne Gentechnik auf dem Prüfstand, [www.leopoldina.org/wissenschaft/gruene-gentechnik/gruene-gentechnik-vorurteile](http://www.leopoldina.org/wissenschaft/gruene-gentechnik/gruene-gentechnik-vorurteile); Europaweite Umfrage: öffentliche Unterstützung für verantwortungsvolle Innovation in den Biowissenschaften und -technologien, 11.11.2010, [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP\\_10\\_1499](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_10_1499).

Auch Großbritannien, die Schweiz und China haben angekündigt, den Umgang mit einfach genomeditierten Nutzpflanzen zu erleichtern.<sup>27</sup>

Die meisten dieser Länder bewerten die Risiken des Endprodukts. In Europa hingegen steht das Verfahren im Vordergrund, also der Entstehungsprozess einer Pflanze. Das könnte sich ändern: Nachdem auch die in der EU für die Lebensmittelsicherheit zuständige Behörde EFSA 2021 zu dem Schluss gekommen ist, dass mit der Anwendung der Genomeditierung keine neuartigen Risiken verbunden sind, hat die EU verkündet, das Gentechnikgesetz „an den wissenschaftlichen und technischen Fortschritt anpassen“ zu wollen. Mitte 2023 wird die EU-Kommission einen ersten Vorschlag dazu vorlegen.

## AUSBLICK

Mehr denn je ist der Mensch heute in der Lage, gezielt in das Erbgut von Organismen einzugreifen, von Mikroorganismen über Pflanzen und Tiere bis zu sich selbst. Vielen Menschen ist das nicht geheuer, so lehnen gerade in Europa große Teile der Bevölkerung den Einsatz von Gentechnologie ab, vor allem wenn es um die Erzeugung von Lebensmitteln geht. Aber auch die Covid-19-Impfstoffe wurden teils als „experimentelle Genterapie“ verunglimpft.<sup>28</sup> Gleichzeitig zeigt die Meinungsforschung, dass ein großes Informationsdefizit rund um das Thema Biotechnologie existiert.<sup>29</sup>

Die enormen methodischen Fortschritte innerhalb des Forschungsfelds lassen allerdings nur eine Schlussfolgerung zu: Die Gentechnologie wird weiter an Bedeutung gewinnen. Gerade in der Landwirtschaft könnte die Genomeditierung eine schnellere Anpassung der Nutzpflanzen an den Klimawandel ermöglichen und so zur Ernährungssicherheit der nächsten Generationen beitragen. Voraussetzung dafür ist die gesellschaftliche Akzeptanz der neuen Technologien. Umso wichtiger ist es, die Öffentlichkeit sachlich über die Chancen und Risiken dieser potenten Technologie in den unterschiedlichen Anwendungsbereichen zu informieren.

## JULIETTE IRMER

ist Diplom-Biologin und Wissenschaftsjournalistin.

[www.julietteirmer.de](http://www.julietteirmer.de)

# AM ANFANG WAR DIE ERBSE

## Kleine Geschichte der Gentechnik und ihrer Rezeption

*Samia Salem*

Gentechnologie beschreibt das gezielte „Verfahren zur In-vitro-Rekombination von genetischem Material (DNA) und dessen identischer Reproduktion in einem geeigneten Wirtssystem“. <sup>01</sup> Entscheidend ist hierbei die gezielte Rekombination genetischen Materials: Gentechnik stellt neue, nicht von Natur aus in einem Organismus vorhandene Kombinationen genetischer Information her, die insbesondere im Bereich der Medizin (rote Gentechnik) und der Landwirtschaft (grüne Gentechnik) ihre Anwendung finden.

Die Rezeption der Gentechnik ist seit ihren Anfängen nicht nur durch den gentechnologischen Fortschritt selbst, sondern immer wieder auch durch Diskurse um andere Technologien geprägt. Dies betrifft insbesondere den medizinischen Anwendungsbereich der Gentechnik, dem vielfach Anwendungen beispielsweise der Bio- und Reproduktionstechnik zugeschrieben wurden.

### VON DER GENETIK ZUR GENTECHNIK

Zu den frühen Wegbereitern der Gentechnik zählt der Augustinermönch Johann Gregor Mendel als Begründer der klassischen Genetik. Er steht mit seinem Aufsatz „Versuche über Pflanzen-Hybriden“ aus dem Jahr 1866 am Beginn einer im heutigen Verständnis wissenschaftlichen Vererbungslehre. Infolge zahlreicher Kreuzungsversuche an Erbsen beschrieb er feste Regeln, nach denen Erbmerkmale weitergegeben werden. Der Aufsatz blieb zunächst unbeachtet und wurde erst im Jahr 1900 von den Botanikern Carl Correns und Erich von Tschermak-Seysenegg sowie dem Biologen Hugo de Vries wiederentdeckt. 1902 erkannte der Biologe William Bateson, dass die von Mendel aufgestellten Regeln auch auf Tiere übertragbar waren und prägte für die Vererbungslehre den Begriff „Genetik“. Noch im selben Jahr er-

brachte der amerikanische Arzt William Curtis Farabee den Nachweis über die Anwendbarkeit der Mendelschen Regeln auf den Menschen. <sup>02</sup>

Wesentliche Erkenntnisse über die Vererbungsmechanismen und auch den Nachweis einer linearen Anordnung der Gene auf den Chromosomen brachten die 1910 beginnenden Versuche des Zoologen Thomas Hunt Morgan mit der Frucht- beziehungsweise Taufliege *Drosophila* als genetischem Modellorganismus – eine Arbeit, die 1933 mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet wurde.

Die Mitte der 1930er Jahre begonnenen Forschungen zu Genanalysen mündeten 1944 im Nachweis über die DNA als Trägerin der genetischen Information durch den Mediziner Oswald Theodore Avery, den Genetiker Colin MacLeod und den Biologen Maelyn McCarty. 1953 entschlüsselten die Molekularbiologen Francis Crick und James Watson die Doppelhelix-Struktur der DNA und wurden dafür neun Jahre später ebenfalls mit dem Nobelpreis ausgezeichnet.

Auch in den 1960er Jahren ebnete eine Vielzahl wegweisender und mit Nobelpreisen ausgezeichneter Arbeiten den Weg für die Gentechnik. So gelang den Biochemikern Marshall Warren Nirenberg, Heinrich Matthaei, Har Gobind Khorana und Severo Ochoa die Aufklärung des genetischen Codes, also der wesentlichen Bestandteile des genetischen Alphabets und der Kodierung von Aminosäuren über Triplets von Nukleotiden. Der Physiologe und Genetiker François Jacob und der Biochemiker Jacques Lucien Monod entwickelten 1961 ein Modell, um die Regulation der Genaktivität durch Eiweißstoffe zu erklären und prägten in diesem Kontext den Begriff des „Operons“ als einer Funktionseinheit der DNA. <sup>03</sup>

Die bedeutenden Erkenntnisse der Genetik und Molekularbiologie blieben der Öffentlichkeit nicht lange verborgen. 1962 stellte das Symposium „Man and his future“ der Ciba-Stiftung in

London bereits humangenetische Erkenntnisse in den Fokus. Die Veranstaltung, zu deren Teilnehmern 27 Wissenschaftler zählten,<sup>04</sup> darunter sechs Nobelpreisträger, gilt heute als Ausgangspunkt für die weltweiten Diskussionen um die Gentechnik. Basierend auf der Grundannahme, dass die krisenhafte Entwicklung der Welt im Kontext des starken Bevölkerungswachstums und der drohenden Erschöpfung natürlicher Rohstoffquellen auf durch Mutationen ausgelöste genetische Fehler der menschlichen Population zurückgehe, gingen die Konferenzteilnehmer davon aus, dass das genetische Material einer sich unkontrolliert vermehrenden Menschheit akut gefährdet sei, und diskutierten Maßnahmen zur Verbesserung seiner Qualität durch künstliche Veränderungen am menschlichen Erbgut. Dazu zählten neben eugenischen Maßnahmen auch erste, in ihrer technologischen Umsetzung jedoch noch völlig unkonkrete Ideen einer zukünftigen Gentechnik. So sprach sich der Biologe Hermann Muller für ein Verfahren aus, das planmäßige Umwandlungen des menschlichen Erbguts durch „Nanopadeln“ erlaube.<sup>05</sup> Auch der Genetiker Joshua Lederberg erwartete für die kommenden Generationen technologische Möglichkeiten zur Züchtung von Keimzellen zum „Auswechseln von Chromosomensegmenten“, worauf „die direkte Kontrolle von Nukleinsäurefolgen in menschlichen Chromosomen gemeinsam mit dem Erkennen der Selektion und Integration der gewünschten Gene“ folgen sollte.<sup>06</sup>

Außerhalb des Symposiums blieben die Visionen einer zukünftigen Gentechnik unter den Fachwissenschaftlern in der Folge weitgehend unbeachtet. Jedoch regten die Veröffentlichungen der Beiträge eine breite Diskussion insbesondere ethischer Fragen der Gentechnik an, noch ehe sie selbst zur Realität geworden war.<sup>07</sup> In der

Bundesrepublik ging die Kritik an den Symposiumsbeiträgen vor allem von den Humangenetikern aus, die Manipulationen des menschlichen Erbanlagenbestands generell ablehnten, nicht zuletzt aufgrund der augenscheinlichen Parallelen zwischen den Begründungen für solche Eingriffe und den eugenischen Maßnahmen des „Dritten Reiches“.<sup>08</sup>

Ende der 1960er Jahre schritten die Entwicklungen voran, und dem Mikrobiologen Jonathan Beckwith gelang erstmals die Isolierung eines einzelnen Gens aus dem Erbgut des Darmbakteriums *Escherichia Coli*. Zur selben Zeit entdeckten die Molekularbiologen und Biochemiker Werner Arber, Daniel Nathans und Hamilton Othanel Smith Restriktionsenzyme, mit denen DNA-Fragmente gezielt hergestellt und isoliert sowie zu neuen Kombinationen wieder zusammengesetzt werden konnten. Damit waren die Werkzeuge der Gentechnologie molekularisiert und der Weg bereitet für das erste gentechnische Experiment: 1972 übertrug der Biochemiker Paul Berg die DNA eines afrikanischen Krallenfrosches erfolgreich in *Escherichia Coli* und stellte darüber sogenannte rekombinante DNA her.

Die Entdeckung von Polymerasen, Restriktionsenzymen, Ligasen und Plasmiden – den molekularen Schneide-, Klebe- und Übertragungswerkzeugen – ermöglichte zu Beginn der 1970er Jahre nicht nur die In-vitro-Synthese von Makromolekülen, sondern auch eine gezielte In-vitro-Manipulation der Erbsubstanz und somit eine Gentechnologie im engeren Sinne.<sup>09</sup>

Erste medizinische und wirtschaftliche Erfolge verzeichnete die Gentechnik Mitte der 1970er Jahre. Der Biochemiker Herbert Boyer und der Investor Robert Swanson gründeten im April 1976 die Genentech Inc., das weltweit erste Biotechnologieunternehmen. 1977 brachte das Unternehmen das erste mithilfe rekombinanter DNA hergestellte humane Wachstumshormon Somatostatin auf den Markt. Nur fünf Jahre später ermöglichten die Arbeiten des Molekularbiologen Howard Goodmans und des Biochemikers William Rutters an der University of California in San Francisco die Isolierung der für die Steu-

**01** Vgl. Karl Brand, Taschenlexikon der Biochemie und Molekularbiologie, Heidelberg–Wiesbaden 1992, S. 103.

**02** Vgl. Heinrich Zankl, Genetik, München 1998, S. 12.

**03** Vgl. ebd., S. 14.

**04** Es handelte sich ausschließlich um männliche Teilnehmer.

**05** Vgl. Hermann J. Muller, Genetischer Fortschritt durch planmäßige Samenwahl, in: Robert Jungk/Hans Josef Mundt (Hrsg.), Das umstrittene Experiment: Der Mensch, München 1966, S. 277–291, hier S. 285, S. 290.

**06** Vgl. Joshua Lederberg, Die Biologische Zukunft des Menschen, in: ebd., S. 292–301, hier S. 293f.

**07** Vgl. die Originalveröffentlichung Gordon Wolstenholme (Hrsg.), Man and His Future, London 1963 sowie deren deutsche Übersetzung Jungk/Mundt (Anm. 5).

**08** Vgl. Samia Salem, Die öffentliche Wahrnehmung der Gentechnik in der Bundesrepublik Deutschland seit den 1960er Jahren, Stuttgart 2013, S. 44.

**09** Vgl. Hans-Jörg Rheinberger/Staffan Müller-Wille, Vererbung, Frankfurt/M. 2009, S. 242f.

erung der Insulinproduktion verantwortlichen Gene aus Rattenzellen. Sie fertigten eine biochemische Kopie (*cloning*) der Gene und fügten diese in *Escherichia-Coli*-Bakterien ein, die das Insulin-Gen an ihre Nachkommen vererbten. Auf Basis dieser Methode produzierte Genentech ab 1982 humanes Insulin als erstes gentechnisch hergestelltes Medikament.

## SICHERHEITSFragen

Zeitgleich sorgten die Möglichkeiten zur Genübertragung zwischen verschiedenen Spezies und damit das Überschreiten von Artengrenzen für zunehmende Besorgnis unter den Forschenden. Da nur wenige Molekularbiolog\*innen eine Ausbildung in medizinischer Mikrobiologie und damit im Umgang mit pathogenen Stoffen erfahren hatten, erwuchs schon bald die öffentliche Forderung, das epidemiologische Gefahrenpotenzial zu prüfen. Ausgelöst durch ein Experiment zur Einbringung von Chromosomen eines Tumovirus in einen *Escherichia-Coli*-Bakterienstamm,<sup>10</sup> begannen die an den Forschungen beteiligten Wissenschaftler\*innen, im Rahmen von Fachkonferenzen über die Sicherheit der neuen Technologie sowie die Verhinderung einer Freisetzung von Labororganismen zu diskutieren.

Das erste Treffen zur originären Erörterung von Sicherheitsfragen fand im Januar 1973 im Asilomar-Konferenzzentrum in Kalifornien statt und erhielt außerhalb der wissenschaftlichen Community wenig Aufmerksamkeit. Ein halbes Jahr später beschlossen die seinerzeit führenden Biochemiker\*innen im Rahmen der Gordon-Konferenz „Nucleic Acids“ in New Hampton, mit ihren Bedenken an die Öffentlichkeit zu gehen.<sup>11</sup> Als Ko-Vorsitzende der Konferenz verfassten Maxine Singer von den National Institutes of Health und Dieter Söll vom Department of Molecular Biophysics and Biochemistry der Yale University im Juli 1973 einen Brief an den Präsidenten der National Academy of Sciences, Philip Handler, der bereits zwei Monate darauf in der Zeitschrift „Science“ unter dem Titel „Guidelines for DNA Hybrid Molecules“ veröffentlicht wurde. Singer und Söll regten im Namen der Konferen-

zenteilnehmer\*innen die Einrichtung einer Kommission an, die die geäußerten Bedenken prüfen und gegebenenfalls notwendige Maßnahmen oder Richtlinien herausgeben sollte.<sup>12</sup>

Im Februar 1975 erklärten die 150 teilnehmenden Wissenschaftler\*innen der zweiten Asilomar-Konferenz in ihrem Schlussbericht Forschungen mit bestimmten hochpathogenen Stoffen als grundsätzlich unzulässig,<sup>13</sup> während für entsprechende Experimente eine vierstufige Sicherheitsskala eingeführt wurde. Der Bericht wurde in vielen Ländern zur Grundlage für erste Sicherheitsregelungen im Kontext der Gentechnik, so auch in der Bundesrepublik, in der das Bundeskabinett im Februar 1978 Richtlinien zum Schutz vor Gefahren durch in vitro neukombinierte Nukleinsäuren verabschiedete.

## ERSTE MEDIKAMENTE, RESISTENTE PFLANZEN UND TRANSGENE TIERE

In den 1980er Jahren konnte die Gentechnik erste kommerzielle Erfolge verzeichnen. Weltweit erfolgte ein Aufbau gentechnologischer Forschungs- und Produktionsstätten, und erste, über gentechnologische Herstellungsprozesse gefertigte Arzneimittel erhielten eine behördliche Zulassung für den therapeutischen Einsatz am Menschen. Nachdem 1982 gentechnisch hergestelltes Humaninsulin auf den Markt gebracht worden war, folgten noch in den 1980er Jahren unter anderem ein Hepatitis-B-Impfstoff, Erythropoetin zur Bildung roter Blutkörperchen, Faktor 8 als ein Blutgerinnungsfaktor, das Enzym TPA zur Auflösung von Blutgerinnseln bei Herzinfarkten oder das humane Protein Interferon, das zur Behandlung von Krebspatienten eingesetzt werden sollte. Die erste Produktgeneration konzentrierte sich insbesondere auf die Bereiche Diagnose und Therapie, wobei man sich wirtschaftlich zunächst auf effizientere, günstigere oder völlig neuartige Lösungen auf dem Arzneimittelmarkt fokussierte.<sup>14</sup> Ein wesentlicher Erfolg der Gentechnik lag in den 1980er Jahren vor allem darin, dass sie

**10** Vgl. James Watson/John Tooze, *The DNA Story*, San Francisco 1981, S. 1f.

**11** Vgl. John Richards, *Recombinant DNA*, New York u. a. 1978, S. 303.

**12** Vgl. Maxine Singer/Dieter Söll, *Guidelines for DNA Hybrid Molecules*, in: *Science* 4105/1973, S. 1114.

**13** Vgl. Paul Berg et al., *Asilomar Conference on Recombinant DNA Molecules*, in: *Science* 4192/1975, S. 991–994.

**14** Vgl. Wolfgang Schallenberg, *Zur wirtschaftlichen Bedeutung der Biotechnologie*, in: Peter Markl (Hrsg.), *Neue Gentechnologie und Zellbiologie*, Wien 1988, S. 155–165, hier S. 155.

zu einem enormen medizinischen Erkenntnisgewinn beitrug, so auch bei der Erforschung des 1983 entdeckten Human Immunodeficiency Virus, kurz HIV.

Im Kontext der Forschungen zur Gentherapie, um genetisch bedingte Krankheiten zu behandeln, wurden in den 1980er Jahren zum Transfer isolierter Gene beziehungsweise von Genabschnitten in eine Zelle zwar bereits drei Methoden entwickelt, jedoch ließen die Vorarbeiten zur somatischen Gentherapie, also der gezielten Veränderung von Körperzellen, aus wissenschaftlicher Sicht lediglich einen beschränkten Einsatz für wenige Erbkrankheiten erwarten. Therapiert werden konnten im Grunde nur solche Krankheiten, die auf die Mutation eines einzigen Gens zurückgeführt werden konnten. Für die zumeist multifaktoriell bedingten Defekte schien eine Anwendung der Gentherapie noch in weiter Ferne.

Ethische Fragen zur Zulässigkeit eines künstlichen Eingriffs am Menschen waren, befördert durch die Fortschritte der Reproduktionstechnologie und hier insbesondere die In-vitro-Fertilisation, bereits zehn Jahre zuvor aufgekommen. Im Juli 1978 kam das weltweit erste durch In-vitro-Fertilisation gezeugte Kind in England zur Welt. In der Bundesrepublik wurde das erste sogenannte Retortenbaby im April 1982 geboren. Parallelen zur Gentherapie ergaben sich vor allem bei Fragen um die Zulässigkeit eines künstlichen Eingriffs in das Leben des Menschen und führten in der Folge zu vielfach undifferenziert geführten Diskussionen der beiden Technologien.

In den USA beschränkten sich die gentechnischen Forschungen in den 1980er Jahren aber nicht auf die medizinischen Anwendungsmöglichkeiten, wengleich sie dominierten. Im Bereich der Pflanzenzüchtung begannen ebenfalls Forschungen zur Übertragung von Resistenzen gegenüber Salz, Trockenheit, Wärme, Insekten und Viren. Zu den ersten Modellpflanzen gehörten hier Petunien und Tabak, in die eine Übertragung artfremder Gene bereits zu Beginn der 1980er Jahre gelungen war.<sup>15</sup> Erste Versuche mit Nutzpflanzen konzentrierten sich auf die Übertragung von Genen zur Stickstofffixierung, die eine Verringerung der Stickstoffzufuhr über

<sup>15</sup> Vgl. Günter Donn, *Gentechnologie und Ernährung*, in: Hoechst AG (Hrsg.), *Gentechnologie*, Frankfurt/M. 1986, S. 108–125, hier S. 112, S. 118.

Düngemittel versprochen.<sup>16</sup> In der Bundesrepublik wurde die erste Genehmigung, eine gentechnisch veränderte Pflanze auszubringen, 1989 erteilt.

Ebenfalls im Bereich der grünen Gentechnik angesiedelt waren gezielte Erbgutveränderungen von Tieren, die sich insbesondere darauf konzentrierten, die Milch- und Fleischproduktion von Nutztieren zu steigern. Besondere Aufmerksamkeit erlangte in diesem Kontext das rekombinante Rinderwachstumshormon Bovines Somatotropin (rBST). Infolge der Patentierung einer Methode zur Gewinnung von rBST kam es Mitte der 1980er Jahre zunächst in den USA und in der Folge auch in europäischen Staaten zu intensiven Diskussionen, nachdem Berichte über die ersten „Riesenschweine“ und „Riesenschafe“ bekannt geworden waren, die unter anderem an Gelenkdeformationen, Herzschwäche und Arthritis litten. Anknüpfungspunkte für die Auseinandersetzungen boten darüber insbesondere die Aspekte Tiergesundheit, Agrarstruktur und Nahrungsmittelqualität.

Versuche mit transgenen, also gentechnisch veränderten Tieren reichten in den 1980er Jahren auch über den Nutztierbereich hinaus und beabsichtigten zugleich die Entwicklung von Modellorganismen, an denen humane Krankheiten sowie Wirkungen und Nebenwirkungen neuer Arzneimittel für den Menschen studiert werden können. Die Hoffnungen bezogen sich hier auf Medikamente zur kausalen Therapie bislang nicht heilbarer Krankheiten wie Aids, Alzheimer oder Arteriosklerose.<sup>17</sup> Besondere Bekanntheit erlangte die mit einem menschlichen Brustkrebsgen versetzte „Onko-Maus“ beziehungsweise „Krebsmaus“ der Harvard University, die 1988 in den USA patentiert wurde und eine Diskussion über die Patentierbarkeit von Lebewesen auslöste.

## STOCKENDE ETABLIERUNG

Mit dem Voranschreiten gentechnologischer Entwicklungen erkannte man in der Bundesre-

<sup>16</sup> Vgl. Hans-Hermann Schöne, *Gentechnologie*, mehr als eine Methode, in: Hoechst AG (Hrsg.), *Gentechnologie*, Frankfurt/M. 1986, S. 5–25, hier S. 22; Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), *Biotechnologie und Agrarwirtschaft. Stand und Perspektiven biotechnologischer Forschung und Entwicklung*, Münster 1985, S. 18f.

<sup>17</sup> Vgl. Karl Heinz Büchel, *Gentechnik bei Bayer für Medizin und Landwirtschaft*, in: Bayer AG (Hrsg.), *Gentechnik bei Bayer*, Leverkusen 1989, S. 12–29, hier S. 22.

publik das Risiko, in der einschlägigen Forschung den Anschluss an die internationale Spitze zu verlieren. Vor diesem Hintergrund förderte das Bundesforschungsministerium sowohl gentechnologische Forschungsvorhaben im Rahmen eines Biotechnologieprogramms als auch die Gründung von Genzentren als Kooperationen von Hochschulen, Max-Planck-Instituten und der Industrie. Mit dem Einstieg in die Genforschung in Form anwendungsorientierter Grundlagenforschung wurde infolge der Erfahrungen in den USA und der hiesigen Diskussionen um die Kernenergie zugleich erkannt, dass es zu starkem öffentlichen Widerstand kommen könnte. Daher beförderte das Bundesforschungsministerium ab 1983/84 mit Fachgesprächen und Kolloquien sowie der Einrichtung von Kommissionen und Arbeitsgruppen einen Austausch zwischen Wissenschaft und Politik. Ein Gremium, das in diesem Kontext zu großer Bekanntheit gelangte, war die im Juni 1984 vom Deutschen Bundestag eingesetzte Enquete-Kommission „Chancen und Risiken der Gentechnologie“. Sie sollte die mit Gentechnik verbundenen ökonomischen, ökologischen, rechtlichen und gesellschaftlichen Auswirkungen sowie die ethischen Aspekte untersuchen und Empfehlungen für das weitere politische Handeln formulieren. Der 1989 veröffentlichte Abschlussbericht der Enquete-Kommission fand in der Öffentlichkeit große Aufmerksamkeit und wurde wegen ihrer Empfehlung zur gesetzlichen Verankerung von Sicherheitsbestimmungen vor allem vonseiten der Industrie stark kritisiert. Im Ergebnis erfolgte Mitte 1990 in der Bundesrepublik eine gesetzliche Regulierung der Gentechnik.

Zur gleichen wuchs die Zahl gentechnologischer Forschungsarbeiten in den USA immer weiter. Viele Produkte erlangten Marktreife, wenngleich sie kaum umsatzstark etabliert werden konnten. Auch die führenden deutschen Chemie- und Pharmakonzerne wie Bayer, Hoechst, Schering, Boehringer Ingelheim und Boehringer Mannheim, Merck sowie die BASF bauten ihre gentechnologischen Aktivitäten weiter aus. Die Schwerpunkte lagen auf Forschungen zur Entwicklung von Gentherapien, neuartigen Tierimpfstoffen, Diagnostika sowie auf Projekten im Bereich des Pflanzenschutzes.

Im Bereich der roten Gentechnik waren 1998 43 rekombinante Wirkstoffe beziehungsweise

Medikamente in Deutschland zugelassen,<sup>18</sup> wobei wenige davon auch hier produziert wurden. Die zugelassenen Wirkstoffe unterstützten unter anderem die Behandlung von Minderwuchs, Diabetes, Krebs, der Bluterkrankheit, Mukoviszidose, Fertilitätsstörungen, Hepatitis B, Hepatitis A/B, Thrombosen oder Blutarmut. Zu den umsatzstärksten gentechnisch hergestellten Pharmazeutika gehörten während der 1990er Jahre Blutwachstumsfaktoren, gefolgt von Insulinen, Wachstumshormonen, Interleukinen als Botenstoffen der Zellen sowie von Interferonen, also körpereigene Proteine beziehungsweise Zytokine, die im Rahmen der Immunantwort auf Virusinfektionen produziert und auch in der Krebstherapie eingesetzt werden.<sup>19</sup>

Bis 2006 stieg die Zahl der in Deutschland zugelassenen gentechnisch hergestellten Arzneimittel auf rund 120, womit etwa vier Prozent aller zugelassenen Wirkstoffe gentechnischen Ursprungs waren und mit rund drei Milliarden Euro bereits zwölf Prozent des gesamten deutschen Arzneimittelumsatzes ausmachten.<sup>20</sup> International wie auch in Deutschland blieb die Entwicklung von Medikamenten aber vor allem auf die Therapie von Krebserkrankungen fokussiert.

Neben der Entwicklung von Wirkstoffen wurden auch Forschungen zur Gentherapie weiter vorangetrieben. 1990 erfolgte der weltweit erste genehmigte klinische Gentherapieversuch an einem vierjährigen Mädchen, das an einem sogenannten ADA-Mangel litt, einem rezessiv erblichen Defekt des Immunsystems, der auf ein einziges in seiner Funktion gestörtes Gen zurückgeht. 1992 folgte in Italien die erste Gentherapiestudie, woraufhin unmittelbar Anträge für Studien in den Niederlanden, Frankreich und der Bundesrepublik eingereicht wurden. Gentherapeutische Studien konzentrierten sich in dieser Zeit auf monogen bedingte genetische Defekte oder Krebserkrankungen und kamen nicht über ein Versuchsstadium hinaus. Beinahe alle weltweit begonnenen klinischen Studien befanden sich noch in Phase I und prüften vornehmlich die Verträglichkeit und Sicherheit des Gentrans-

**18** Vgl. Aufbruchstimmung 1998. Der erste Report der Schitag Ernst & Young Unternehmensberatung über die Biotechnologie-Industrie in Deutschland, Stuttgart 1998, S. 20.

**19** Vgl. Ulrich Dolata, Politische Ökonomie der Gentechnik, Berlin 1996, S. 26f., Tabelle 1.

**20** Für eine Gesamtlistung siehe [www.vfa.de/de/forschung/am-entwicklung/amzulassungen-gentec.html](http://www.vfa.de/de/forschung/am-entwicklung/amzulassungen-gentec.html).

fers, dessen Erfolgsrate damals kaum zufriedenstellend war. Zu einer Prüfung der Wirksamkeit der Therapie in Phase II gingen nur wenige Studien über.

Gentherapeutische Studien wurden im öffentlichen Diskurs von Beginn an nicht grundsätzlich infrage gestellt. Eine kritische Auseinandersetzung damit erfolgte in Deutschland zumeist lediglich vor dem Hintergrund der Entwicklungen der Reproduktionstechnologien. 1997 läutete das Klonschaf „Dolly“ weltweit eine neue Phase der bioethischen Diskussionen ein. Zwar hatten bereits vor dem Bekanntwerden von Dolly Klonierungsversuche an Säugetieren für Aufsehen in der Öffentlichkeit gesorgt, jedoch war Dolly das erste geklonte Säugetier, bei dem die Erbinformation aus bereits ausdifferenzierten adulten Spenderzellen, also von einem ausgewachsenen Säugetier stammte. Ziel des Klonierungsversuchs war die Herstellung einer genetisch identischen Kopie von Dollys Mutter, die infolge der Übertragung eines menschlichen Gens das pharmazeutisch wertvolle Protein Alpha-1-Antitrypsin zur Behandlung von Lungenkrankheiten in ihrer Milch produzierte. Die Verschränkung der Diskussionen um die Reproduktions- und Gentechnologie wurde durch das Dolly-Ereignis weiter befördert und konnte auch durch die von Wissenschaftler\*innen unternommenen Versuche um eine Abgrenzung beider Technologiebereiche kaum aufgelöst werden.<sup>21</sup> An den vorrangig bioethischen Diskussionen beteiligten sich neben einer breiten Öffentlichkeit insbesondere Theolog\*innen, Philosoph\*innen, Biowissenschaftler\*innen und Mediziner\*innen, die Klonierungsversuche an Mensch und Tier mehrheitlich ethisch begründet ablehnten. Zu den diskutierten Argumenten gehörte neben einer sehr hohen Misserfolgsrate bei Klonierungsversuchen insbesondere die Gefahr einer Instrumentalisierung von Lebewesen als Ersatzteillager im Kontext einer vermeintlich nutzenbringenden Anwendung.

Im Bereich der grünen Gentechnik bewegten sich die Arbeiten in den 1990er Jahren ebenfalls weitgehend im Bereich der Grundlagenforschung. Die industriellen Bemühungen fokussierten sich auf Herbizid- und Pestizidresistenzen. Hinzu kamen Entwicklungsversuche, um die Stressresistenz von Pflanzen zu verbessern und den Gehalt von Zusatz- und Hilfsstof-

fen sowie qualitätsbestimmender Inhaltsstoffe zu steigern, etwa um den Vitamingehalt von Pflanzen zu erhöhen. Die Forschungen konzentrierten sich dabei auf Mais, Kartoffeln, Raps, Sojabohnen, Tomaten, Baumwolle, Tabak und Zuckerrüben, während gentechnische Veränderungen an Obstpflanzen nur in wenigen Fällen zu Freisetzungsversuchen führten.

Mit der FlavrSavr-Tomate der US-Firma Calgene kam 1994 erstmals ein gentechnisch verändertes Lebensmittel auf den Markt. Die „Anti-Matsch-Tomate“ brauchte länger, um zu reifen, und konnte daher auch länger gelagert werden. Zum kommerziellen Durchbruch transgener Kulturpflanzen gelangte die 1996 in der EU zugelassene Roundup-Ready-Sojabohne der US-Firma Monsanto. Sie verfügte über eine Herbizidresistenz, die sie vor dem firmeneigenen Unkrautvernichtungsmittel „Roundup“ (Glyphosat) schützte.

Die Genehmigung der Europäischen Kommission zur Anlieferung und Weiterverarbeitung dieser Sojabohnen zog in der Bundesrepublik, ebenso wie in der Schweiz und den Niederlanden, eine Welle von Widerstandsaktionen nach sich. Deutschlandweite, vor allem von Interessensverbänden organisierte Proteste setzten Politik und Industrie unter starken öffentlichen Druck. Im Juni 1996 stieg auch Greenpeace Deutschland umweltpolitisch mit einer Kampagne in das Themenfeld Gentechnik ein und beeinflusste fortan maßgeblich Inhalte und Verlauf der hiesigen Diskussion zur landwirtschaftlichen Anwendung der Gentechnik.

Der Einstieg zahlreicher Umweltverbände in die Debatte rund um grüne Gentechnik erfolgte im Kontext der Auseinandersetzungen zur Kernenergie, zu deren Risiken vielfach Parallelen gezogen wurden, insbesondere zum Größten Anzunehmenden Unfall (GAU). Für beide Technologien wurden die massiven Umweltbelastungen im Wesentlichen auf den technologischen Fortschritt zurückgeführt. Viele Menschen teilten die ökologischen Bedenken, mithilfe von Gentechnik hergestellte Lebensmittel könnten Allergien, chronische Vergiftungen oder Antibiotikaresistenzen verursachen, und sahen die Gefahr einer Auswilderung beziehungsweise eines zufälligen Einkreuzens gentechnisch veränderter Pflanzen in verwandte Wildpflanzen. Unter ökonomischen Gesichtspunkten befürchteten sie eine Konzentration auf wenige Herbizide und

<sup>21</sup> Vgl. Salem (Anm. 8), S. 180.



Pestizide, und dass die Patente für Produkte der grünen Gentechnik große Landwirtschaftsbetriebe begünstigen und zu Abhängigkeiten von deren Herstellern führen könnten. Gefordert wurde die Stärkung der Verbraucherrechte in Bezug auf gesundheitliche Unbedenklichkeit, Transparenz und Wahlfreiheit.

Industrie und Wissenschaftler\*innen führten die mangelnde Akzeptanz der grünen Gentechnik auf Wissensdefizite und ausgeprägte Vorurteile zurück und versuchten zumindest vorübergehend, im Rahmen einer gemeinsamen Strategie mit Aufklärungskampagnen dagegenzusteuern. Verbraucher\*innen sollten überzeugt werden, dass gentechnische Verfahren in der Landwirtschaft lediglich eine Fortsetzung der klassischen Züchtung bedeuteten und eine Reihe von Vorteilen bargen.

Zuvor hatte die Bundesregierung einen vorsichtigen Einstieg in Feldversuche gewagt und vier Jahre nach der ersten Genehmigung zur Ausbringung transgener Petunien 1989 einen Freilandversuch für eine Kartoffelpflanze als erster transgener Nutzpflanze genehmigt. Diese sollte einen Stärketyt produzieren, der in der Papierherstellung und Abwasseraufbereitung gebraucht wurde. Beide Versuche hatten für massive Proteste gesorgt – vielfach waren Versuchsfelder zerstört worden –, sodass sie im Ausland fortgesetzt werden mussten.<sup>22</sup> Mit dem Erprobungsanbau des insektenresistenten Bt-Mais erfolgte ab 1998 ein durchaus nennenswerter Anbau transgener Pflanzen in Deutschland, wobei die Feldzerstörungen in der Folge erneut zunahmen. Im Mittelpunkt der Auseinandersetzungen standen nun die Fragen, ob eine Koexistenz der verschiedenen Anbauformen umsetzbar sei und ob gentechnikfreie Regionen geschützt werden konnten.

## AUSBLICK

Einen wesentlichen technologischen Fortschritt erfuhr 2012 insbesondere der Bereich der roten Gentechnik mit der Entdeckung der „Genschere“ CRISPR (*clustered regularly interspaced short palindromic repeats*) durch die Mikrobiolo-

gin Emmanuelle Charpentier und die Biochemikerin Jennifer Doudna, die 2020 den Nobelpreis für Chemie erhielten. Mit der Erkenntnis, dass CRISPR-targeting RNA und eine transaktivierende RNA zusammen mit dem Cas9-Protein bewirken, dass Gene von Viren zielgenau inaktiviert werden, wurde es möglich, auch in großen Genomen gezielt Änderungen vorzunehmen. Insbesondere bei Genomen wie dem des Menschen waren bisherige Verfahren zu ihrer Modifikation sehr ungenau. CRISPR/Cas9 ist preiswerter und effizienter als die bisher eingesetzten Methoden und eröffnet mit ihrer Zielgenauigkeit vielfältige Anwendungsmöglichkeiten zur Behandlung schwerer Immunerkrankungen sowie in der Pflanzenzüchtung.<sup>23</sup> So erlaubt die neue Methode in der grünen Gentechnik unter anderem die Herstellung von glutenarmem Weizen oder vitaminreicherem Obst und bedeutet im medizinischen Bereich tiefgreifende Fortschritte insbesondere für die somatische Gentherapie. Unter anderem konnten Wissenschaftler\*innen neben veränderten Blutstammzellen zur Behandlung von Bluterkkrankungen auch Erfolge in der Krebstherapie sowie der Bekämpfung des HI-Virus oder von Infektionskrankheiten erzielen.

### SAMIA SALEM

ist promovierte Wissenschafts- und Technikhistorikerin und Referentin für wissenschaftliche Weiterbildung an der Hochschule der Bundesagentur für Arbeit. samia.salem@arbeitsagentur.de

**22** Vgl. Gabriele E. Sachse, *Gentechnik in der Lebensmittelindustrie*, in: Hans Günter Gassen/Michael Kemme, *Gentechnik*, Frankfurt/M. 1996, S. 144–195, hier S. 180f.

**23** Vgl. Michael Boutros, *Präzise Schnitte ins Erbgut*, in: *Kultur & Natur* 15/2019, S. 81–84, hier S. 82.

INTERVIEW

# „WIR DÜRFEN DA NOCH SEHR VIEL ERWARTEN“

## Ein Gespräch über medizinische RNA-Forschung und -Therapien

mit *Thomas Thum*

Herr Professor Thum, seit zwei Jahren sprechen wir von mRNA-Impfungen – zum Schutz vor Covid-19, mit Blick in die Zukunft aber auch zur Krebsbehandlung. Sie entwickeln eine RNA-Therapie gegen Herzschwäche. Sind RNAs die neuen Wundermittel?

*Thomas Thum* – Wunder gibt es in der Medizin selten. Doch die Therapie an oder mit RNA-Molekülen wird der Medizin ganz neue Möglichkeiten eröffnen. Daran forschen wir und andere Wissenschaftler bereits seit mehr als zwei Jahrzehnten. Der Durchbruch der mRNA-Impfungen hat einen enormen Einfluss auf das gesamte Forschungsfeld. Es gibt ja nicht nur die Corona-Impfungen. Biontech und Moderna haben den Krebs im Visier, und bereits seit einigen Jahren gibt es Therapien gegen sehr seltene Erkrankungen, wie etwa die spinale Muskelatrophie, die an RNA-Molekülen ansetzen. Kaum jemand weiß, dass die erste RNA-Therapie bereits 1999 auf den Markt kam.

Das ist fast 25 Jahre her. Was war das für ein Mittel?

– Der Wirkstoff hieß Fomiviren und richtete sich gegen das Zytomegalie-Virus, das in den

1990er Jahren vor allem bei immungeschwächten Aids-Patienten zur Erblindung führte. Aber der Wirkmechanismus ist ein ganz anderer als bei den Corona-Impfungen. Bei den Impfungen wird die mRNA als Bauanleitung für ein Protein in den Körper gespritzt, um das Abwehrsystem darauf einzustellen. Im Fall von Fomiviren werden hingegen mRNAs abgefangen.

Wie muss man sich das vorstellen?

– Stellen Sie sich die DNA, also das Erbgut, das im Kern jeder unserer Zellen vorliegt, als einen riesigen Bauplan für ein Haus vor. Alle Anleitungen zu den Bausteinen, den Proteinen, liegen dort verschlüsselt vor. Damit die Information in Proteine umgesetzt werden kann, braucht es einen Boten, der die Anleitungen kopiert und zu den Proteinmaschinen der Zelle transportiert: die „Messenger“-RNA, kurz mRNA. Wenn man den Code eines Proteins kennt, dann kann die Zelle es nachbauen.

Das ist das Prinzip der mRNA-Impfung, bei der man den Code des Spike-Proteins des Coronavirus spritzt.

– Genau. Der Code bietet aber noch eine andere Besonderheit. Er besteht aus vier chemischen Molekülen, die mit den Buchstaben A, T, C und G abgekürzt werden. Zwei dieser Moleküle passen zueinander: A und T, C und G. Dieses Prinzip macht es möglich, dass die mRNA die DNA ablesen kann. Die DNA liegt doppelsträngig vor – verbunden über A und T und C und G. Die mRNA besteht fast aus den gleichen Bausteinen wie die DNA. Öffnet sich die DNA, kann die mRNA quasi ein Spiegelbild des Codes bilden: Wenn auf der DNA „GCC“ steht, übersetzt ihn die mRNA als „CGG“. Der Trick, den man nun anwendet, um die mRNA abzufangen: Man baut wiederum einen Gegenstrang, der sich an mRNA bindet. Der blockiert die Herstellung des Proteins. Das macht die Natur übrigens auf etwas komplexere Weise ebenso, wenn sie die Herstellung eines Proteins herunterregulieren will. Wir selbst nutzen dieses Prinzip, um eine Therapie für Herzinsuffizienz zu entwickeln – allerdings mit anderen RNA-Arten.

Was sind das für andere RNA-Arten?

– Äußerlich betrachtet unterscheiden sie sich nur in ihrer Länge von der mRNA. Es sind entweder sehr kurze oder sehr lange RNA-Abschnitte, manchmal bilden sich auch kreisförmige Strukturen. Sie liegen als sogenannte nicht-kodierende Abschnitte auf der DNA. Sie tragen also keine Bauanleitung für Proteine, sondern liegen irgendwo dazwischen. Über viele Jahre, sogar

Jahrzehnte, hat man sie schlicht für Müll gehalten.

Aber offensichtlich sind sie kein Müll. Welche Aufgaben haben sie?

– In jeder Zelle liegt DNA, also der gesamte Bauplan des Hauses, vor. Aber nicht jede Zelle braucht all die Bausteine, die dort gespeichert sind. Es muss Architekten dieses Hauses geben, die entscheiden, welcher Baustein benötigt wird und gebildet werden soll. Inzwischen wissen wir, dass diese nicht-kodierenden RNAs zu den Architekten gehören: Sie regulieren, welche Gene abgelesen oder in Proteine umgesetzt werden. Zum Beispiel dadurch, dass sie sich an mRNA binden und die Umsetzung zu Proteinen verhindern. In einem geschädigten Herzen sorgen sie etwa dafür, dass der normale Stoffwechsel entgleist.

Womit wir bei Ihrem eigenen Forschungsgebiet wären. Wodurch entsteht Herzschwäche?

– Das kann unterschiedliche Gründe haben. Klassischerweise ist es ein Herzinfarkt oder chronischer Bluthochdruck. Beim Herzinfarkt stirbt das Herzmuskelgewebe durch einen Gefäßverschluss ab, weil es nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff versorgt wird. Das heißt, das restliche überlebende Gewebe ist ständig überbeansprucht, weil es nun die Arbeit übernehmen muss. Beim Bluthochdruck wird das Herz durch den permanenten Druck überlastet. Diese Überlastung löst Umbauprozesse aus: Das Herz wird größer und seine Elastizität nimmt ab – und schließlich kann es nicht mehr ausreichend Blut durch den

Körper pumpen, um ihn mit Sauerstoff zu versorgen. Das nennt man Herzinsuffizienz, also Herzschwäche. Aber der Begriff verklärt ein wenig, wie fatal das Leiden ist. Denn gegen Herzschwäche haben wir so gut wie nichts in der Hand. Man kann den Prozess mit Medikamenten ein wenig aufhalten, aber die Hälfte aller Menschen mit fortgeschrittener Herzinsuffizienz wird innerhalb der nächsten drei bis fünf Jahren sterben.

Und welche Rolle spielen nun die RNAs, die Sie identifiziert haben?

– Das sind sogenannte microRNAs, also sehr kurze RNA-Moleküle, die eben keine Proteine kodieren. Die microRNA 132 spielt eine ganz wichtige Rolle im Herzstoffwechsel. Wir sehen, dass vier Prozesse ungünstig beeinflusst werden, wenn sie verstärkt im Herzen auftritt. Und genau das ist bei der Herzinsuffizienz der Fall. Sie ist also so etwas wie ein schlechter Architekt, der die Bauanleitung nicht verstanden hat.

Welche Prozesse sind das, die ungünstig beeinflusst werden?

– Die microRNA 132 hat zum Beispiel einen direkten Effekt auf die Größe der Herzzellen. Sie fangen krankhaft an zu wachsen. Das liegt daran, dass bestimmte Gene durch diese microRNA eben blockiert oder verstärkt durch mRNA abgelesen werden. Dann hat sie einen Einfluss auf die Vernarbung des Herzens. Wenn ein Gewebe verletzt wird, wächst das Bindegewebe und es bilden sich Narben. Das ist bei der Haut genauso wie auf Orga-

nen. Das Gewebe versteift an diesen Stellen – die Elastizität lässt nach. Zudem hat diese microRNA Einfluss auf den Kalziumhaushalt, der wichtig für die Kontraktion des Herzmuskels ist, also für die Pumpkraft. Und schließlich – das haben wir erst kürzlich herausgefunden – wirkt sie auf die Gefäßdicke im Herzen, also auf die Blutversorgung. All das können wir beeinflussen, wenn wir diese microRNA 132 blockieren.

Haben Sie bereits Patienten damit behandelt?

– Wir haben eine erste kleine klinische Studie mit 28 Patienten erfolgreich abgeschlossen. Dort wurde vor allem die Sicherheit überprüft, also ob Nebenwirkungen auftreten – und bislang sehen wir tatsächlich keine Nebenwirkungen. Obwohl es in solchen ersten kleinen Studien noch gar nicht um die Wirkung einer Therapie geht, konnten wir schon erste schützende Effekte beobachten.

Was für Effekte sind das?

– Wir haben das Blut der Patienten analysiert und gesehen, dass sich die klassischen Biomarker einer Herzschwäche wieder normalisieren. Genauer gesagt konnten wir finden, dass der typische Herzschwäche-Marker NT-proBNP in den therapierten Patienten um knapp ein Viertel zurückging. Derzeit läuft eine zweite klinische Studie mit 280 Patienten in etwa 60 Zentren in Europa, bei der wir Patienten nach einem Myokardinfarkt und reduzierter Pumpfunktion behandeln und zwölf Monate im Anschluss weiter beobachten. Und wir sind großer Hoff-

nung, dass wir sehr gute Ergebnisse erzielen werden.

Was macht Sie da so sicher?

– Jede neue Therapie muss, bevor sie in den Menschen geht, an Tiermodellen getestet werden. Und da konnten wir beobachten, dass die Herzinsuffizienz nicht nur langsamer vorangeschritten ist, sondern sich zum größten Teil sogar zurückbildete – und zwar in ganz verschiedenen Tiermodellen. Das ist für die Kardiologie natürlich total spannend.

Sind die Patienten offen für die Behandlung an RNA oder begegnen Ihnen auch Ängste, wie es sie mitunter bei den mRNA-Impfstoffen gab?

– Nein, bislang sind wir nicht auf Skepsis gestoßen. Eher im Gegenteil: Die Patienten sind dankbar, dass es etwas gibt, das ihnen hoffentlich hilft. Die Therapie wird gut angenommen.

Wie sind Sie überhaupt darauf gekommen, dass microRNAs ein Ziel für mögliche Therapien sein können?

– Das ist schon 15 Jahre her. Ich machte nach meiner medizinischen Doktorarbeit gerade noch meinen PhD-Abschluss in London, saß in der Bibliothek des Imperial College und blätterte durch die aktuelle „Nature“-Ausgabe. Da ist mir eine Veröffentlichung von Jan Krützfeld von der Universität Zürich aufgefallen. Er beschrieb dort kleine RNA-Fragmente, die den Leberstoffwechsel regulieren. Da habe ich gedacht, dass wir das auch mal beim Herzen untersuchen sollten. So sind wir auf microRNAs gestoßen.

Wenn bereits 1999 die erste RNA-Therapie auf den Markt kam, warum hat die Entwicklung weiterer Therapien so lange gedauert?

– Die größte Schwierigkeit bei den RNA-Therapien ist es, die Moleküle unbeschadet und in den richtigen Mengen dorthin zu bringen, wo sie wirken sollen. RNAs werden unglaublich schnell abgebaut. Das heißt, sie müssen gut verpackt werden, damit sie überhaupt ihr Ziel erreichen. Es hat Jahre gedauert, bis man solche Technologien entwickelt hatte. Das ist auch der Grund, warum so wenige Wissenschaftler sich mit den Molekülen beschäftigen haben. Zudem sind fremde mRNA-Moleküle für den Körper ein Warnsignal, dass Bakterien oder Viren eingedrungen sein könnten, und lösen eine Abwehrreaktion aus. Eine der wichtigsten Technologien, die RNA-Therapien möglich gemacht haben, war ihre Verpackung, also zum Beispiel die Fettnanopartikel, in denen die mRNA für die Corona-Impfung liegt.

Warum hat das bei dem ersten Mittel keine Rolle gespielt?

– Im Fall von Fomiviren war beides kein Problem. Das Mittel blockierte eine Virus-mRNA, wurde direkt ins Auge gespritzt. Das Auge ist ein sehr gut geschütztes Organ. Daher gelangte der Wirkstoff gar nicht erst in die Blutbahn. Aber noch immer gehören die Verabreichung und die Art, wie die Wirkstoffe ihr Ziel erreichen, zu den größten Herausforderungen für künftige RNA-Therapien. Das klappt jetzt gut für das Herz, für die Leber, und auch die Lymph-

knoten erreicht man mit der Impfung.

Welche anderen Krankheiten, glauben Sie, können künftig mit RNA-Therapien behandelt werden?

– Krebs und seltene Erkrankungen habe ich schon genannt. Natürlich setzen wir in Hannover auf die Herzinsuffizienz. Aber erst kürzlich hat Novartis die Zulassung für einen Cholesterin-Senker erhalten, der über eine RNA-Therapie wirkt. Und beim Pharmakonzern Sanofi läuft derzeit eine klinische Studie der Phase II, in der eine microRNA gegen erbliche Nierenfibrose, dem sogenannten Alport-Syndrom, getestet wird. Und an der Medizinischen Hochschule Hannover haben wir erst kürzlich noch eine andere RNA gefunden, eine sogenannte zirkuläre RNA, von der wir hoffen, dass sie die Herzbelastung durch Chemotherapie senkt. Ich glaube, dass wir da noch sehr viel erwarten dürfen.

Das Interview führte die Wissenschaftsjournalistin Edda Grabar am 7. Juli 2022.

### THOMAS THUM

ist Professor und Kardiologe an der Medizinischen Hochschule Hannover, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Toxikologie und Experimentelle Medizin und Gründer des Biotech-Startups Cardior.

thum.thomas@mh-hannover.de

# ENDE DES SCHICKSALS?

## Genomeditierung in der Medizin

*Sigrid Graumann*

Anwendungen der Gentechnik in der Medizin – also Verfahren, mit denen Veränderungen des Erbguts, der DNA, vorgenommen werden können, sodass genetisch veränderte Zellen oder Lebewesen entstehen – sind vielfältig. So kommen mithilfe von gentechnisch veränderten Hefen, Bakterien oder Säugetierzellen hergestellte Medikamente und Impfstoffe ebenso zum Einsatz wie gentechnisch veränderte menschliche Körperzellen in der somatischen Gentherapie. Zumindest theoretisch ist es auch möglich, die Erbsubstanz von ganzen menschlichen Organismen zu verändern. Die damit eröffneten Möglichkeiten haben die Fantasie von Forscher\*innen seit den Anfängen der Gentechnik beflügelt. Es wurde nicht nur der Sieg über Erbkrankheiten, sondern auch die genetische Verbesserung des Menschen für die Zukunft in Aussicht gestellt.<sup>01</sup> Kritische Naturwissenschaftler\*innen und interessierte Teile der Öffentlichkeit begegneten diesen Visionen überwiegend mit Skepsis und Ablehnung.

Für die Entwicklung eines klinischen Modells der somatischen Gentherapie war daher eine doppelte Abgrenzung entscheidend: Zum einen musste eine therapeutische Zielsetzung von Visionen der Menschenverbesserung abgegrenzt, zum anderen der Unterschied zwischen somatischer Gentherapie und Eingriffen in die menschliche Keimbahn hervorgehoben werden. Die somatische Gentherapie zielt lediglich auf Eingriffe in die DNA von spezifischen Körperzellen, die eine therapeutisch relevante Wirkung in den Zielgeweben im Körper der Patient\*innen entfalten sollen. Bei einer Intervention in die Keimbahn, also einer Veränderung der DNA von Keimzellen – von Spermien, Eizellen und deren Vorläufern – oder von frühen menschlichen Embryonen, würden hingegen alle Zellen des entstehenden Organismus die genetische Veränderung tragen, auch die Keimzellen. Erwünschte und unerwünschte genetische Veränderungen könnten so an folgende Generationen vererbt werden. Mit dieser doppelten Abgrenzung

konnte die somatische Gentherapie ethisch legitimiert werden, und ab den 1990er Jahren begannen die ersten klinischen Versuche.<sup>02</sup>

In den ethischen Debatten rund um den Einsatz von Gentechnik in der Medizin setzte sich ein weitgehender internationaler Konsens durch, nachdem vererbare Interventionen in das Genom von Menschen unzulässig sind. Das deutsche Embryonenschutzgesetz verbietet in Paragraph 5 die künstliche Veränderung menschlicher Keimbahnzellen, aus denen ein Kind entstehen soll. Dies ist keineswegs ein Alleinstellungsmerkmal der deutschen Gesetzgebung: Alle Länder, in denen Regelungen für gentechnische Interventionen am Menschen erlassen wurden, sowie die von 30 Staaten ratifizierte Biomedizinkonvention des Europarats untersagen gentechnische Eingriffe, die auf die Veränderung des Erbmaterials von Nachkommen zielen. Dieser Konsens steht seit der Entdeckung der „Genschere“ infrage.

### EINGRIFFE IN DIE KEIMBAHN

Die Wissenschaftlerinnen Jennifer Doudna und Emmanuelle Charpentier haben 2014 in der Zeitschrift „Science“ eine neue Methode zum Schneiden von DNA beschrieben.<sup>03</sup> Mit dem neuen gentechnischen „Werkzeug“ CRISPR/Cas9 können gezielt Gene verändert, Genabschnitte entfernt oder neue Genabschnitte eingefügt werden. Das Verfahren wird auch als „Genomeditierung“ bezeichnet und wird heute schon in vielen Feldern wie der Pflanzen- und Tierzüchtung sowie in der somatischen Gentherapie eingesetzt. Aufgrund ihrer größeren Effektivität und Präzision im Vergleich zu klassischen Methoden der Gentechnik rückte die Genomeditierung auch die Möglichkeit von Eingriffen in die menschliche Keimbahn in den Bereich des Möglichen.

Rasch wurden die ersten Studien zunächst an nicht entwicklungsfähigen (China) und nicht für die Fortpflanzung bestimmten (Großbritannien)

menschlichen Embryonen durchgeführt. Im März 2015 veröffentlichte eine Gruppe von Wissenschaftler\*innen den Vorschlag für ein freiwilliges Moratorium für Keimbahneingriffe.<sup>04</sup> Im April 2015 folgte der Vorschlag einer anderen Gruppe, Keimbahneingriffe nur für Forschungszwecke zu erlauben und auf den klinischen Einsatz vorerst zu verzichten.<sup>05</sup> Dieser Position, die auch auf mehreren internationalen Spitzentreffen von Wissenschaftsakademien bestätigt wurde, schlossen sich in Deutschland unter anderem die Leopoldina und die Deutsche Forschungsgemeinschaft an.<sup>06</sup>

2019 forderte der Deutsche Ethikrat in einer Stellungnahme ein internationales Moratorium für die klinische Anwendung von Eingriffen in die menschliche Keimbahn, um Raum für die ethische Diskussion und die Entwicklung internationaler Regulierung zu schaffen, und legte einen „Entscheidungsbaum“ als Orientierung vor: Zunächst gehe es um die Frage, ob die menschliche Keimbahn „unantastbar“ sei; dann darum, ob eine sinnvolle Zielsetzung für Keimbahneingriffe denkbar und die Forschung mit menschlichen Embryonen für die Genomeditierung zulässig sei; und schließlich – unter der Voraussetzung, dass ein hohes Niveau an Sicherheit und Wirksamkeit von Keimbahninterventionen erreicht wäre – um eine Diskussion der klinischen Anwendung, um Erbkrankheiten vorzubeugen, Krankheitsrisiken zu reduzieren und letztlich auch, um menschliche Eigenschaften zu verbessern.<sup>07</sup>

Es folgten weitere Stellungnahmen, etwa von einer Gruppe kritischer Natur- und Sozialwissenschaftler\*innen und Mitgliedern von Nicht-Regierungsorganisationen, die insbesondere eine

Klarstellung der Ziele und Gefahren von Keimbahneingriffen anmahnte und ein Moratorium forderte, um einer globalen und inklusiven öffentlichen Diskussion Raum zu geben.<sup>08</sup> Schließlich meldete sich 2021 der Europäische Ethikrat zu Genomeditierung in Pflanzen, Tieren und Menschen zu Wort und forderte ebenfalls eine öffentliche Diskussion mit Blick auf wirkungsvolle und institutionell abgesicherte internationale Regulierungen.<sup>09</sup>

Die Stellungnahmen zeigen, dass vor allem die ethischen Fragen von Keimbahneingriffen am Menschen die internationale öffentliche Debatte dominieren. Die Dynamik der Forschung treibt den ethischen Diskurs an. Der weitgehende Konsens, dass vererbte Keimbahneingriffe am Menschen generell nicht zu verantworten seien, der die internationale Gesetzgebung bislang prägte, scheint aufgekündigt zu sein.

## ZUM ETHISCHEN RAHMEN MEDIZINISCHER FORSCHUNG

Einige grundlegende ethische Bezugspunkte in den Debatten über Keimbahneingriffe am Menschen sind höchst strittig. So gehören etwa die Schutzwürdigkeit menschlicher Embryonen und die Rechte zukünftiger Personen und Generationen zu den umstrittensten Fragen der Bioethik. Viele grundlegende Fragen von Keimbahneingriffen können in Tierversuchen untersucht werden. Letztlich setzt die Entwicklung von klinischen Anwendungen aber „verbrauchende“ Forschung mit menschlichen Embryonen voraus. Vor diesem Hintergrund steigt der Druck auf den Gesetzgeber, die Forschung mit menschlichen Embryonen für hochrangige Forschungsziele auch in Deutschland zuzulassen.<sup>10</sup>

Für die ethische Beurteilung medizinischer Forschung mit Patient\*innen und Proband\*innen kann auf allgemein akzeptierte, international vereinbarte ethische Standards Bezug genommen werden. Diese sind in der Deklaration von Helsinki des Weltärztebundes von 1964 formu-

**01** Vgl. Joshua Lederberg, Die biologische Zukunft des Menschen, in: Robert Jungk/Hans-Josef Mundt (Hrsg.), *Der Mensch. Dokumentation des Ciba-Symposiums 1962 „Man and His Future“*, Frankfurt/M. 1988, S. 277–291.

**02** Vgl. Sigrid Graumann, *Die somatische Gentherapie. Entwicklung und Anwendung aus ethischer Sicht*, Tübingen 2000, S. 21–44.

**03** Vgl. Jennifer A. Doudna/Emmanuelle Charpentier, Genome Editing. The New Frontier of Genome Engineering with CRISPR-Cas9, in: *Science* 6213/2014, <https://doi.org/10.1126/science.1258096>.

**04** Vgl. Edward Lanphier et al., Don't Edit the Human Germ Line, in: *Nature* 519/2015, S. 410f.

**05** Vgl. David Baltimore et al., A Prudent Path Forward for Genomic Engineering and Germline Gene Modification, in: *Science* 348/2015, S. 36ff.

**06** Vgl. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina et al., *Chancen und Grenzen des genome editing*, Berlin 2015.

**07** Vgl. Deutscher Ethikrat, *Eingriffe in die menschliche Keimbahn*, Berlin 2019.

**08** Vgl. Roberto Andorno et al., Geneva Statement on Heritable Human Genome Editing: The Need for Course Correction, in: *Trends in Biotechnology* 38/2020, S. 351–354.

**09** Vgl. European Group in Ethics in Science and New Technologies, *Ethics of Genome Editing*, Brüssel 2021.

**10** Vgl. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften, *Neubewertung des Schutzes von In-vitro-Embryonen in Deutschland*, Halle/S. 2021.

liert und werden beständig fortgeschrieben und weiterentwickelt. Als „oberstes Gebot“ des Handelns von Ärzt\*innen gilt in der Deklaration von Helsinki die Gesundheit von Patient\*innen. Die in der klinischen Forschung Tätigen sind verpflichtet, die Gesundheit, das Wohlergehen und die Rechte von Patient\*innen und Proband\*innen zu schützen. Außerdem wird auf die sinnhafte und hochrangige Zielsetzung von Forschung abgestellt: „Medizinische Forschung am Menschen darf nur durchgeführt werden, wenn die Bedeutung des Ziels die Risiken und Belastungen für die Versuchsperson überwiegt.“ Dies gilt generell und auch, wenn die Versuchsperson ihre freie und informierte Einwilligung gegeben hat, die zum Schutz ihrer Rechte eingeholt werden muss.

Nun besteht bei Keimbahninterventionen das Problem, dass das Verfahren im Interesse zukünftiger Eltern erfolgt, die zwar ihre freiwillige und informierte Einwilligung erteilen, während von den Konsequenzen aber zukünftige Personen betroffen sind, nämlich das Kind und dessen Kinder, die selbst nicht einwilligen können. Mit Blick auf die grundsätzlichen ethischen Kontroversen rund um die Forschung mit menschlichen Embryonen und den Schutz der Rechte zukünftiger Personen stellt sich also die Frage: Können Keimbahneingriffe am Menschen überhaupt ein medizinisch sinnvolles und hochrangiges Ziel von Forschung darstellen?

### EINE FRAGE DER ALTERNATIVEN

Verfahren der Genomeditierung der menschlichen Keimbahn setzen als ersten Schritt eine In-vitro-Fertilisation voraus, also eine Zeugung im Labor. Das bedeutet, dass Eizellen der Frau nach einer Hormonbehandlung entnommen und im Labor mit Spermazellen des Mannes befruchtet werden. An den befruchteten Eizellen oder frühen Embryonen würde dann die genetische Veränderung vorgenommen. Anschließend müsste über eine Präimplantationsdiagnostik eine Auswahl der erfolgreich veränderten Embryonen vorgenommen werden, die dann für die Herbeiführung der Schwangerschaft verwendet werden. Die zukünftigen Eltern sind also die Patient\*innen der Kinderwunschbehandlung, die genetische Veränderung aber wird an einem Embryo vorgenommen, der zu ihrem Kind werden soll. Für die Einschätzung der Bedeutung der Zielsetzung ist unter anderem relevant, ob es dazu Alternativen gibt.

Für die klinische Anwendung werden drei Konstellationen diskutiert, die für eine erbliche Genomeditierung infrage kommen könnten: (1) monogene Erbkrankheiten, die auf die Mutation in einem einzigen Gen zurückgeführt werden, (2) multifaktorielle Erkrankungen, die durch das Zusammenspiel mehrerer Gene und Umweltfaktoren entstehen, aber auch (3) die Steigerung von nicht mit einer Krankheit assoziierten Eigenschaften von Menschen.

(1) Wenn bei einem autosomal-rezessiven Erbgang wie der Mukoviszidose beide Elternteile die Anlage für die Krankheit tragen, erben 25 Prozent der Embryonen zwei krankmachende Erbanlagen von ihren Eltern und sind von der Erkrankung betroffen. 75 Prozent der Kinder eines solchen Paares erben nur eine oder keine krankmachende Anlage und bekommen die Krankheit nicht. Wenn bei einer autosomal-dominant vererbten Krankheit wie der Chorea Huntington ein Elternteil Anlageträger\*in ist, vererbt dieses Elternteil statistisch an die Hälfte der gemeinsamen Kinder das krankmachende Gen und damit die Krankheit. Die andere Hälfte der gemeinsamen Kinder wäre gesund. In all diesen Fällen ist die Präimplantationsdiagnostik, sofern sie ethisch akzeptiert wird, eine für das entstehende Kind risikofreie Alternative zur Genomeditierung, weil nach der In-vitro-Fertilisation nicht von der Krankheit betroffene Embryonen vorhanden sind, die für die Herbeiführung der Schwangerschaft ausgewählt werden. Fast alle Paare mit dem erhöhten Risiko, eine monogen bedingte Krankheit zu vererben, können also mithilfe einer Präimplantationsdiagnostik biologisch eigene, nicht von der Krankheit betroffene Kinder bekommen.<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Die Ausnahmen betreffen zwei äußerst seltene Konstellationen. Im einen Fall wären beide Eltern von einer autosomal-rezessiv vererbten Krankheit betroffen, aber nicht so schwer erkrankt, sodass eine Elternschaft für sie infrage kommt. Dann wären beide Elternteile homozygot für die Erkrankung und hätten in allen Keimzellen jeweils zwei Kopien des krankmachenden Gens. Sie könnten keine gemeinsamen Kinder bekommen, die nicht an der Erbkrankheit erkrankt sind. Im zweiten Fall wäre ein Elternteil von einer autosomal-dominant vererbten Erkrankung betroffen, selbst homozygot für das die Krankheit verursachende Gen und könnte kein genetisch eigenes, nicht betroffenes Kind bekommen. Dies dürfte allerdings schon deshalb äußerst selten vorkommen, weil homozygote Betroffenheit bei den meisten autosomal-dominant vererbten Erkrankungen nicht mit dem Leben vereinbar ist oder sehr schwere Krankheitsverläufe mit sich bringt. Eine Ausnahme ist Chorea Huntington, wo homozygote Anlageträger\*innen offenbar nicht zwingend stärker betroffen sind als heterozygote Anlageträger\*innen. Beide Fallkonstellationen dürften so extrem selten vorkommen, dass schon allein deshalb infrage steht, ob die geforderte hohe Bedeutung des Forschungsziels angenommen werden kann.

(2) Geht es um die „Korrektur“ von Kandidatengenomen etwa für den familiären Brustkrebs oder eine Alzheimer-Demenz, scheint eine Genomeditierung aufgrund der komplexen Krankheitsgenese, bei der mehrere Gene und Umweltfaktoren eine Rolle spielen, wenig realistisch zu sein. (3) Dies gilt umso mehr für nicht mit einer Krankheit assoziierte Eigenschaften des Menschen wie Sportlichkeit oder Musikalität, deren genetische Grundlagen noch gar nicht verstanden sind.

Rein wissenschaftlich gesehen, könnten Anwendungsszenarien Sinn ergeben, bei denen dem Embryo ein genetisches Merkmal mitgegeben werden soll, etwa Resistenz gegenüber einer multifaktoriellen Erkrankung, das beide Eltern nicht tragen und daher auch nicht vererben können. Dies war etwa der Fall der Experimente, die der Arzt He Jiankui 2018 in China durchgeführt hat. Er übertrug eine Gensequenz auf menschliche Embryonen, die zu einer HIV-Resistenz führen soll. Zwei Kinder sind aus diesen Experimenten hervorgegangen, von denen eines die genetische Veränderung für die HIV-Resistenz trägt – bei dem anderen hat der Eingriff offenbar nicht funktioniert. Aufgrund der Unkalkulierbarkeit der Risiken wurde dieser Menschenversuch weltweit als unverantwortlich verurteilt. Aber auch unabhängig davon, dass das Verfahren unausgereift ist, ist die Zielsetzung fragwürdig: Für die Prävention einer HIV-Erkrankung gibt es deutlich einfachere Wege. Und auch für darüber hinaus gehende Szenarien, die auf eine „Verbesserung“ oder „Steigerung“ von Eigenschaften ohne Krankheitsbezug im Interesse der Eltern und ohne Einwilligung des Kindes zielen, ist eine ethische Rechtfertigung generell kaum denkbar.

Keimbahneingriffe am Menschen mithilfe von CRISPR/Cas9 sind Verfahren der Reproduktionsmedizin zur Erfüllung des Kinderwunsches von Paaren, die eine erbliche Krankheit, deren Anlage sie selbst tragen, nicht an ihr Kind weitergeben oder ein Kind mit bestimmten Eigenschaften bekommen wollen, die sie selbst nicht haben. Bei der Beurteilung der „Bedeutung“ solcher Zielsetzungen im Sinne der Deklaration von Helsinki muss berücksichtigt werden, dass es sich um die Erfüllung von „besonderen“ Kinderwünschen handelt und nicht um die Heilung bereits existierender Patient\*innen.

Bisweilen werden auch weitergehende Zielsetzungen diskutiert, wie die Bekämpfung von Erbkrankheiten auf Bevölkerungsebene, die al-

lerdings mit der Deklaration von Helsinki überhaupt nur auf der Basis einer freiwilligen „vorausplanenden, verantwortlichen Elternschaft“<sup>12</sup> denkbar wären. Das könnte aber leicht als Rollenerwartung an werdende Eltern verstanden werden, ihre Familienplanung nach einer „freiwilligen Eugenik“ zu richten. Eltern dürfen aber nicht für etwaige Krankheiten und Krankheitsdispositionen ihrer Kinder verantwortlich gemacht werden. Außerdem wäre auch aus populationsgenetischer Sicht eine solche Zielsetzung wenig sinnvoll: Die genetischen Anlagen für rezessiv vererbte Erbkrankheiten werden meist unbemerkt weitergegeben, weil die Anlageträger\*innen selbst gesund sind. Autosomal-dominante Erbkrankheiten sind zum größten Teil auf überraschend auftretende Neumutationen zurückzuführen. Außerdem ist die lange Generationenfolge des Menschen zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass einzelne Keimbahnveränderungen auf Bevölkerungsebene wenig Wirkung entfalten würden.<sup>13</sup> Das gilt sowohl für erwünschte als auch für unerwünschte Konsequenzen und sollte berücksichtigt werden, wenn von der Verantwortung für künftige Generationen gesprochen wird.

## EINE FRAGE DER RISIKEN

Die ethische Beurteilung der klinischen Anwendungsszenarien von Keimbahneingriffen am Menschen ist nicht vollständig ohne die Berücksichtigung des Schädigungsrisikos für die betroffenen zukünftigen Personen. Unerwünschte Konsequenzen der Genomeditierung hängen vor allem mit *Off-target*-Effekten, *On-target*-Effekten und Mosaikbildungen zusammen.<sup>14</sup> Von *Off-target*-Effekten wird gesprochen, wenn eine genetische Veränderung an einer anderen Stelle als

<sup>12</sup> Vgl. Hille Haker, Eine Ethik der Elternschaft, in: Giovanni Maio/Tobias Eichinger/Claudia Bozzaro (Hrsg.), *Kinderwunsch und Reproduktionsmedizin. Ethische Herausforderungen der technisierten Fortpflanzung*, München 2013, S. 269–292.

<sup>13</sup> Dies gilt zumindest so lange kein Heterozygoten-Screening auf alle relevanten rezessiv vererbten Krankheiten durchgeführt wird. Dies ist für die Zukunft denkbar, aber mit großer Wahrscheinlichkeit zu aufwendig. Außerdem gilt auch dann, wenn auf diese Weise „Risikopaare“ identifiziert werden, dass ihnen Präimplantationsdiagnostik angeboten werden könnte.

<sup>14</sup> Vgl. Steffen Albrecht/Harald König/Arnold Sauter, *Genome Editing am Menschen*, Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, TAB-Arbeitsbericht 191/2021, S. 68–71.



der erwünschten bewirkt wird, bei *On-target*-Effekten wird eine unerwünschte Veränderung am Zielort bewirkt. Eine Mosaikbildung liegt vor, wenn nur ein Teil der Zellen eines Organismus die genetische Veränderung trägt, ein anderer Teil nicht. All diese unerwünschten Konsequenzen von Keimbahneingriffen können zu Schädigungen des Organismus führen. Bislang kommen diese unerwünschten Konsequenzen noch relativ häufig vor. An ihrer Minimierung wird zwar intensiv gearbeitet, aber es kann heute nur darüber spekuliert werden, wie weit das gelingen kann.

Generell gilt allerdings, dass die Anforderungen an die Risikominimierung bei Keimbahneingriffen am Menschen im Vergleich etwa mit Tierversuchen sehr viel höher sind. Eine Schädigung der zukünftigen Person und ihrer Nachkommen müsste weitestgehend ausgeschlossen werden können. Dabei ist auch zu bedenken, dass sich mögliche unerwünschte Konsequenzen in vollem Ausmaß erst im Laufe des Lebens der betroffenen Person zeigen würden.

Außerdem wissen wir heute, dass die Entwicklung eines Organismus mit all seinen Eigenschaften und Veranlagungen auf das äußerst komplexe Zusammenwirken von genetischen, umweltlichen, zellulären und extrazellulären Faktoren zurückzuführen ist. Die ursprüngliche Vorstellung, die Keimbahn enthalte eine Art Masterplan für die Entwicklung des Organismus, ist schon lange überholt.<sup>15</sup> So gibt es vorgelagerte Prozesse, die Gene aktivieren oder deaktivieren, sowie nachgelagerte Prozesse, die abgelesene Gensequenzen sekundär modifizieren. Diese Prozesse dienen der Steuerung der Aktivität von Genen bei der Ausbildung von spezialisierten Zellen, Geweben und Organen im Laufe der Entwicklung des Organismus.<sup>16</sup> Die Einschätzung der erwünschten und unerwünschten Konsequenzen von Keimbahneingriffen in dem sich entwickelnden Organismus kann sich angesichts dieser komplexen systemischen Wechselwirkungen kaum auf die Vorstellung einfacher Ursache-Wirkungszu-

sammenhänge stützen. Das bedeutet letztlich, dass eine vollständige und sichere Prognose der Konsequenzen von Eingriffen in die menschliche Keimbahn für künftige Personen und deren Nachkommen mit großer Wahrscheinlichkeit auch zukünftig nicht möglich sein wird. Daher ist es aus ethischer Sicht fragwürdig, ob die Zielsetzung, die Kinderwünsche von Paaren zu erfüllen, die eine erbliche Krankheit, deren Anlage sie selbst tragen, nicht an ihr Kind weitergeben oder ein Kind mit bestimmten Eigenschaften bekommen wollen, die sie selbst nicht haben und für die es zudem meist weniger risikoreiche Alternativen gibt, rechtfertigen kann, zukünftige Kinder und deren Kinder ohne deren Zustimmung kaum kalkulierbaren Schädigungsrisiken auszusetzen.

## POTENZIAL FÜR DIE SOMATISCHE GENTHERAPIE

Die Weiterentwicklung der somatischen Gentherapie mithilfe der Genomeditierung stellt dagegen ein durchaus vielversprechendes Forschungsgebiet dar.

Die klassische somatische Gentherapie der 1990er Jahre folgt dem Konzept der „Gegensatztherapie“. Damit sollen monogene Erbkrankheiten, die auf ein fehlerhaftes Gen zurückzuführen sind, durch das Einfügen eines korrekten Gens geheilt werden. So wurde in den ersten klinischen Versuchen bei Kindern, denen ein für die Funktion des Immunsystems notwendiges Enzym fehlt, im Labor (*ex vivo*) ein intaktes Genkonstrukt in Blutstammzellen übertragen. Die Zellen werden vermehrt und per Infusion in den Körper zurückgebracht. Zunächst wurde von mehreren erfolgreichen Behandlungen berichtet, dann erkrankten einige der Kinder in der Folge an Leukämie. Retrovirale Vektoren ermöglichen zwar, das therapeutische Gen stabil ins Genom der Zielzelle „einzubauen“, dies erfolgt allerdings ungezielt und kann die Funktion anderer Gene stören. Beim zweiten klinischen Ansatz der somatischen Gentherapie für monogene Stoffwechselerkrankungen wurde mit adenoviralen Vektoren gearbeitet. Diese sind von Erkältungsviren abgeleitet und dringen in die Zielzellen ein, ohne sich in deren Genom einzufügen. Ein dauerhafter therapeutischer Effekt kann damit nicht erzielt werden, und es muss eine große Menge veränderter Viren direkt in den Körper

<sup>15</sup> Vgl. Richard Strohmman, *Epigenesis: The Missing Beat in Biotechnology?*, in: *Nature Biotechnology* 12/1994, S. 156–164.

<sup>16</sup> Vgl. Jörn Walter/Nina Gasparoni, Themenbereich Epigenetik: von Zellidentitäten bis hin zu Krankheiten und Therapien, in: Boris Fehse et al. (Hrsg), *Fünfter Gentechnologiebericht. Sachstand und Perspektiven für Forschung und Anwendung*, Baden-Baden 2021, S. 93–113.

übertragen werden (*in vivo*), was extrem starke Immunantworten auslösen kann. Das war der Grund für den Tod des 18-jährigen Jesse Gelsinger infolge eines klinischen Versuchs 1999. Andere klassische somatische Gentherapieversuche zielen auf Krebserkrankungen, indem beispielsweise sogenannte Selbstmordgene in Tumorzellen eingeschleust werden oder das Immunsystem zur Bekämpfung von Krebszellen stimuliert wird. Das gemeinsame Ziel der unterschiedlichen Gentherapiestrategien ist, die Menge an Tumorzellen im Körper zu reduzieren.

Die Genomeditierung ermöglicht es, somatische Gentherapieansätze zu entwickeln, mit deren Hilfe Veränderungen der DNA gezielt an der gewünschten Stelle vorgenommen werden können. Sie hat damit das Potenzial, Defekte von Genen zu „korrigieren“. Das veränderte Gen könnte in seiner natürlichen Umgebung sogar korrekt reguliert werden. Dieses Konzept geht weit über die Möglichkeiten einer „Genersatztherapie“ hinaus. Es eröffnet ganz neue Möglichkeiten der Entwicklung von Gentherapien für monogene Erbkrankheiten, mit denen sich viele Probleme der klassischen somatischen Gentherapie lösen lassen könnten. Auch für Krebserkrankungen und Infektionskrankheiten können neue, innovative Therapieansätze entwickelt werden.<sup>17</sup> Auch wenn in vielen Fällen noch zahlreiche Hürden vor einer klinischen Anwendung zu überwinden sind, haben wir es hier mit sinnvollen und realistischen Zielsetzungen zur Entwicklung innovativer Therapien für schwer kranke Patient\*innen zu tun. Die für die ethische Rechtfertigung medizinischer Forschung mit Patient\*innen und Proband\*innen erforderliche hochrangige Zielsetzung ist damit gegeben. *Off-* und *On-target*-Effekte können auch bei diesen neuen Ansätzen ein Schädigungspotenzial für Patient\*innen und Proband\*innen bergen. Bei *Ex-vivo*-Strategien, bei denen die gentechnischen Eingriffe an Zellen im Labor vorgenommen werden, müssen Methoden entwickelt werden, solche Nebeneffekte zuverlässig erkennen und die Zellen aussortieren zu können, bevor sie in den Körper zurückgebracht werden. Schwieriger zu lösen sind die Probleme von *In-*

*vivo*-Strategien, die in den relativ ineffizienten und nur teilweise gewebespezifischen gentechnischen Eingriffen im lebenden Organismus sowie in Immunreaktionen gegen die Editierungswerkzeuge bestehen.<sup>18</sup>

Klinische Versuche sind dann ethisch gerechtfertigt, wenn sie der Gesundheit von Patient\*innen dienen, die Gesundheitsrisiken für die Patient\*innen und Proband\*innen zuverlässig eingeschätzt werden können, deren freie und informierte Einwilligung vorliegt und die Bedeutung des Ziels die Risiken und Belastungen überwiegt. Aus den Rückschlägen der klassischen somatischen Gentherapie ist die Lehre zu ziehen, dass mit klinischen Versuchen erst dann begonnen werden sollte, wenn die Konzepte so weit ausgereift sind, dass diese Bedingungen erfüllt werden können. Grundsätzliche ethische Kontroversen über die Schutzwürdigkeit menschlicher Embryonen oder die Rechte zukünftiger Generationen betreffen die innovativen Ansätze der somatischen Gentherapie im Unterschied zu gentechnischen Eingriffen in die Keimbahn jedenfalls nicht.

#### SIGRID GRAUMANN

ist Professorin für Ethik und Rektorin der Evangelischen Hochschule Rheinland-Westfalen-Lippe sowie Mitglied des Deutschen Ethikrats.

graumann@evh-bochum.de

<sup>17</sup> Vgl. Boris Fehse/Ulrike Abramowski-Wock, Anwendung des Genome Editing in der somatischen Gentherapie, Wiesbaden 2021, S. 30–34.

<sup>18</sup> Vgl. Albrecht/König/Sauter (Anm. 14), S. 77f.

# RECHT VS. NATURWISSENSCHAFTEN?

## Die Debatte zur Regulierung grüner Gentechnik in der EU

*Katharina Schreiber*

2018 entschied der Europäische Gerichtshof (EuGH) im Urteil „Confédération paysanne“, dass Organismen, die mit Genomeditierungsverfahren erzeugt worden sind, dem Europäischen Gentechnikrecht unterliegen. Das Urteil hat eine Reformdebatte rund um die rechtliche Regulierung grüner Gentechnik zur Erzeugung neuer Pflanzensorten angestoßen. Die unterschiedlichen Reformvorschläge zeigen, wie umstritten das Thema weiterhin ist. Auch die Europäische Kommission hat sich im April 2021 zu der Frage geäußert, wodurch die Reformdiskussion politisch Fahrt aufgenommen hat.

### HERKÖMMLICHE UND ZIELGERICHTETE MUTAGENESE

Der Einsatz von Gentechnik in der Landwirtschaft ist an sich keine neue Entwicklung. Bereits seit den 1920er Jahren werden gentechnische Verfahren eingesetzt, um neue Pflanzensorten mit bestimmten Eigenschaften zu erzeugen, wie zum Beispiel Toleranzen gegen klimatische Extrembedingungen (Trockenheit, Hitze, Kälte), höhere ernährungsphysiologische Qualität und neue Verarbeitungsmöglichkeiten. Hier werden die sogenannten herkömmlichen Mutageneseverfahren eingesetzt, mit denen die Rate genetischer Veränderungen durch chemische Substanzen oder Bestrahlung signifikant erhöht wird.<sup>01</sup> Dabei ist nur die Erzeugung ungerichteter Mutationen möglich, es können also keine spezifischen Eigenschaften gezielt hervorgerufen werden.<sup>02</sup> Der züchterische Prozess, bei dem eine sehr hohe Anzahl an Pflanzen generiert wird, die hinsichtlich der gewünschten Eigenschaften ausgewählt und zur Kreuzung eingesetzt werden, ist sehr aufwendig.

Demgegenüber bedeuten Genomeditierungsverfahren einen großen Entwicklungsschritt. Grundsätzlich umfassen solche Verfahren ein breites Feld an Anwendungsmöglichkeiten. In der aktuellen Reformdebatte geht es vor allem

um den spezifischen Anwendungsfall der sogenannten zielgerichteten Mutagenese: Hier können einzelne Basenpaare im Genom einer Pflanze ausgetauscht, entfernt oder hinzugefügt werden. Entscheidender Unterschied zu den herkömmlichen Mutageneseverfahren ist, dass gezielt, also an einem vorher bestimmten Ort im Erbgut, Mutationen in unterschiedlichen Formen hervorgerufen werden können.<sup>03</sup> Die Risiken dieses Verfahrens sind unter Experten umstritten.<sup>04</sup>

Seit dem Aufkommen von Genomeditierungsverfahren, vor allem des CRISPR/Cas9-Systems im Jahr 2012, wird intensiv diskutiert, ob mithilfe solcher „Genschere“ erzeugte Pflanzen den Regelungen des Europäischen Gentechnikrechts unterfallen.

### DIE FREISETZUNGSRICHTLINIE IM EUROPÄISCHEN GENTECHNIKRECHT

Herzstück des Europäischen Gentechnikrechts ist die Freisetzungsrichtlinie, die ein verpflichtendes behördliches Zulassungsverfahren für genetisch veränderte Organismen (GVO) festlegt, bevor sie in die Umwelt freigesetzt und auf den Markt gebracht werden dürfen. Ziel ist der Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt im Sinne des Vorsorgeprinzips, das ein wichtiges Leitprinzip des europäischen Umweltrechts ist.<sup>05</sup> Zwar sind Inhalt und Anwendungsvoraussetzungen des Vorsorgeprinzips im Einzelnen umstritten, allgemein als Definition anerkannt ist aber Prinzip 15 der Rio-Erklärung über Umwelt und Entwicklung von 1992: Demnach sind staatliche Risikoregulierungsmaßnahmen bereits in Fällen wissenschaftlicher Unsicherheit gerechtfertigt, wenn schwere oder irreversible Schäden für Mensch und Umwelt drohen.

Die Freisetzungsrichtlinie legt den Anwendungsbereich des gesamten Europäischen Gentechnikrechts fest. Erstens definiert sie einen GMO als „Organismus (...), dessen genetisches Material so

verändert worden ist, wie es auf natürliche Weise durch Kreuzen und/oder natürliche Rekombination nicht möglich ist“. Zweitens bestimmt sie mithilfe sogenannter Positiv- und Negativlisten, welche Verfahren der genetischen Veränderung einen GVO erzeugen oder nicht. Hier gibt es eine sogenannte Mutageneseausnahme, durch die Organismen, die mit Mutageneseverfahren erzeugt worden sind, aus dem Anwendungsbereich der Richtlinie herausgenommen werden. Bei Erlass der Freisetzungsrichtlinie 1990 wurden die herkömmlichen Mutageneseverfahren aus dem Anwendungsbereich ausgeklammert, da sie bereits damals seit Jahrzehnten standardmäßig in der Pflanzenzüchtung angewandt wurden und seit Langem als sicher galten.

Im Rahmen des Zulassungsverfahrens für GVO findet eine Risikobeurteilung (*risk assessment*) statt, bei der von Fall zu Fall etwaige direkte, indirekte, sofortige oder spätere schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt ermittelt und evaluiert werden. Nach der europaweit geltenden Zulassung bestehen strenge Kennzeichnungs- und Monitoringpflichten. 18 der 27 EU-Mitgliedstaaten machen aktuell von der 2015 erlassenen *Opt-out*-Regelung Gebrauch und verbieten den Anbau von GVO auf ihrem Territorium.<sup>06</sup>

## DAS EUGH-URTEIL

Der EuGH entschied, dass durch Genomeditierungsverfahren erzeugte Organismen unter die Freisetzungsrichtlinie fallen und somit dem Zulassungsverfahren sowie Kennzeichnungs- und Monitoringpflichten unterliegen.<sup>07</sup> In seinem Urteil

ging der EuGH in zwei Schritten vor, wie es auch in der Freisetzungsrichtlinie selbst angelegt ist: Zunächst legten die Richter die Definition eines GVO primär prozessbezogen aus.<sup>08</sup> Das bedeutet, dass es zur Qualifizierung eines GVO vornehmlich auf den Einsatz einer (Gen-)Technik als „unnatürliches“ Handeln ankommt, das sich als Mutation im Genom der Pflanze niederschlagen muss.<sup>09</sup> In einem zweiten Schritt legte der EuGH die Mutageneseausnahme eng aus.<sup>10</sup> Das heißt, dass nur die Verfahren der Mutagenese, die herkömmlich und seit Langem als sicher gelten, vom Anwendungsbereich der Richtlinie ausgeschlossen sind.

Hier kam es entscheidend auf die Auslegung des Begriffs an: „Mutagenese“ ist ein unbestimmter Rechtsbegriff, der zwar der naturwissenschaftlichen Fachterminologie entlehnt ist, deswegen aber nicht seine Qualität als Rechtsbegriff verliert. Versteht man unter „Mutagenese“ die Erzeugung von Mutationen in einem Organismus und demzufolge als einen Oberbegriff, sind auch zielgerichtete Mutageneseverfahren zur künstlichen Erzeugung von Mutationen in einem Organismus umfasst. Der EuGH argumentierte jedoch mit dem Willen des Unionsgesetzgebers, vom Anwendungsbereich der Richtlinie nur diejenigen Mutageneseverfahren auszuschließen, die standardmäßig in der Pflanzenzüchtung angewandt werden.<sup>11</sup> Es handelt sich hierbei also um das Argument fehlenden Erfahrungswissens. Seine Auslegung begründete der EuGH mit dem Vorsorgeprinzip, eine andere Interpretation würde „dem Vorsorgeprinzip zuwiderlaufen“.<sup>12</sup>

## POLITISCHE BESTREBUNGEN FÜR EINE NEUJUSTIERUNG

Unmittelbar nach dem Urteil kam Kritik mit Blick auf seine Umsetzbarkeit auf: Pflanzen, die durch zielgerichtete Mutageneseverfahren erzeugt wurden, sind nicht von Pflanzen zu un-

**01** Vgl. Heiko Becker, *Pflanzenzüchtung*, Stuttgart 2019, S. 207 f.

**02** Vgl. Thomas Langer, *Mutation und Reparatur*, in: Katharina Munk et al. (Hrsg.), *Genetik*, Stuttgart–New York 2017, S. 370–420, hier S. 401.

**03** Für einen Überblick siehe Basiswissen CRISPR/Cas, in: Toni Cathomen/Holger Puchta (Hrsg.), *CRISPR/Cas9. Einschneidende Revolution in der Gentechnik*, Berlin 2018, S. 1–67.

**04** Vgl. Eva Gelinsky/Angelika Hilbeck, *European Court of Justice Ruling Regarding New Genetic Engineering Methods Scientifically Justified: A Commentary on the Biased Reporting About the Recent Ruling*, in: *Environmental Sciences Europe* 30/2018, <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0182-9>.

**05** Zum Begriff „umweltrechtliches Leitprinzip“ siehe Christian Callies/Matthias Ruffert, *EUV/AEUV. Kommentar*, München 2022, Art. 191 AEUV, Rn. 28.

**06** Vgl. Richtlinie (EU) 2015/412, 13.3.2015.

**07** Vgl. EuGH, Urteil vom 25.7.2018, Rechtssache C-528/16, Rn. 54.

**08** Vgl. ebd., Rn. 27–38.

**09** Vgl. Hans-Georg Dederer, *Genomeditierung ist Gentechnik. Eine kritische Analyse des EuGH-Urteils Confédération paysanne u. a.*, in: *Zeitschrift für Europäisches Umwelt- und Planungsrecht* 2/2019, S. 236–245, hier S. 241; so auch Elisabeth Andersen/Katharina Schreiber, „Genome Editing“ vor dem EuGH und seine Folgen, in: *Natur und Recht* 2/2020, S. 99–106, hier S. 101.

**10** Vgl. EuGH (Anm. 7), Rn. 39–51.

**11** Vgl. ebd., Rn. 51.

**12** Ebd., Rn. 53. Vgl. umfassend Katharina Schreiber, *Recht und Ethik der Risikoregulierung in der Grünen Gentechnik*, Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg 2023.

terscheiden, die auf herkömmliche Mutageneseverfahren zurückgehen. Das stellt Behörden vor praktische Schwierigkeiten, entsprechende Produkte als „mit Gentechnik hergestellt“ zu klassifizieren und zu kennzeichnen.<sup>13</sup> Vor diesem Hintergrund beauftragten die EU-Staats- und Regierungschefs die Kommission mit einer Studie zum Status genomeditierter Organismen im Unionsrecht,<sup>14</sup> die im April 2021 vorgelegt wurde. Darin skizzierte die Kommission keine konkreten Reformvorschläge, insgesamt lässt sich jedoch herauslesen, dass sie eine Neujustierung des geltenden Rechts tendenziell befürwortet.

Mit Blick auf die Identifizier- und Nachverfolgbarkeit genomeditierter Pflanzen und daraus entwickelter Produkte sieht sie die Gefahr welthandelsrechtlicher Auseinandersetzungen, da wichtige Handelspartner solche Produkte weder regulieren noch kennzeichnen würden.<sup>15</sup> Ferner spricht die Kommission so erzeugten Pflanzen zu, einen wichtigen Beitrag zur Europäischen Nachhaltigkeitsstrategie leisten zu können, indem sie beispielsweise durch Toleranzen gegen Extrembedingungen zu einer klimaangepassten Landwirtschaft beitragen könnten. Im Hinblick auf Sicherheitsbedenken bestätigt sie zwar einerseits den geltenden Ansatz der Risikobeurteilung, GVO von Fall zu Fall auf schädliche Auswirkungen zu untersuchen. Andererseits weist sie darauf hin, dass eine weiterhin strenge Anwendung der geltenden Vorschriften bei neuen Pflanzenzüchtungsverfahren Probleme für die Anpassung an den wissenschaftlichen Fortschritt nach sich ziehen könnte.

Entscheidend für eine mögliche Reform ist, dass die Kommission die unterschiedliche Regulierung von genetisch identischen Produkten infrage stellt: Sie kommt zu dem Schluss, dass den Organismen die gleichen Risiken anhaften – unabhängig davon, ob sie durch herkömmliche oder zielgerichtete Mutageneseverfahren oder sogenannte Cisgenese-Verfahren erzeugt worden sind.<sup>16</sup> Bei Cisgenese-Verfahren wird ausschließlich arteigenes Genmaterial übertragen,

anders als bei Transgenese-Verfahren, bei denen Fremd-DNA in einen Organismus über Artgrenzen hinweg eingefügt wird.<sup>17</sup> Die Kommission hat nunmehr gesetzgeberische Bestrebungen für die Entwicklung eines eigenen Regelwerkes für so erzeugte Pflanzen sowie Lebens- und Futtermittel angekündigt. Ein konkreter Vorschlag der Kommission wird für Ende 2023 erwartet.<sup>18</sup>

## REFORMVORSCHLÄGE IM ÜBERBLICK

Dieser wird sich einordnen in ein weites Spektrum an Regulierungsoptionen, die seit dem EuGH-Urteil diskutiert werden. Dabei lassen sich drei unterschiedliche Strömungen mit wachsendem Abstand zur aktuellen Rechtslage herauslesen.

### Beibehaltung des geltenden Rechtsrahmens

Am einen Ende des Spektrums wird für die fort-dauernde Anwendung des Europäischen Gentechnikrechts auf Erzeugnisse von Genomeditierungsverfahren plädiert. Hier unterscheiden sich die Argumentationsweisen: Einerseits wird das Erfordernis strenger Kontrolle betont, andererseits wird für einen flexibleren Umgang mit dem geltenden Recht geworben.

Für eine strikte Anwendung des gegenwärtigen Zulassungsverfahrens auf alle durch Genomeditierungsverfahren erzeugten Pflanzen sprechen sich vor allem Debattenteilnehmer aus, die wie der Verein Testbiotech kritisch gegenüber der Freisetzung und Inverkehrbringung von GVO eingestellt sind. Ihr Hauptargument ist, dass sich diese Verfahren hinsichtlich ihrer Risiken und potenziellen Auswirkungen wesentlich von konventionellen Mutageneseverfahren unterscheiden, weil sie ermöglichen, umfassender in das Erbgut einzugreifen als bisher.<sup>19</sup> Insbesondere weisen sie das Ar-

<sup>17</sup> Vgl. Frank Kempken, *Gentechnik bei Pflanzen*, Berlin 2020, S. 11.

<sup>18</sup> Für einen Überblick siehe [https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13119-Legislation-for-plants-produced-by-certain-new-genomic-techniques\\_en](https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/13119-Legislation-for-plants-produced-by-certain-new-genomic-techniques_en).

<sup>19</sup> Vgl. Testbiotech, *Overview of Genome Editing Applications Using SDN-1 and SDN-2 in Regard to EU Regulatory Issues*, März 2020, S. 11 ff.; Michael Eckerstorfer et al., *Biosafety of Genome Editing Applications in Plant Breeding: Considerations for a Focused Case-Specific Risk Assessment in the EU*, in: *BioTech 3/2021*, <https://doi.org/10.3390/biotech10030010>; Bundesamt für Naturschutz (BfN), *New Developments and Regulatory Issues in Plant Genetic Engineering*, BfN Viewpoint, Oktober 2021, S. 4f., S. 13.

<sup>13</sup> Vgl. umfassend Elisabeth Andersen/Katharina Schreiber, *Neue Regeln für die Gentechnik in Europa?*, in: *Natur und Recht 3/2020*, S. 168–178, hier S. 171 f.

<sup>14</sup> Vgl. Beschluss (EU) 2019/1904 des Rates, 8. 11. 2019, Absatz 4.

<sup>15</sup> Vgl. hier und im Folgenden European Commission, *Study on the Status of New Genomic Techniques Under Union Law and in Light of the Court of Justice Ruling in Case C-528/16*, Commission Staff Working Document 92/2021, S. 52–59.

<sup>16</sup> Vgl. ebd., S. 59.

gument zurück, dass Genomeditierungsverfahren präziser und daher sicherer seien, und verweisen auf die Möglichkeit unvorhergesehener Effekte bei der Veränderung genetischen Materials.<sup>20</sup> Daher sei es notwendig, die aktuelle Risikobeurteilung vor allem in Bezug auf die Identifizierung von Risiken anzupassen und zu erweitern. Die zentrale Rolle des Vorsorgeprinzips bei der Sicherung eines hohen Schutzniveaus für Mensch und Umwelt sei auch in Zukunft zu stärken.<sup>21</sup> Dies werde aus ethischer Perspektive untermauert, die das Vorsorgeprinzip zur Maxime eines angemessenen Umgangs mit neuen Technologien im Falle wissenschaftlicher Unsicherheit erhebe.<sup>22</sup>

Demgegenüber weisen einige Debattenteilnehmer auf die bereits bestehenden Instrumente der Freisetzungsrichtlinie hin, die ohne Änderung der Rechtslage ein vereinfachtes Zulassungsverfahren für genomeditierte Organismen ermöglichen.<sup>23</sup> Sie sehen darin vor allem eine Möglichkeit, die Zeit bis zur Änderung der geltenden Rechtslage zu überbrücken.<sup>24</sup> Wenn mit der Freisetzung bestimmter, mit zielgerichteten Mutageneseverfahren erzeugter GVO in bestimmten Ökosystemen ausreichend Erfahrungen gesammelt worden sei, könne ein Beschluss ergehen, dass Freisetzungen eines GVO am selben Ort oder an verschiedenen Orten zum selben Zweck und innerhalb eines bestimmten Zeitraums in einem einzigen Anmeldeverfahren beantragt werden dürfen.<sup>25</sup> Um

das Zulassungsverfahren zu vereinfachen, wird zudem vorgeschlagen, dass die ergänzenden Guidelines der European Food Safety Agency, die als Hilfestellung bei einem Zulassungsantrag dienen, dahingehend geändert werden, dass sie die Eigenschaften genomeditierter Pflanzen stärker berücksichtigen.<sup>26</sup> So könnten detaillierte Kriterien ausgearbeitet werden, wann solche Pflanzen einem vereinfachten Verfahren unterliegen: In Betracht kommen unter anderem die Art der genetischen Veränderung und die Relevanz des neuen Züchtungsmerkmals für eine nachhaltige und klimaangepasste Landwirtschaft.<sup>27</sup>

### Änderung des geltenden Rechtsrahmens

Eine Vielzahl der Kommentatoren fordert, Pflanzen, die mithilfe zielgerichteter Mutageneseverfahren produziert wurden, aus dem Anwendungsbereich der Freisetzungsrichtlinie herauszunehmen, da ihre Anwendbarkeit wissenschaftlich nicht zu rechtfertigen sei.<sup>28</sup> Ihr Hauptargument ist, dass genetisch identische Pflanzen der gleichen Regulierung unterliegen sollten, unabhängig davon, ob sie durch herkömmliche oder zielgerichtete Mutageneseverfahren erzeugt worden sind.<sup>29</sup> Ihre Reformvorschläge beziehen sich daher auf die Änderung des Anwendungsbereichs der Freisetzungsrichtlinie und/oder auf das geltende Verfahren zur Risikobeurteilung und zum

**20** Für eine umfassende Diskussion möglicher unvorhergesehener Effekte vgl. Katharina Kawall/Janet Cotter/Christoph Then, *Broadening the GMO Risk Assessment in the EU for Genome Editing Technologies in Agriculture*, in: *Environmental Sciences Europe* 32/2020, Artikelnr. 106.

**21** Vgl. ebd.; Klaus Peter Rippe/Ariane Willemsen, *The Idea of Precaution: Ethical Requirements for the Regulation of New Biotechnologies in the Environmental Field*, in: *Frontiers in Plant Science* 9/2018, Artikelnr. 1868; Eckerstorfer et al. (Anm. 19); BfN (Anm. 19), S. 16.

**22** Vgl. Rippe/Willemsen (Anm. 21).

**23** Vgl. Martin Wasmer, *Roads Forward for European GMO Policy – Uncertainties in Wake of ECJ Judgment Have to Be Mitigated by Regulatory Reform*, in: *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 7/2019, Artikelnr. 132; Huw D. Jones, *Future-Proofing Regulation for Rapidly Changing Biotechnologies*, in: *Transgenic Research* 2/2019 (Supplement), S. 107–110, hier S. 110.

**24** Vgl. ebd.

**25** Dies erfolgt im Rahmen der sog. vereinfachten Verfahren gem. Art. 7 Abs. 1, 13 Abs. 2, 16 Abs. 1 FreisetzungRL; auf diese Möglichkeiten weisen mehrere Autoren hin. Vgl. Wasmer (Anm. 23); Jones (Anm. 23); Dennis Eriksson et al., *Options to Reform the European Union Legislation on GMOs: Scope and Definitions*, in: *Trends in Biotechnology* 3/2020, S. 231–234, hier S. 233.

**26** Vgl. The Norwegian Biotechnology Advisory Board, *Proposal for Relaxation of Norwegian Regulations for Deliberate Release of Genetically Modified Organisms (GMO), With Applicability Also for EU Legislation*, Dezember 2018, S. 32f.; Wasmer (Anm. 23).

**27** Vgl. Norwegian Biotechnology Advisory Board (Anm. 26), S. 32f.

**28** Vgl. Nationale Akademie der Wissenschaften (Leopoldina)/Union der deutschen Akademien der Wissenschaften (Akademieunion)/Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) (Hrsg.), *Wege zu einer wissenschaftlich begründeten, differenzierten Regulierung genomeditierter Pflanzen in der EU*. Stellungnahme, Halle/S. 2019, S. 71; European Plant Science Organisation (EPSO), *On the ECJ Ruling Regarding Mutagenesis and the Genetically Modified Organisms Directive: Statement*, 19.2.2019, S. 2; Group of Chief Scientific Advisors (GCSA), *A Scientific Perspective on the Regulatory Status of Products Derived from Gene Editing and the Implications for the GMO Directive*, 13.11.2018, S. 3ff.

**29** Vgl. Eriksson et al. (Anm. 25), S. 232; EPSO (Anm. 28), S. 2; Leopoldina/Akademieunion/DFG (Anm. 28), S. 71, S. 73; Nina Duensing et al., *Novel Features and Considerations for ERA and Regulation of Crops Produced by Genome Editing*, in: *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 6/2018, Artikelnr. 79; Petra Jorasch, *The Global Need for Plant Breeding Innovation*, in: *Transgenic Research* 28/2019 (Supplement 2), S. 81–86, hier S. 85.

Risikomanagement. Risikomanagement bedeutet hier, dass der Antragstellende nach Zulassung mögliche schädliche Auswirkungen des GVO auf die Umwelt und menschliche Gesundheit erfasst und die zuständige Behörde die Monitoringberichte bewertet und gegebenenfalls Maßnahmen ergreift.

Für die Herausnahme aus dem Anwendungsbereich des Europäischen Gentechnikrechts gibt es zwei Anknüpfungspunkte in der Freisetzungsrichtlinie: zum einen die GVO-Definition, zum anderen die sogenannte Negativliste (Anhang IA Teil 2) beziehungsweise der Ausnahmetatbestand (Anhang IB). Mit Blick auf die GVO-Definition sprechen sich einige Debattenteilnehmer wie die Group of Chief Scientific Advisors der Europäischen Kommission für einen Wechsel von der prozessbezogenen Auslegung – wie der EuGH sie bislang anwendet – hin zu einer produktbezogenen Auslegung aus.<sup>30</sup> Das würde bedeuten, dass die Qualifizierung eines GVO davon abhängig gemacht wird, ob die im Endprodukt vorhandene genetische Veränderung auf natürlichem Weg hätte entstehen können.<sup>31</sup> In diesem Zusammenhang wird vorgeschlagen, die GVO-Definition im Europäischen Gentechnikrecht im Einklang mit dem Protokoll von Cartagena über die Biologische Sicherheit zu lesen,<sup>32</sup> dem wichtigsten völkerrechtlich verbindlichen Vertrag in Bezug auf GVO, dessen Artikel 3 lit. g auf eine „neuartige Kombination genetischen Materials“ zur Qualifizierung abstellt.

Eine andere Möglichkeit wäre aus Sicht der Nationalen Akademie der Wissenschaften Leopoldina, zielgerichtete Mutageneseverfahren auf die sogenannte Negativliste zu setzen und von vorneherein nicht als Verfahren genetischer Modifikation einzuordnen, die die GVO-Definition umfasst.<sup>33</sup> Ein ähnlich gelagerter Vorschlag der European Plant Science Organisation lautet, den Ausnahmetatbestand umzugestalten: Entweder könne – entgegen der Interpretation des EuGH – der Begriff „Mutagenese“ so definiert werden, dass er auch zielgerichtete Mutageneseverfahren einschließt,<sup>34</sup> oder diese könnten eigenständig in die Liste der Ausnahmetatbestände aufgenommen

werden.<sup>35</sup> Davon losgelöst wird vorgeschlagen, anstelle der Auflistung von Verfahren zur genetischen Modifikation allgemeine Kriterien einzuführen, die zur Erfüllung des Ausnahmetatbestandes vorliegen müssten.<sup>36</sup>

Ein weiterer Diskussionsstrang dreht sich um den angemessenen Harmonisierungsgrad der Freisetzungsrichtlinie.<sup>37</sup> Dieser bestimmt, inwiefern die Mitgliedstaaten die Vorgaben aus der Richtlinie in innerstaatliches Recht umsetzen müssen. Aktuell gilt eine umfassende Vollharmonisierung, die Mitgliedstaaten dürfen also keine anderen Regeln einführen als jene, die in der Richtlinie festgelegt sind.<sup>38</sup> Um Mitgliedstaaten die Möglichkeit einzuräumen, GVO trotz der kritischen Haltung anderer Mitgliedstaaten anzubauen, wird vorgeschlagen, dass zwar die Risiko-beurteilung vollharmonisiert bleibt, das Risikomanagement aber nur noch mindestharmonisiert auf mitgliedstaatlicher Ebene stattfindet.<sup>39</sup> Dies würde bedeuten, dass die Richtlinie für das Risikomanagement nur noch einheitliche Mindeststandards festlegt, wobei es im Ermessen der einzelnen Mitgliedstaaten läge, höhere Standards zu setzen.<sup>40</sup> Da es Bedenken gibt, dass dies den Grundsatz einheitlicher, EU-weit geltender Zulassungsbestimmungen untergraben könnte, wird alternativ ein *opt-in* für den GVO-Anbau vorgeschlagen, das Mitgliedstaaten in Anspruch nehmen könnten, wenn das Zulassungsverfahren eines GVO aufgrund einer politischen Blockade scheitert und ansonsten alle Kriterien für eine Zulassung erfüllt sind.<sup>41</sup>

<sup>35</sup> Vgl. ebd.; Wasmer (Anm. 23).

<sup>36</sup> Vgl. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (Netherlands), Proposal for Discussion on Actions to Improve the Exemption Mechanism Under Directive 2001/18/EC, 1.9.2017, S. 4, S. 6f.

<sup>37</sup> Vgl. die Diskussion bei Kai Purnhagen/Justus Wesseler, Maximum vs Minimum Harmonization: What to Expect from the Institutional and Legal Battles in the EU on Gene Editing Technologies, in: Pest Management Science 9/2019, S. 2310–2315; Dennis Eriksson et al., Options to Reform the European Union Legislation on GMOs: Risk Governance, in: Trends in Biotechnology 4/2020, S. 349–351, hier S. 350.

<sup>38</sup> Zur Vollharmonisierung vgl. Meinhard Schröder, in: Rudolf Streinz (Hrsg.), EUV/AEUV. Kommentar, München 2018, Art. 114, Rn. 46.

<sup>39</sup> Vgl. Eriksson et al. (Anm. 37), S. 350.

<sup>40</sup> Zur Mindestharmonisierung vgl. Schröder (Anm. 38), Rn. 49.

<sup>41</sup> Vgl. Eriksson et al. (Anm. 37), S. 350 mit Verweis auf dens. et al., Implementing an EU Opt-in Mechanism for GM Crop Cultivation, in: EMBO Reports 5/2019, <https://doi.org/10.15252/embr.201948036>.

<sup>30</sup> Vgl. GCSA (Anm. 28), S. 4; Eriksson et al. (Anm. 25), S. 232.

<sup>31</sup> Vgl. Andersen/Schreiber (Anm. 9), S. 99ff.

<sup>32</sup> Vgl. Eriksson et al. (Anm. 25), S. 232; EPSO (Anm. 28), S. 4.

<sup>33</sup> Vgl. Leopoldina/Akademieunion/DFG (Anm. 28), S. 74.

<sup>34</sup> Vgl. EPSO (Anm. 28), S. 4.

### Schaffung eines neuen Rechtsrahmens

Am anderen Ende des Spektrums werden komplett neue Regulierungsansätze diskutiert, die allgemeiner Natur sind. Ein Vorschlag des Europäischen Ethikrats lautet, im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse auch die möglichen Auswirkungen eines GVO auf die Biodiversität und die Bodennutzung sowie seinen potenziellen Beitrag zur Ernährungssicherheit zu beachten.<sup>42</sup> In diesem Zusammenhang plädiert auch das Bundesamt für Naturschutz dafür, Nachhaltigkeitsaspekte anhand feststehender Kriterien verstärkt in den Blick zu nehmen und in das Risikobewertungsverfahren einfließen zu lassen.<sup>43</sup>

Ferner gibt es detailliertere Ausarbeitungen zur Schaffung eines neuen Regelwerkes. Losgelöst von der geltenden Rechtslage wird eine dreistufige Regulierung vorgeschlagen, die sich nach der Reichweite der erzeugten genetischen Veränderung richtet: von der schlichten Notifizierung bei genomeditierten Organismen, die auch natürlich oder mit konventioneller Züchtung entstehen können (erste Stufe), über ein beschleunigtes Verfahren für Organismen mit artspezifischer genetischer Veränderung (zweite Stufe) bis zum klassischen Zulassungsverfahren mit Risikobewertung für Organismen, bei denen Artenbarrieren überschritten werden oder fremde DNA eingefügt wird (dritte Stufe).<sup>44</sup> Dieses System kann weiter ausdifferenziert werden, indem neben der Bewertung der Risiken auch ethische und soziale Faktoren berücksichtigt werden.<sup>45</sup>

### AUSBLICK

Während in der EU sowohl aufseiten der Kommission als auch aufseiten der Mitgliedstaaten in den vergangenen Jahren eine kritische Haltung gegenüber grüner Gentechnik überwog, deutet sich nun ein Umdenken an. Dies lässt sich insbe-

sondere aus den politischen Reformbestrebungen der Kommission im Hinblick auf Pflanzen sowie Lebens- und Futtermittel ableiten, die durch zielgerichtete Mutageneseverfahren und Cisgenese-Verfahren erzeugt worden sind. Insofern scheint eine Gleichbehandlung von zielgerichteten und herkömmlichen Mutageneseverfahren, wie sie der EuGH 2018 noch mit Blick auf das fehlende Erfahrungswissen abgelehnt hatte, im Rahmen des Möglichen zu liegen. Dies wird wiederum von einigen Kommentatoren entschieden kritisiert, die auf die durch CRISPR/Cas9 in einem größeren Umfang als bisher möglichen Veränderungen des Erbgutes verweisen, die ungewollte Effekte und damit einhergehende spezifische und neuartige Risiken nach sich ziehen könnten.

Wichtig für das Verständnis der Debatte ist, dass das geltende Recht weiterhin für davon abzugrenzende Anwendungsfälle von Genomeditierungsverfahren anwendbar bleibt: Wird Fremd-DNA in einen Organismus eingefügt, unterliegt dieser dem Zulassungsverfahren sowie den Kennzeichnungspflichten. Offen ist weiterhin, welche Regulierungsoption die Kommission anstrebt. Die Freisetzungsrichtlinie verfügt als stringentes Regelwerk bereits über Instrumente, um das Zulassungsverfahren zu vereinfachen, ohne den vorsorgbasierten Regulierungsgedanken zu vernachlässigen oder aufzugeben. Dabei bleibt die Beibehaltung eines hohen Schutzniveaus für die Umwelt und die menschliche Gesundheit bei der Freisetzung und Inverkehrbringung von GVO unerlässlich. Auch eine mögliche Reform sollte weiterhin vom gesellschaftlichen Diskurs und Konsens getragen werden.

Der Beitrag entstand im Rahmen des Projekts „Responsible Science and Technology“ des Centre for Integrative Biological Signalling Studies der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-2189 – Projektnummer 390939984. Die Verfasserin bedankt sich für die hilfreiche Unterstützung bei der Finalisierung des Beitrags durch Elisabeth Andersen sowie für die wertvollen Anmerkungen von Silja Vöneky.

### KATHARINA SCHREIBER

promoviert an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg zu aktuellen Fragen des Biotechnologie-rechts sowie dessen ethischen Bezügen.  
contact@cibss.uni-freiburg.de

<sup>42</sup> Vgl. European Group on Ethics in Science and New Technologies, Ethics of Genome Editing, Opinion 32/2021, S. 91 f.

<sup>43</sup> Vgl. BfN (Anm. 19), S. 6, S. 16, S. 18 f.

<sup>44</sup> Vgl. Sigrid Bratlie et al., A Novel Governance Framework for GMO, in: EMBO Reports 5/2019, <https://doi.org/10.15252/embr.201947812>; Norwegian Biotechnology Advisory Board, A Forward-Looking Regulatory Framework for GMO, Dezember 2018, S. 3 f.

<sup>45</sup> Vgl. Michelle Habets et al., Genome Editing in Plants and Crops – Towards a Modern Biotechnology Policy Focused on Differences in Risks and Broader Considerations, Rathenau Institut 2019, S. 5, S. 32 ff.



# DIE GROÖE VERUNSICHERUNG

## Zur Resonanz grüner Gentechnik in der deutschen Bevölkerung

*Ortwin Renn*

Die Debatte um Gentechnik und ihre Anwendungen ist von vielen Unsicherheiten und Unklarheiten geprägt. Bei der gesellschaftlichen Bewertung der Gentechnik kommt es zunächst vor allem darauf an, für welchen Zweck sie eingesetzt wird, denn es handelt sich um eine sogenannte Querschnittstechnologie. Die Anwendungsbereiche der Gentechnologie lassen sich grob in vier Felder unterscheiden:<sup>01</sup>

Die medizinische und pharmazeutische Anwendung wird oft als „rote“ Gentechnik bezeichnet. In der Medizin liegen die Anwendungsfelder vor allem in der Diagnostik und Therapie, in der Pharmazie wird Gentechnik in erster Linie für die Entwicklung und auch die Herstellung von Arzneimitteln verwendet. Das ist zwar auch mit Gesundheitsrisiken verbunden, die Nutzenanwendungen überwiegen aber in den Augen der meisten Betrachter:innen. Völlig anders fällt dagegen die Bewertung der Gentechnik in ihrer Anwendung am Menschen selbst aus: Vor allem in der Diagnose von Krankheiten im pränatalen Stadium sowie in der Reproduktionsmedizin werden zentrale ethische Fragen aufgeworfen.<sup>02</sup> Allerdings ist der öffentliche Diskurs zu diesem Bereich weniger stark ausgeprägt und eher auf Fachdebatten beschränkt als die Auseinandersetzung um gentechnologische Anwendungen in der Landwirtschaft und Ernährung.<sup>03</sup>

Dieses zweite große Betätigungsfeld der Gentechnologie wird meist als „grüne“ Gentechnik bezeichnet.<sup>04</sup> Hier geht es beispielsweise um gentechnisch veränderte Rohstoffe zur Nahrungsmittelproduktion, um Resistenz- und Intensivierungszüchtungen, um Produktivitätssteigerungen, Qualitätsveränderungen sowie um Anreicherungen mit ernährungsphysiologisch erwünschten Zusatzstoffen wie etwa Vitaminen.

Ferner werden gentechnische Verfahren in speziellen Produktionsprozessen angewandt, zum

Beispiel bei der Enzymproduktion für Waschmittel. Auch für die Herstellung von Zwischenprodukten für die chemische Synthese können gentechnische Verfahren eingesetzt werden. Dieser Anwendungsbereich ist selten mit Endprodukten für Konsument:innen verbunden und wird häufig als „weiße“ Gentechnik bezeichnet.<sup>05</sup>

Schließlich werden gentechnische Verfahren auch im Bereich der Umwelttechnik und Schadstoffbeseitigung angewandt. Hierzu zählt unter anderem die sogenannte Bioremediation, also der Einsatz von Mikroorganismen zur Entsorgung kontaminierter Böden und Gewässer. Dieser Anwendungsbereich wird meist als „graue“ Gentechnik bezeichnet.<sup>06</sup>

Für die Frage nach der gesellschaftlichen Resonanz ist vor allem die grüne Gentechnik von Bedeutung. Zum einen ist sie mehr als die anderen Anwendungsfelder von Regulationen geprägt, zum anderen wird grüne Gentechnik von Gruppen, die der Gentechnik im Allgemeinen kritisch oder skeptisch gegenüberstehen, als Hauptgegenstand der Kritik und Kernpunkt der gesellschaftlichen Kontroverse um Gentechnik betrachtet. Schließlich sind auch die meisten empirischen Untersuchungen zur Akzeptanz der Gentechnik auf den Bereich Landwirtschaft und Ernährung ausgerichtet. Daher wird im Folgenden die Resonanz der grünen Gentechnik in der Gesellschaft im Mittelpunkt stehen.

### EINSTELLUNGEN ZUR GRÜNEN GENTECHNIK

Wenn es um grüne Gentechnik geht, zeigen nahezu alle Umfragen der vergangenen drei Jahrzehnte eine klare Tendenz: Mehr als zwei Drittel der deutschen Bevölkerung sprechen sich gegen den Einsatz gentechnischer Methoden in der Landwirtschaft und der Nahrungsmittelversorgung

*Abbildung:* Erwartungen an die künftige Bundesregierung zum Umgang mit dem Thema „Gentechnik in der Landwirtschaft“ im Vorfeld der Bundestagswahl 2021

1. „Dass neue und alte Gentechnikmethoden einer umfassenden **Risikoprüfung** nach aktuellem europäischen Recht unterzogen werden, ist ...“

83 % (sehr) wichtig

15 % weniger bzw. gar nicht wichtig

weiß nicht

2. „Dass **Lebensmittel**, die mit neuen und alten Gentechnikmethoden hergestellt wurden, im Handel entsprechend **gekennzeichnet** werden, ist ...“

84 % (sehr) wichtig

15 % weniger bzw. gar nicht wichtig

3. „Der Anbau **gentechnisch veränderter Pflanzen** sollte in Deutschland **erlaubt** werden.“

28 % ja

60 % nein, sollte – auch mit neuartigen Gentechnikmethoden – weiterhin verboten sein

4. „Dass **tierische Produkte**, wie z.B. Fleisch, Eier oder Milchprodukte, die von Tieren stammen, die mit gentechnisch veränderten Futtermitteln gefüttert wurden, in Zukunft entsprechend **gekennzeichnet** werden, ist ...“

84 % (sehr) wichtig

14 % weniger bzw. gar nicht wichtig

5. „**Gentechnik bei Tieren** sollte in Deutschland erlaubt werden.“

10 % ja

83 % nein, sollte weiterhin verboten sein

Quelle: Forsa, September 2021; Umweltinstitut München.

aus. Die Zahlen schwanken zwar ein wenig von Jahr zu Jahr, dennoch steht eine deutliche Mehrheit der Bevölkerung der grünen Gentechnik skeptisch gegenüber.

So waren kurz vor der Bundestagswahl 2021 in einer repräsentativen Umfrage zu den Erwartungen an die künftige Bundesregierung in Bezug auf den Einsatz grüner Gentechnik 83 Prozent der Befragten der Meinung, dass alle Gentechnik-

methoden – alte und neue – auf ihre Risiken hin überprüft werden sollten (*Abbildung*).<sup>07</sup> Je jünger die Befragten, desto eher stimmten sie dieser Aussage zu. Eine Mehrheit der Deutschen wünschten sich zudem eine Kennzeichnungspflicht für Lebensmittel, die mithilfe von Gentechnik hergestellt wurden, sowie für tierische Produkte wie Fleisch, Eier und Milchprodukte, wenn sie von Tieren stammen, die mit gentechnisch verändertem Futter gefüttert wurden. Nahezu zwei Drittel der Befragten befürworteten ein Verbot des Anbaus gentechnisch veränderter Pflanzen in Deutschland. Mit Blick auf die gentechnische Veränderung von Tieren fiel das Urteil noch eindeutiger aus: 83 Prozent sprachen sich für ein Verbot der Gentechnik an Nutztieren in Deutschland aus.

**01** Vgl. Christine Steinhoff, Grüne, Rote, Weiße und Graue Gentechnik, Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages, Der aktuelle Begriff 18/2005; Igor Matyushenko/Iryna Sviatukha/Larysa Grigorova-Berenda, Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy, in: British Journal of Economics, Management & Trade 4/2016, <https://doi.org/10.9734/BJEMT/2016/28151>.

**02** Vgl. Oskar Luger/Astrid Tröstl/Katrin Urferer, Gentechnologie in der medizinischen Anwendung am Menschen, in: dies. (Hrsg.), Gentechnik geht uns alle an! Ein Überblick über Praxis und Theorie, Wiesbaden 2017, S. 115–160.

**03** Vgl. Ortwin Renn, Gentechnische Anwendungen im Spiegel der nachhaltigen Entwicklung, in: Boris Fehse et al. (Hrsg.), Fünfter Gentechnologiebericht. Sachstand und Perspektiven für Forschung und Anwendung, Baden-Baden 2021, S. 480–503.

**04** Vgl. Bernd Müller-Röber et al. (Hrsg.), Grüne Gentechnik. Aktuelle wissenschaftliche, wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen, Dornburg 2013.

**05** Vgl. Luger/Tröstl/Urferer (Anm. 2), S. 21.

**06** Vgl. Kes McCormick/Niina Kautto, The Bioeconomy in Europe: An Overview, in: Sustainability 6/2013, S. 2589–2608.

**07** In der Erhebung wurde nach „alten“ und „neuen Verfahren“ gefragt, ohne diese zu spezifizieren. Ob die Befragten „neue Verfahren“ mit der sogenannten Genschere CRISPR/Cas9 assoziiert haben, lässt sich aus den Antworten nicht ersehen. Die Antwortmuster variieren aber auch nicht von der Gesamttenndenz, wenn explizit nach „neuen Verfahren“ gefragt wurde.

Nur um Nuancen positiver fiel eine im Juli 2021 veröffentlichte repräsentative Studie aus, in der 65 Prozent der Befragten Lockerungen der Regeln für die Zulassung und Kennzeichnung von Pflanzen ablehnten, die mit neuen Gentechnikverfahren gezüchtet werden.<sup>08</sup> Interessant ist, dass diese Ablehnung bei den Anhänger:innen aller Parteien in Deutschland überwiegt. Selbst bei Wähler:innen der FDP, die sich in ihrem Wahlprogramm zur Bundestagswahl 2021 für eine Lockerung ausgesprochen hatte, waren 49 Prozent gegen eine Deregulierung der Gentechnik und nur 40 Prozent dafür. Am stärksten lehnten Sympathisant:innen der Linken mit 75 Prozent Lockerungen bei der Zulassung und Kennzeichnung von Gentechnik ab.

Ein ähnliches Bild ergab die 2019 vom Bundesumweltministerium in Auftrag gegebene Studie zum Naturbewusstsein der deutschen Bevölkerung.<sup>09</sup> Darin befürworteten mehr als 80 Prozent der Befragten ein Verbot gentechnisch veränderter Pflanzen und Tiere in der Landwirtschaft. 95 Prozent sprachen sich dafür aus, mögliche Auswirkungen gentechnisch veränderter Pflanzen auf die Umwelt zu untersuchen.<sup>10</sup> Zudem meinten 88 Prozent, auch die Wissenschaft sei nicht in der Lage, die langfristigen Folgen der neuen gentechnischen Verfahren abzusehen.

Ein Blick auf die europäischen Nachbarländer zeigt eine große Spreizung im Einstellungsspektrum. So schwankte die Zustimmung zum Einsatz von Gentechnik 2010 zwischen 10 Prozent in Griechenland und 44 Prozent im Vereinigten Königreich. Insgesamt sieht man aber auch im europäischen Vergleich, dass die Mehrheit der Europäer:innen die Gentechnik nicht unterstützt.<sup>11</sup> Dabei ist Deutschland keineswegs das Land mit den meisten Skeptiker:innen. Die Bevölkerungen der Schweiz, Luxemburgs, Österreichs und

*Tabelle:* Anteil der Bevölkerung, der gentechnisch veränderte Lebensmittel befürwortet

	1996	1999	2002	2005	2010
Vereinigtes Königreich	52	37	46	35	44
Irland	57	45	57	43	37
Portugal	63	47	56	56	37
Spanien	66	58	61	53	35
Dänemark	33	33	35	31	32
Niederlande	59	53	52	27	30
Norwegen	37	30			30
Finnland	65	57	56	38	30
Belgien	57	40	39	28	28
Schweden	35	33	41	24	28
Italien	51	42	35	42	24
Österreich	22	26	33	24	23
Deutschland	47	42	40	22	22
Schweiz	34				20
Luxemburg	44	29	26	16	19
Frankreich	43	28	28	23	16
Griechenland	49	21	26	14	10

In blau die Länder, in denen gentechnisch veränderte Pflanzen angebaut werden, in rot die Länder mit Anbauverbot.

*Quelle:* Akademie der Technikwissenschaften, Perspektiven der Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate, Heidelberg 2012, S. 23.

Griechenlands übertreffen die Deutschen in ihrer Skepsis gegenüber der grünen Gentechnik (*Tabelle*). Diese skeptische Haltung ist in vielen Ländern seit Mitte der 1990er Jahre relativ stabil.<sup>12</sup> Interessant ist auch, dass in Ländern wie Portugal und Spanien, in denen mithilfe von Gentechnik hergestellte Produkte auf dem Lebensmittelmarkt angeboten werden, die Skepsis vergleichsweise geringer ist als in Ländern, in denen solche Produkte nicht erlaubt sind oder schlichtweg nicht angeboten werden.

**08** Vgl. Bundestagswahl: Fast zwei Drittel gegen Lockerungen der Gentechnik-Regeln, 4.8.2021, [www.ohnegentechnik.org/artikel/bundestagswahl-fast-zwei-drittel-gegen-lockerungen-der-gentechnik-regeln](http://www.ohnegentechnik.org/artikel/bundestagswahl-fast-zwei-drittel-gegen-lockerungen-der-gentechnik-regeln).

**09** Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Naturbewusstsein 2019. Bevölkerungsumfrage zu Natur und biologischer Vielfalt, Bonn 2020, S. 58 ff.

**10** Vgl. Studie: große Mehrheit der Deutschen gegen Gentechnik auf dem Acker, 19.8.2021, [www.keine-gentechnik.de/nachricht/34093](http://www.keine-gentechnik.de/nachricht/34093).

**11** Vgl. Akademie der Technikwissenschaften (Acatech), Perspektiven der Biotechnologie-Kommunikation. Kontroversen – Randbedingungen – Formate, Heidelberg 2012.

**12** Eine Reihe von nationalen Erhebungen in verschiedenen europäischen Ländern bestätigen diese Ergebnisse über 2010 hinaus, siehe etwa [www.keine-gentechnik.de/dossiers/meinungsumfragen](http://www.keine-gentechnik.de/dossiers/meinungsumfragen). Auch eine Umfrage der Grünen-Fraktion im EU-Parlament ergab, dass 2021 rund 85 Prozent der befragten Europäer:innen eine Kennzeichnungspflicht für gentechnisch veränderte Produkte befürworteten, siehe [www.martin-haeusling.eu/presse-medien/pressemitteilungen/2715.html](http://www.martin-haeusling.eu/presse-medien/pressemitteilungen/2715.html).

## ABLEHNUNGSGRÜNDE

Zweifellos bestehen bei der Gentechnik erhebliche Akzeptanzprobleme.<sup>13</sup> Diese sind in Europa besonders stark ausgeprägt, aber Bedenken gegen Gentechnik bis hin zu Protesten und Verwüstungen von Feldern mit gentechnisch veränderten Pflanzen gibt es auch in Asien, den USA und einigen Ländern des Globalen Südens.<sup>14</sup> Dabei ist der Protest weitgehend geprägt von der Wahrnehmung eines mangelnden Nutzens für Verbraucher:innen, der Sorge um eine weitere Industrialisierung der Landwirtschaft und der Ablehnung einer von Konzernen bestimmten Form der Landnutzung.<sup>15</sup>

Die meisten Menschen lehnen die grüne Gentechnik weniger aufgrund konkreter gesundheitlicher Bedenken ab, sondern aus Unbehagen gegenüber einer Veränderung der Produktionsprozesse in der Landwirtschaft, die als natürlich empfunden werden. Dieses Unbehagen äußert sich auch in negativen Einstellungen zu künstlicher Düngung, zur Bekämpfung von Schädlingen durch Pflanzenschutzmittel oder zum Einsatz von Herbiziden.<sup>16</sup> Gentechnisch veränderte Pflanzen, die versprechen, resistent gegen Unkrautvernichtungsmittel zu sein, verstoßen in diesem Sinne in zweifacher Weise gegen die Vorstellung einer natürlichen Landwirtschaft: Ihr genetischer Bauplan ist „künstlich“ verändert, um das intuitiv abgelehnte Ziel der Bekämpfung von Unkraut durch Herbizide effizienter erreichen zu können. Gleichzeitig werden auch die Risiken der Gentechnik häufig als Grund für die Ablehnung genannt, wobei es mehr um langfristige Risiken

und Unsicherheiten mit Blick auf noch nicht entdeckte Folgen geht und weniger um konkrete Befürchtungen, die eigene Gesundheit sei negativ betroffen.<sup>17</sup>

Neben dem Unbehagen an der Künstlichkeit der Nahrungsmittelproduktion spielt auch der kaum wahrnehmbare Nutzen der Gentechnik für die Verbraucher:innen eine wichtige Rolle.<sup>18</sup> Da die Lebensmittelpreise in Deutschland im internationalen Vergleich ohnehin sehr niedrig sind und auch nur einen kleinen Teil des individuellen Einkommens beanspruchen, sind kleinere Preisvorteile nur für die unteren Einkommensschichten in Deutschland ein Argument für den Einsatz von Gentechnik bei der Lebensmittelproduktion. Von daher bleiben auch mehr als zwei Drittel der deutschen Bevölkerung bei ihrer negativen Grundhaltung, wenn in den Umfragen ein möglicher Preisnachlass in Aussicht gestellt wird.<sup>19</sup>

Die Einstellung zur Gentechnik ist auch von einigen moderierenden Variablen abhängig.<sup>20</sup> Je größer das Vertrauen in Expert:innen für Gentechnik ist, desto eher ist mit einer positiven Haltung zu rechnen. Im Vergleich gegenüber Expert:innen aus anderen Technikbereichen ist das Vertrauenspotenzial gegenüber den Gentechnikspezialist:innen in Deutschland jedoch besonders gering.<sup>21</sup> In der Naturbewusstseinsstudie 2019 bekundeten 61 Prozent der Befragten, sie hätten kein oder nur wenig Vertrauen in Wissenschaftler:innen, die eine befürwortende Haltung gegenüber der grünen Gentechnik einnehmen.<sup>22</sup> Diese Zahl kontrastiert in hohem Maße mit der Vertrauensbasis gegenüber Wissenschaft im Allgemeinen. Hier streuen die Werte zwischen 50 und 73 Prozent der Befragten,

**13** Vgl. Hans-Peter Peters et al., Culture and Technical Innovation, Impact of Institutional Trust and Appreciation of Nature on Attitudes Towards Food Biotechnology in the USA and Germany, in: *International Journal of Public Opinion Research* 2/2007, S. 191–220; Ortwin Renn, Symbolkraft und Diskursfähigkeit. Die neue Technik in der öffentlichen Wahrnehmung, in: *Politische Ökologie* 81–82/2003, S. 27–30.

**14** Vgl. Dominika Sikora/Piotr Rzymski, Public Acceptance of GM Foods: A Global Perspective (1999–2019), in: Pardeep Singh et al. (Hrsg.), *Policy Issues in Genetically Modified Crops: Global Perspective*, London 2021, S. 293–315.

**15** Vgl. Ortwin Renn, Grüne Gentechnik: Konfliktlinien und Möglichkeiten ihrer Überwindung, in: Barbara Köstner/Markus Vogt/Beatrice Saan-Klein (Hrsg.), *Agro-Gentechnik im ländlichen Raum – Potentiale, Konflikte, Perspektiven*, Dettelbach 2007, S. 41–56.

**16** Siehe dazu die Studienreihe *Naturbewusstsein des Bundesumweltministeriums und des Bundesamts für Naturschutz* unter [www.bfn.de/naturbewusstsein](http://www.bfn.de/naturbewusstsein).

**17** Vgl. Jürgen Hampel/Andreas Klinke/Ortwin Renn, Beyond „Red“ Hope and „Green“ Distrust. Public Perception of Genetic Engineering in Germany, in: *Politeia* 60/2000, S. 68–82.

**18** Vgl. Jürgen Hampel/Uwe Pfenning, Einstellungen zur Gentechnik, in: Jürgen Hampel/Ortwin Renn (Hrsg.), *Gentechnik in der Öffentlichkeit. Wahrnehmung und Bewertung einer umstrittenen Technologie*, Frankfurt/M. 1999, S. 28–55; Renn (Anm. 13).

**19** Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Informationen zur Naturbewusstseinsstudie, 27.4.2016, [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Naturschutz/naturbewusstseinsstudie\\_2015\\_infopapier\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/naturbewusstseinsstudie_2015_infopapier_bf.pdf).

**20** Vgl. Peters et al. (Anm. 13).

**21** 65 Prozent misstrauen sehr oder eher Expert:innen für Gentechnik. Vgl. *Wissenschaft im Dialog, Wissenschaftsbarometer 2016*, S. 13.

**22** Vgl. BMU (Anm. 9), S. 62.

die den Aussagen der Wissenschaft zu möglichen Risiken oder Gefahren für die Umwelt, die Gesundheit oder das Gemeinwesen „voll und ganz“ oder „eher“ Vertrauen schenken.<sup>23</sup>

In einem größeren Kontext lässt sich die Ablehnung der Gentechnik in eine Grundhaltung der Verunsicherung gegenüber der Technisierung, Digitalisierung und Globalisierung im Weltmaßstab einordnen.<sup>24</sup> Die mit diesen Trends verbundenen Veränderungen werden häufig als bedrohlich und unnatürlich empfunden. Gentechnische Veränderungen erscheinen als Fremdkörper in einer vertrauten Welt, die mental mit Landwirtschaft und Nahrungsmitteln verbunden wird. Gentechnik wirkt dann wie ein Eindringling in die eigene Lebenswelt, deren Grundfeste sie erschüttert und vertraute Routinen hinterfragt. Eine Untersuchung in sechs EU-Ländern mit Fokusgruppen, in denen offen die Ängste, Befürchtungen, aber auch Hoffnungen und Visionen der Teilnehmer:innen angesprochen wurden, hat diesen Zusammenhang bestätigt:<sup>25</sup> Je stärker Menschen die gentechnischen Veränderungen als Zeichen einer anonymen Bedrohung ihrer selbstbestimmten Lebenswelt erleben, desto skeptischer, ja geradezu feindseliger betrachten sie den Vormarsch der Gentechnik in den Nahrungsmittelbereich. Die Angst, durch Effizienz von Zweckerfüllung Autonomie über die eigene Lebenswelt zu verlieren, äußert sich in der bewussten Abkehr von industriellen Fertigungsweisen und durchgestyltem Convenience-Food.

Damit steht die grüne Gentechnik wie ein Sündenbock für eine von vielen als bedrohlich empfundene Modernisierung unserer Gesellschaft. Sie ist zu einem Symbol für den empfundenen Verlust von Natürlichkeit und Vertrautheit geworden.<sup>26</sup> Aus diesem Grund ist es auch außerordentlich schwierig und meist wenig aussichtsreich, die Debatte um Gentechnik auf deren instrumentelle Vor- und Nachteile zu lenken. Gerade wenn es sich um grundlegende Haltungen gegenüber Transformationen und Umbrüchen in unserer Gesellschaft handelt, muss die Debatte um Gentechnik in diesen größeren Kontext eingeordnet werden.

**23** Siehe <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1193534>.

**24** Vgl. Manuel Thiel, *Grüne Gentechnik in Deutschland. Einstellungen der Bevölkerung*, Stuttgart 2014, S. 134 ff.

**25** Vgl. Hampel/Pfenning (Anm. 18).

**26** Vgl. Renn (Anm. 15).

## AUSSICHTEN

Die Zukunft der Gentechnik hängt stark vom Gestaltungswillen der beteiligten Akteur:innen ab. Die Gentechnik besitzt das Potenzial, Impulse für eine auf Nachhaltigkeit ausgerichtete Transformation der Gesellschaft zu leisten.<sup>27</sup> Gleichzeitig sind mit der Gentechnik viele zum Teil übergreifende Risiken verbunden, die aber durch eine sachlich fundierte und gemeinwohlorientierte Gestaltung zumindest eingeschränkt, wenn nicht sogar vermieden werden können.<sup>28</sup>

Die Zeit für eine Neubesinnung ist gerade günstig. Die Gentechnik hat als Streitthema in den vergangenen Jahren an öffentlicher Sprengkraft verloren.<sup>29</sup> Mit der Entdeckung der CRISPR/Cas9-Methode, der sogenannten Genschere zur gezielten Erbgutveränderung, ist eine neue Debatte aufgekommen, die von den gentechnikkritischen NGOs wie Greenpeace inzwischen differenzierter aufgegriffen wird als früher. Auch haben sich im Verlauf der Debatte die Themen der Auseinandersetzung geändert: Stand anfangs der Gesundheitsschutz im Vordergrund, also die Frage, ob gentechnisch veränderte Lebensmittel die menschliche Gesundheit mittel- und langfristig gefährden können, sind es heute andere Aspekte wie die zunehmende Industrialisierung der Landwirtschaft und der Nahrungskette insgesamt, die Abhängigkeit von Großkonzernen, langfristige ökologische Veränderungen sowie die Beschränkung der Kulturpflanzen auf wenige gentechnisch veränderte Sorten.<sup>30</sup>

Die Leitbilder hinter den jeweiligen Einstellungen zur Gentechnik bleiben jedoch relativ konstant.<sup>31</sup> Zum einen findet man die Vision einer naturnahen Landwirtschaft, getragen

**27** Vgl. ders. (Anm. 3).

**28** Vgl. Christian Dürnberger, *Natur als Widerspruch. Die Mensch-Natur-Beziehung in der Kontroverse um die Grüne Gentechnik*, Baden-Baden 2019, S. 68 ff.

**29** Vgl. Steffen Albrecht et al., *Green Genetic Engineering and Genome Editing*, in: *TATuP – Zeitschrift für Technikfolgenabschätzung in Theorie und Praxis* 3/2017, S. 64–69.

**30** Vgl. Rabiul Islam et al., *Assessment of the Effects of Genetically Modified (GM) Foods: A Brief Study on Health and Environmental Concerns*, in: *Journal of Materials and Environmental Sciences* 10/2020, S. 1676–1688.

**31** Vgl. Franz-Theo Gottwald, *Auf der Suche nach Regeln für eine nachhaltige Bioökonomie. Sechs Thesen zur Regulierung aus ethischer Sicht*, in: *Jahreschrift des Deutschen Netzwerks Wirtschaftsethik (Hrsg.), Forum Wirtschaftsethik: Bioökonomie und Ethik*, Berlin 2018, S. 100–105, hier S. 101.

von kleinen ländlichen Betrieben, die sich und die umgebende Bevölkerung ausreichend ernähren können und auf ökologische Werte wie den Erhalt der Biodiversität und hohe Bodenqualität achten. Ziel ist die Selbstversorgung in einer Region, weniger der Export. Dieser Entwurf funktioniert global nur, wenn wir die Ernährung von Fleisch auf mehr pflanzliche Kost umstellen und auch höhere Preise für Lebensmittel als akzeptabel einstufen. Gerade dies ist durch die Auswirkungen des russischen Angriffs auf die Ukraine deutlich geworden. Zum anderen findet man den Gegenentwurf einer modernisierten industriellen Landwirtschaft auf der Basis von Digitalisierung und Gentechnik, die angesichts der wachsenden Weltbevölkerung auf mehr Effizienz und eine Erhöhung der Erträge auf immer weniger zur Verfügung stehendem Boden setzt. Dieser Entwurf würde keine Änderung unserer Ernährungsweise erforderlich machen und auch einen hohen Fleischbedarf in den sich entwickelnden Ländern auffangen. Gentechnik ist dabei nur ein Baustein unter vielen: Letztendlich stehen am Ende dieser Entwicklung einige wenige global agierende Agarkonzerne, die weltweit die Bodenbewirtschaftung für Nahrungsmittel oder Biostoffe mithilfe modernster Technik und wissenschaftlich geprüfter Optimierung übernehmen.

Um eine Form des Dialogs zwischen den Fronten dieser beiden gegensätzlichen Visionen zu organisieren,<sup>32</sup> sind neue kooperative Formen der Verständigung zwischen Industrie, Landwirt:innen, Umweltschutzorganisationen sowie politischen Regulierungsinstanzen notwendig. Dabei muss das Thema Gentechnik in einen größeren Zusammenhang mit Landnutzung, Treibhausgasemissionen und Ernährungsverhalten

eingebettet werden.<sup>33</sup> „Beispielsweise könnte bei (...) partizipativen Modellen angesichts zukünftiger Technikkontroversen stärker darauf geachtet werden, von Beginn an nicht allein auf die Potenziale und Risiken der zu behandelnden Technologie zu fokussieren, sondern darüber hinaus bewusst auch Subkonflikte und Vorstellungswelten, Metaphern und Narrationen in der Diskussion zuzulassen sowie zum Thema zu machen.“<sup>34</sup>

Die Einrichtung solcher erweiterten Plattformen für den gesellschaftlichen Diskurs könnte dazu führen, Treiber und Hemmnisse landwirtschaftlicher Praktiken systemisch zu beleuchten, vor allem unter der Randbedingung der Digitalisierung, der neuen Entwicklungen in der Gentechnik und der Forderung nach nachhaltiger Entwicklung.<sup>35</sup> Wenn man diese größeren Themen miteinander verzahnt, ist die Gentechnik ein Mosaikstein unter vielen. Das heißt nicht, dass man im Rahmen dieser Netzwerke nicht auch über Möglichkeiten und Grenzen von Gentechnik debattieren sollte, aber dieses Thema ist in einem größeren Rahmen von neuen Entwicklungen, Transformationen und Überschneidungen mit anderen Feldern wie etwa Energie und Süßwassernutzung eingebunden.<sup>36</sup> Mit einem Ansatz wie „Neue Leitbilder für die Landwirtschaft und Landnutzung der Zukunft“ wäre viel mehr gewonnen als mit einem engen Dialog zum Thema Gentechnik. Dann kämen Themen wie Saatgutverbesserung über Züchtung, Gentechnik oder andere Methoden oder die Intensivierung der Landnutzung von selbst zur Sprache.<sup>37</sup> Auch die Anpassung an den Klimawandel wäre ein wesentlicher Gesichtspunkt, etwa welche Rolle gentechnisch veränderte Pflanzen bei der Anpassung (*adaptation*) an die Auswirkungen des jetzt schon eingetretenen Klimawandels spielen können. Mit solchen Dialogen über Zusammenhänge können Themen wie Gesundheit, Landwirtschaft und Ernährung ohne ideologische Scheuklappen zusammengebracht werden.

**32** Vgl. Acatech (Anm. 11); One Planet Network, *Towards a Common Understanding of Sustainable Food Systems. Key Approaches, Concepts, and Terms*, 2020, S. 22.

**33** Vgl. Olivier K. Butkowski et al., *Examining the Social Acceptance of Genetically Modified Bioenergy in Germany: Labels, Information Valence, Corporate Actors, and Consumer Decisions*, in: *Energy Research & Social Science* 60/2020, <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101308>.

**34** Dürnberger (Anm. 28), S. 251.

**35** Vgl. Chantal Clément/Francesco Ajena, *Paths of Least Resistance: Advancing a Methodology to Assess the Sustainability of Food System Innovations – the Case of CRISPR*, in: *Agroecology and Sustainable Food Systems* 5/2021, S. 637–653.

**36** Vgl. Gottwald (Anm. 31).

**37** Vgl. Henry C.J. Godfray, *The Debate over Sustainable Intensification*, in: *Food Security* 7/2015, S. 199–208, hier S. 205.

## ORTWIN RENN

ist wissenschaftlicher Direktor am Institut für Transformative Nachhaltigkeitsforschung (IASS) in Potsdam und Inhaber des Lehrstuhls für Technik- und Umweltsoziologie an der Universität Stuttgart. [ortwin.renn@iass-potsdam.de](mailto:ortwin.renn@iass-potsdam.de)

Herausgegeben von der  
Bundeszentrale für politische Bildung  
Adenauerallee 86, 53113 Bonn



Redaktionsschluss dieser Ausgabe: 12. August 2022

#### REDAKTION

Anne-Sophie Friedel (verantwortlich für diese Ausgabe)

Julia Günther

Jacob Hirsch (Volontär)

Sascha Kneip

Johannes Piepenbrink

Anne Seibring

apuz@bpb.de

www.bpb.de/apuz

www.bpb.de/apuz-podcast

twitter.com/APuZ\_bpb

## APuZ

Nächste Ausgabe

36/2022, 5. September 2022

# MÜNCHEN 1972

Newsletter abonnieren: [www.bpb.de/apuz-aktuell](http://www.bpb.de/apuz-aktuell)

Einzelausgaben bestellen: [www.bpb.de/shop/apuz](http://www.bpb.de/shop/apuz)

#### GRAFISCHES KONZEPT

Charlotte Cassel/Meiré und Meiré, Köln

#### SATZ

le-tex publishing services GmbH, Leipzig

#### DRUCK

Frankfurter Societäts-Druckerei GmbH & Co. KG,

Mörfelden-Walldorf

#### ABONNEMENT

Aus Politik und Zeitgeschichte wird mit der Wochenzeitung

Das **Parlament** ausgeliefert.

Jahresabonnement 25,80 Euro; ermäßigt 13,80 Euro.

Im Ausland zzgl. Versandkosten.

Fazit Communication GmbH

c/o Cover Service GmbH & Co. KG

fazit-com@cover-services.de

Die Veröffentlichungen in „Aus Politik und Zeitgeschichte“ sind keine Meinungsäußerungen der Bundeszentrale für politische Bildung (bpb). Für die inhaltlichen Aussagen tragen die Autorinnen und Autoren die Verantwortung. Beachten Sie bitte auch das weitere Print-, Online- und Veranstaltungsangebot der bpb, das weiterführende, ergänzende und kontroverse Standpunkte zum Thema bereithält.

ISSN 0479-611 X



Die Texte dieser Ausgabe stehen unter einer Creative Commons Lizenz vom Typ Namensnennung-Nicht Kommerziell-Keine Bearbeitung 4.0 International.



APuZ

AUS POLITIK UND ZEITGESCHICHTE

[www.bpb.de/apuz](http://www.bpb.de/apuz)