

SONDERHEFT
2024

VBio

Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**MATERIAL-
FORSCHUNG**
Gesteinsbesiedelnde
Pilze

PFLANZENGENETIK
Genomsequenzen
sichtbar machen

EXPERIMENT
Pauline und die
Ausreißer

BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT

CRISPR-Cas

... mehr als nur
Verteidigung



Prominente Wissenschaftler, Philosophen, Befürworter und Gegner von Gentechnik und was sie zu Gentechnik sagen würden: Von links nach rechts, obere Reihe: Sokrates, Ingo Potrykus, Immanuel Kant, Dirk Zimmermann, Victoria Gray. Mittlere Reihe: Richard J. Roberts, Vandana Shiva, George M. Church, Jennifer Doudna, Gregor Mendel, Aristoteles. Untere Reihe: Albert Schweitzer, Hans Jonas, Christoph Then, Hugh Grant, Imperator Palpatine, Craig Venter, Konrad Ott. Collage: J. Buttlar.

Zwischen Ängsten, Chancen und Wirrungen: Ein Plädoyer für genaueres Hinschauen

Gentechnik und Ethik

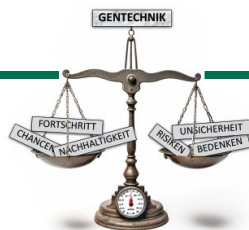
JANN BUTTLAR

In Deutschland wurde in der allgemeinen Öffentlichkeit über viele Jahre eine kollektive Skepsis gegenüber dem Begriff „Gentechnik“ entwickelt. Gentechnik – vor allem grüne Gentechnik – sei unnatürlich, gefährlich und moralisch nicht vertretbar. Befürworter hingegen betonen Vorteile – etwa in Richtung Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit oder Gesundheit. Aber wie kann man zwischen Bedenken und Chancen abwägen?

Ist die Anwendung von Gentechnik ethisch vertretbar? Um es gleich vorwegzunehmen: Die Antwort ist leider alles andere als einfach. Eine allgemeingültige Antwort ist nach Ansicht des Autors praktisch sogar unmöglich. Die Gründe hierfür sind vielfältig. Einerseits ist „Gentechnik“ nur ein Überbegriff für diverse Verfahrenstechniken, die in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt werden – ob in der Forschung, der Industrie, der Medizin, den Materialwissenschaften, der Landwirtschaft oder in anderen Bereichen. Es gilt daher, ganz unterschiedliche Situationen zu bewerten. Wenn man Gentechnik nicht schon kategorisch ablehnen würde – einige Argumente hierfür sollen später noch genannt werden – müsste man also jeden Fall

einzelnen bewerten. Andererseits gibt es eine Vielzahl von Akteuren aus z. B. Interessensverbänden, Vereinen, selbsternannten „Instituten“, der Wissenschaft sowie Unternehmen oder der Politik, die Begriffe und Kriterien unterschiedlich definieren und bewerten.

In Deutschland hat die breite Allgemeinheit in den letzten Jahrzehnten eine eher ablehnende Haltung gegenüber Gentechnik, vor allem der grünen Gentechnik, eingenommen. Der neuesten Naturbewusstseinsstudie von 2021 nach sind 70 Prozent der Befragten der Meinung, „der Mensch hat kein Recht, Pflanzen und Tiere gezielt gentechnisch zu verändern“ [1]. Das sind 14 Prozent weniger als zwei Jahre zuvor, was zeigt, dass ein Wandel im



Gänge ist – vor allem bei jüngeren Menschen, auch wenn die Ablehnung noch sehr hoch ist. Unter den meisten (Bio)-Wissenschaftlern ist die Meinung hingegen genau umgekehrt: Die Allianz der Wissenschaftsorganisationen (u. a. die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Leopoldina, Max-Planck-Gesellschaft, Fraunhofer-Gesellschaft) befürwortet z. B. gemäß dem neuen EU-Vorschlag [2] Erleichterungen im Gentechnikrecht und eine Anpassung an den Stand der Wissenschaft.

Diskussionen sind zudem oft von Emotionen wie Ängsten aufgeladen, was eine rationale Debatte erschwert. Emotionen an sich sind natürlich nicht einfach wegzudenken. Gleichzeitig mangelt es jedoch in der breiten Öffentlichkeit oft an Fachwissen, was zu Unsicherheiten führt. Die Intentionen der verschiedenen Akteure einzuschätzen – geschweige denn den Wahrheitsgehalt ihrer Aussagen – ist eine Herausforderung. Angst und Unsicherheit können jedoch nicht als einzige Kriterien in einer ethischen Debatte herangezogen werden. Wohlwissend, dass das Themenfeld riesengroß ist und einige Aspekte hier höchstens oberflächlich angerissen werden können, möchte dieser Artikel dazu einladen, sich intensiver mit dem Thema zu beschäftigen. Dabei geht es um Beispiele aus der grünen Gentechnik, also gentechnische Veränderungen an Pflanzen, und aus der roten Gentechnik, also gentechnische Anwendungen in der Medizin.

Moral und Ethik – was ist der Unterschied?

Doch zunächst einmal zu den ethischen Grundbegriffen, bevor wir uns mit den eigentlichen Argumenten beschäf-

tigen. Grob definiert bezeichnet „**moralisch**“ etwas, was man als sittlich, tugendhaft oder schlichtweg als „gut“ empfindet. Hier fließen verschiedene kulturelle Faktoren wie Erziehung, Gebräuche, Religion, gesellschaftliche Vorstellungen und Wissensstand mit ein – Faktoren, die je nach Erfahrung und individuellem Hintergrund sehr unterschiedlich sein können. Wie sehr die eigene Lebenssituation einen ethischen Standpunkt beeinflussen kann, hängt zudem von der persönlichen Betroffenheit ab. Als Beispiel sei genannt: Jemand, der an einer Krankheit leidet, würde einen gentechnischen Eingriff am Menschen sicherlich eher befürworten, wenn davon seine Gesundheit abhinge.

Die **Ethik** ist wiederum lediglich die Lehre von sittlichem Verhalten, also die Wissenschaft, die sich mit dem Moralischen auseinandersetzt. Sie unterteilt sich in verschiedene Disziplinen: Die **deskriptive Ethik** beispielsweise untersucht, was in einer bestimmten Gesellschaft zu einem bestimmten Zeitpunkt moralisch vertretbar ist und welche Werte und Normen dabei gelten.

Bei der **Metaethik** hingegen geht es darum, ob eine Frage überhaupt ethisch geklärt werden kann. Hier könnte man sich fragen, wie viel man überhaupt wissen kann oder ob es überhaupt jenseits der subjektiven Realität andere Realitäten und Werte geben kann. Dazu werden auch Sprachanalysen betrieben und verwendete Begriffe wie beispielsweise „gut“, „schlecht“, „Freiheit“, „Sicherheit“, „Natur/Natürlichkeit“ oder „Nachhaltigkeit“ überhaupt erst einmal definiert.

Jedoch soll es im Folgenden vor allem um eine dritte Disziplin, nämlich die **normative Ethik**, gehen, die unabhängig von dem Ist-Zustand nach dem sucht, *wie es sein soll*. Dazu stellt sie Werte und Normen auf. Innerhalb der normativen Ethik ist hier für uns die **angewandte Ethik** besonders interessant, die versucht, pragmatische Antworten auf konkrete Fragen zu liefern und dazu mit Prinzipien und Argumenten arbeitet, die immer wieder gegeneinander abgewogen werden. Gewöhnlich können Argumente dabei entweder einer deontologischen oder teleologischen Ethik zugewiesen werden, was wir in Hinblick auf Gentechnik ausführen werden.

In der **deontologischen Ethik** (griechisch δέον (*deon*) = „das Erforderliche; die Pflicht“) geht es nicht um die Konsequenzen einer Handlung, sondern darum, ob eine Handlung intrinsisch, also „in sich“ ethisch vertretbar ist oder nicht. Ethiker reden hier oft von Pflichtethik und intrinsischen Bedenken. Im Sinne von Immanuel Kants kategorischem Imperativ könnte dies bedeuten, dass man niemals lügen sollte, weil Lügen an sich einfach „schlecht“ ist – selbst, wenn ein Mörder einen fragt, ob man eine von ihm bedrohte Person im Haus versteckt.

In der **teleologischen Ethik** (gr. *télos* = „Ziel“) hingegen werden lediglich die Folgen betrachtet und man wertet Risiken und Vorteile miteinander ab. Ethiker reden hier auch von Konsequentialismus und extrinsischen Bedenken. Im Sinne des Utilitarismus („gut ist, was nutzt“,

IN KÜRZE

- Gentechnik, vor allem die grüne Gentechnik, ist in Deutschland sehr umstritten. Um jedoch auf eine inhaltliche Ebene zu kommen, hilft es, **Begriffe, Werte, Chancen und Risiken zu definieren und abzuwägen**.
- In der ethischen Diskussion unterscheidet man zwischen **deontologischen und teleologischen Argumenten**.
- **Deontologische oder auch „intrinsische“ Argumente** betrachten nicht die Folgen einer Anwendung, sondern **die Handlung „in sich“**. Dies beinhaltet Bedenken, die Gentechnik **kategorisch ablehnen** würden, wie bspw. Natürlichkeit von Organismen, Integrität von Genomen, Artüberschreitung oder Technizismus. Oftmals wird diesen Argumenten jedoch vorgeworfen, dass sie realitätsfern seien. Beispielsweise kommen Mutationen und Artüberschreitungen auch in der Natur vor und ein kompletter Verzicht auf Technologien würde nicht hinnehmbare Folgen für unsere Gesellschaft haben.
- Bei **teleologischen oder „extrinsischen“ Argumenten** stehen **Folgen wie Risiken und Chancen von gentechnischen Anwendungen** im Mittelpunkt. Hier werden Unsicherheiten und Risiken traditionell oftmals mehr Raum gegeben als Vorteilen. Fraglich ist jedoch, ob das bloße Vorhandensein von Risiken (die nicht die Größe eines Schadens, sondern nur die Wahrscheinlichkeit eines Eintretens betrachten) als Argument reicht, oder ob auch das **Unterlassen einer Technologie**, die potenziell Gutes (Leben retten, Nachhaltigkeit, Biodiversität) bewirken könnte, ethisch vertretbar wäre.
- Um zu einer ethischen Entscheidung zu kommen, können schließlich verschiedene Moraltheorien, Werte und Prinzipien diskutiert werden. Klar wird, dass es **keine globale einheitliche ethische Beurteilung** geben kann, eine Diskussion dennoch zur Bildung der eigenen Meinung sehr wertvoll ist.

oder „der Zweck heiligt die Mittel“) könnte man beispielsweise sagen, dass eine Lüge erlaubt wäre, wenn man bei dem genannten Beispiel das Leben der versteckten Person schützt.

Deontologische Ethik und intrinsische Bedenken

Natürlichkeit von Organismen

Ein oftmals vorgebrachtes Argument ist die Natürlichkeit von Lebewesen, die als „gut“ und wertvoll angesehen wird. Werden Lebewesen durch Menschen künstlich verändert, seien sie jedoch nicht mehr natürlich; eine gentechnische Veränderung wäre damit „schlecht“. Man könnte sagen, dass veränderte Organismen dadurch weniger wert oder zumindest in ihrer Natürlichkeit gestört wären. Problematisch ist allerdings, dass „Natürlichkeit“ kein klar definierter Begriff ist (Abbildung 1). Kulturhistorisch bedingt finden sich hier unterschiedliche Vorstellungen, die weit über biologische Aspekte hinausgehen und teils symbolischen Charakter haben. Dabei werden in unserer Gesellschaft heutzutage vor allem positive Begriffe wie Harmonie, Nachhaltigkeit, Unversehrtheit und eine gewisse (wenn auch chaotische) Ordnung mit „Natur“, dem Wortstamm der „Natürlichkeit“, in Verbindung gebracht. „Natürlichen“ Dingen bringt man somit ein intuitives Vertrauen entgegen, das (meistens) ein Gefühl von Sicherheit schafft. Dass dieses Bild jedoch nicht nur subjektiv ist, sondern sich auch im Laufe der Jahrhunderte stark änderte, verdeutlicht die „Zähmung“ der Natur durch Landwirtschaft und Wissenschaft: Vor der Domestizierung von Wildtieren und der Entwicklung von Kulturpflanzen könnte „Natur“ vor allem eher als Herausforderung gesehen werden, die es zu überleben und der es etwas Essbares abzurufen galt. Krankheiten, die Menschen, Tiere und Pflanzen befielen und noch bis ins 18. Jahrhundert (und teilweise heute) zu katastrophalen Missernten oder Pandemien führten, wurden als Bedrohung empfunden – selbst wenn sie einen „natürlichen“ Ursprung hatten.

Technizismus

Oft verbunden mit der Ablehnung von künstlichen, „unnatürlichen“ Veränderungen sind zudem Vorbehalte gegen Technologien im Allgemeinen, da sie den Menschen immer mehr von der Natur entfernen würden. Diese Bedenken sind immanent mit dem Begriff „Gentechnik“ verbunden, da „Technik“ ja bereits im Namen steckt. Ein wichtiger Aspekt von Technik und Technologie im Allgemeinen ist dabei der Fortschritt, wobei die angestrebte Optimierung von Prozessen oder Produkten zu einer ständigen Verbesserung und sogar zu einer regelrechten Entwicklungsspirale führen kann. Bedenken sind dann, dass Entwicklungen aus dem Ruder laufen können und dass komplizierte Technologien – sofern sie gut etabliert sind – von der breiten Masse angewendet werden können, obwohl die Theorie hinter den Anwendungen nur von einem kleinen Teil der Bevölkerung

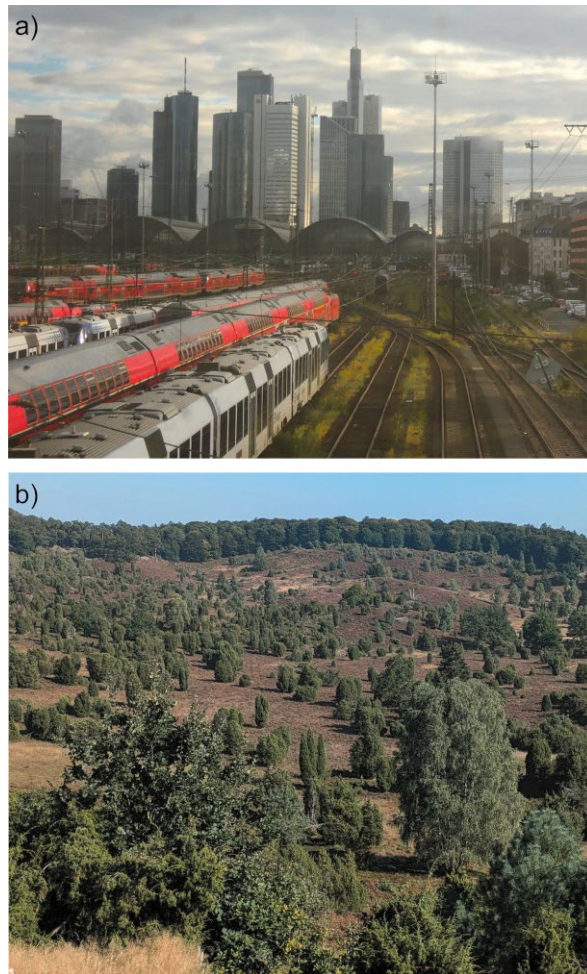


ABB. 1 Das Problem der Natürlichkeit. Auf welchem Bild hat der Mensch bewusst in die Natur eingegriffen? Die Antwort lautet: auf beiden! Die Lüneburger Heide verdankt ihre Erscheinung einer extensiven Beweidung beispielsweise durch Heidschnucken, ohne die dort dichter Wald wäre. Wo ist also die Grenze zwischen „natürlich“ und „künstlich“? Fotos: Frankfurt Skyline – J. Buttler, Lüneburger Heide – S. Calliebe.

verstanden wird. Dies kann wiederum zu Unsicherheiten, Gefühlen von Kontrollverlust und zu einer Undurchsichtigkeit von Prozessen führen. Schließlich ist noch die Zwecklichung von Lebewesen ein intrinsisches Bedenken, sofern ein Subjekt mit Hilfe einer Technologie ein anderes Lebewesen modifiziert und dieses somit zum Objekt macht und damit beispielsweise die ursprünglichen „Zwecke“ des Objekts verändert.

Demut vor dem Telos von Lebewesen

Bioethiker (und vor allem Biozentristen) argumentieren oft, dass jedes Lebewesen an sich einen intrinsischen, also einen „inneren Wert“ hat. Dieser ist losgelöst von Zwecken Dritter, sondern der Wert dient nur als Zweck an sich selbst. Eng damit verbunden ist das „Telos“ eines Lebewesens. Ein „Telos“ beschreibt dabei eine von innen kommende Zielgerichtetheit, wie beispielsweise das Bestreben von Pflanzen zu wachsen und sich zu vermehren – also alles, was zum Wohl oder der Ausbreitung des Organismus und seiner Art führt. Nun besteht ein Argument von Gentechnikgegnern darin, dass das inhärente Telos durch Gentechnik verändert beziehungsweise in Frage gestellt wird.



Problematisch ist dabei, dass man zunächst einmal ein Telos definieren muss, es als Mensch jedoch durchaus schwierig sein kann, sich in andere Arten hineinzusetzen, um Bedürfnisse und Ziele einer anderen Art zu formulieren. In der grünen Gentechnik könnte man sich fragen: Woher kann ein Mensch wissen, wie sich eine Pflanze fühlt? Haben Pflanzen überhaupt Bedürfnisse und Ziele? Jedoch wäre dies eher ein Problem der Metaethik. Halten wir aber fest, dass in vielen Fällen das vermutliche Telos durch gentechnische Modifikationen nicht unbedingt gestört, sondern teilweise sogar befördert werden könnte: In der grünen Gentechnik dienen gentechnische Eingriffe oftmals eher einem besseren Wachstum oder der Verbesserung von Resistenzen gegen Schädlinge.

Anders wäre es jedoch beispielsweise, wenn gentechnische Veränderungen zu einer Verminderung der Fitness oder gar zu einer Unfruchtbarkeit und somit zum Aussterben eines Organismus oder von ganzen Arten führen. Dies ist der Fall bei *gene-drive*-Anwendungen, durch die krankheitsübertragende Mücken ausgerottet werden sollen. Aussetzungen ins Freiland fanden bereits 2014 in Brasilien statt, um Dengue- und Zika-Virus-Infektionen einzudämmen, sowie 2024 in Afrika, um die Übertragung von Malaria einzudämmen. Das Besondere an *gene-drive*-Anwendungen ist, dass die gentechnischen Veränderungen je nach Konstrukt nur an männliche Mücken weitergegeben werden, während die weiblichen Larven sterben. Der Vorteil ist, dass die entsprechenden Gene länger in der Population verbleiben und nicht immer neue veränderte Mücken ausgesetzt werden müssen.

Bei gentechnischen Veränderungen am Menschen unterscheidet man zwischen therapeutischen Anwendungen zur Behandlung von Krankheiten und *Human Enhancement*, also der „Verbesserung“ von Eigenschaften des Menschen. Therapeutische gentechnische Anwendungen gibt es bereits seit einigen Jahrzehnten. Die ersten Genthapien wurden bereits 1989 durchgeführt. Am häufigsten ging es um die Behandlung von Krebs, am zweithäufigsten um monogenetische Krankheiten, also Erbkrankheiten, die durch die Veränderung von nur einem einzigen Gen entstehen. Selbst CRISPR-Cas wurde bereits erfolgreich am Menschen durchgeführt (Abbildung 2).



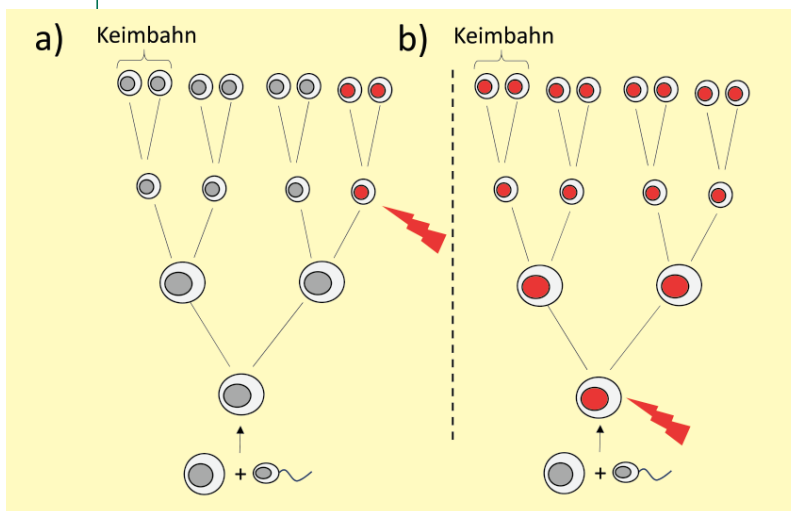
ABB. 2 Anwendung von CRISPR am Menschen. Victoria Gray, der erste Mensch weltweit, der durch eine CRISPR-Cas-Behandlung von Sichelzellenanämie geheilt wurde. Das Foto entstand 2023 bei ihrer Rede auf dem dritten internationalen Treffen zu Genomeditierung am Menschen in London. Foto: Syriol Jones/ The Royal Society.

Telos und Wahlfreiheit des Menschen

In Bezug auf das Telos des Menschen, das mindestens genauso viele Aspekte aufweist wie das einer Pflanze, könnte man hier argumentieren, dass eine therapeutische Anwendung ethisch gerechtfertigt wäre, da sie Leid verhindert und eher zum Wohlbefinden eines Individuums führt. Wichtig ist hierbei, dass bei allen therapeutischen Anwendungen die Menschen sich trotz der Risiken bewusst für die Behandlung entscheiden.

Anders sieht es aus, wenn man befruchtete Eizellen oder Embryonen zur Verbesserung von Eigenschaften oder zur Reparatur genetischer Defekte gentechnisch verändern würde (Abbildung 3). Im Gegensatz zu somatischen Eingriffen, bei denen nur bestimmte Gewebe oder Körperzellen eines Menschen verändert werden, und es technisch unmöglich ist, alle Zellen zu modifizieren, kann eine gentechnische Anwendung in der Keimbahn alle Zellen des Körpers betreffen. Technisch gesehen bringt das zwar Vorteile, ethisch jedoch Herausforderungen. Hier könnte man erstens diskutieren, ob das Telos des Menschen in der Umsetzung seiner Ziele bestärkt wird oder ob der Mensch dadurch verzwecklicht wird – beispielsweise indem man besonders starke Menschen „züchtet“, die in körperlich anstrengenden Berufen eingesetzt werden sollen. Oder indem man Eigenschaften ver-

ABB. 3 | MODIFIKATION VON SOMATISCHEN VS. KEIMBAHZZELLEN



a) Bei der Modifikation von somatischen Zellen (Körperzellen) am Menschen, beispielsweise an Knochenmarkszellen, findet sich die Veränderung nur in dem behandelten Gewebe. Nachkommen dieser Menschen sind nicht von der Veränderung betroffen. b) Findet die Modifikation jedoch direkt nach der Befruchtung der Eizelle statt, so sind alle Zellen des heranwachsenden Menschen betroffen – auch die Keimbahnzellen. Nachkommen würden die Modifikation ebenfalls tragen. Abb.: J. Buttlar.

bessert, die einen „Super-Soldaten“ hervorbringen würden – eine Vorstellung, die Wladimir Putin bereits 2017 während eines Jugend- und Studentenfestivals in Sotschi äußerte [3].

Zweitens hat man das Problem, dass der Mensch zum Zeitpunkt der Modifikation – also als Embryo – nicht mündig ist. Hier ergeben sich Probleme mit Werten wie dem Recht auf Selbstbestimmung und der Wahlfreiheit. Menschen nehmen dabei insofern eine besondere Rolle ein, da ihnen im Gegensatz zu Pflanzen und den meisten Tieren ein ausgeprägtes Bewusstsein und die Gabe zur Selbstreflexion gegeben ist. Für Menschen ist das Recht auf Selbstbestimmtheit, individuelle Entfaltung und auf freie Entscheidungen somit ein hohes Gut. Im Gegensatz zu therapeutischen Eingriffen an erwachsenen Menschen würde man dem entstehenden Menschen die Wahlfreiheit nehmen, ob er überhaupt diese Veränderung möchte. Die veränderten Eigenschaften unterliegen somit der Willkür der Eltern beziehungsweise des behandelnden Arztes. Auch für die Gesellschaft könnten gentechnische Eingriffe in der Keimbahn Folgen haben – doch dazu später mehr.

Unveränderlichkeit von Molekülen und Artgrenzen

Des Weiteren ist die „**Unveränderlichkeit von Genomen**“ ein kategorisches Argument gegen Gentechnik. Hier geht es darum, dass genetische Veränderungen (die ja das Ziel von Gentechnik sind) im Allgemeinen nicht zulässig wären, weil Genome eine sogenannte Integrität hätten. Dies bedeutet, dass man nicht nur Respekt und Demut vor einem lebendigen Organismus (wie im vorherigen Abschnitt), sondern bereits vor einer genetischen Sequenz einer Art oder eines Individuums haben sollte, weil sie an sich wertvoll sei. Dies ist eines der Hauptargumente der internationalen Vereinigung der ökologischen Landbaubewegungen (IFOAM = *International Federation of Organic Agriculture Movements*), die gentechnisch veränderte Pflanzen strikt ablehnt [4]. Allerdings könnte man hier mit dem Umweltethiker Konrad Ott entgegenhalten: „Genetische Programme sind bewusstlos kodierte Information. Ein genetisches Programm kann nicht gedemütigt, gekränkt oder beleidigt werden“ [5]. Zudem lässt sich dieses Argument nicht mit der Evolution in Einklang bringen. Gäbe es keine Mutationen, gäbe es auch keine Evolution und wir würden bestenfalls als präbiotische Moleküle in der Ursuppe herumschwimmen. Genome sind nicht in Stein gemeißelt, sondern seit jeher zu einem gewissen Teil dynamisch.

Schließlich sei erwähnt, dass Kritiker meinen, dass eine **Artüberschreitung** ethisch nicht vertretbar wäre, weil sie nicht in der Natur vorkommt. Artüberschreitungen finden bei der Herstellung transgener Organismen statt, bei denen Gene von einer anderen Art auf den Zielorganismus hinüber („*trans*“) transferiert werden. Beispielsweise werden bei der Generierung von gentechnisch modifizierten Organismen oftmals Antibiotikaresis-

tenzen als Marker übertragen oder eben ganz neue Gene, die die Bildung bestimmter Stoffwechselprodukte ermöglichen. Das Argument, dass Artüberschreitungen in der Natur nicht vorkommen, ist allerdings nicht ganz haltbar, da man mittlerweile Vorgänge aus der Natur kennt, bei denen Organismen der gleichen, aber auch verschiedener Arten über **horizontalen Gentransfer** Gene oder Genfragmente austauschen. Dies findet regelmäßig bei Bakterien untereinander statt, aber ebenso zwischen Bakterien und Pflanzen (beispielsweise über das Bodenbakterium *Agrobacterium tumefaciens*, das auch im Labor verwendet wird, Abbildung 4b) und hin und wieder sogar zwischen Bakterien und Tieren. Überdies spielen Viren beim horizontalen Gentransfer eine wichtige Rolle. Man nimmt sogar an, dass ein großer Teil des menschlichen Genoms (etwa 44 %) ursprünglich auf virale Sequenzen zurückgeht, die sich dann weiter ausbreiteten [6]. In den letzten Jahren wird zunehmend häufiger horizontaler Gentransfer zwischen Pflanzen und Tieren (Wirt und Parasit) beobachtet oder vermutet [7]. Selbst in der konventionellen Züchtung, (beispielsweise beim Pfropfen von Obstbäumen, Abbildung 4a) ist horizontaler Gentransfer nachgewiesen.

Ein weiterer Punkt ist, dass die Artdefinition und somit die Abgrenzung zu anderen „Arten“ mit zunehmender Kenntnis von molekularbiologischen Vorgängen und dem Aufbau von Genomen deutlich komplizierter geworden ist. Es wird deutlich, dass der Artbegriff eher ein wissenschaftliches Konstrukt zur Ordnung von Organismen ist als eine natürliche Kategorie. Irrelevant ist dieser Punkt übrigens bei **intragenischen** Modifikationen (Abbildung 5), bei denen einzelne Basen oder Sequenzen innerhalb des Genoms eines Organismus verändert oder gelöscht werden, sowie bei **cisgenischen** Modifikationen, bei denen Gene oder Genfragmente von anderen Organismen der gleichen Art übertragen werden.

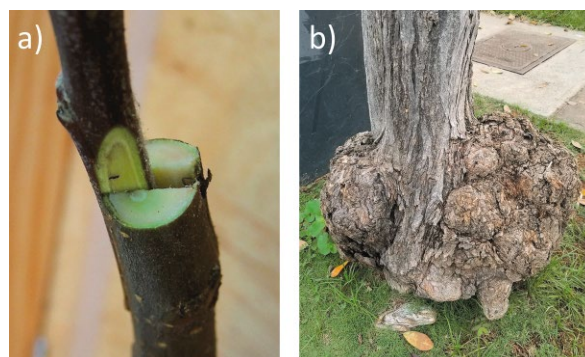


ABB. 4 Horizontaler Gentransfer in der Natur. Ein HGT zwischen verschiedenen Arten kann beim Pfropfen oder Veredeln von Kernobstsorten (a), aber auch natürlicherweise bei der Infektion von Pflanzen mit *Agrobacterium tumefaciens*, die knollige Wucherungen auslöst (b), vorkommen. Fotos: a) <http://kentorchards.org.uk/advice/grafting/grafting-and-budding-methods/>, (CC BY-NC 4.0), b) S. Nelson (CC0).

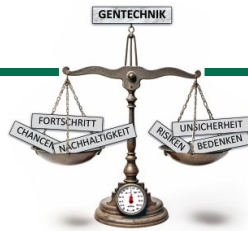
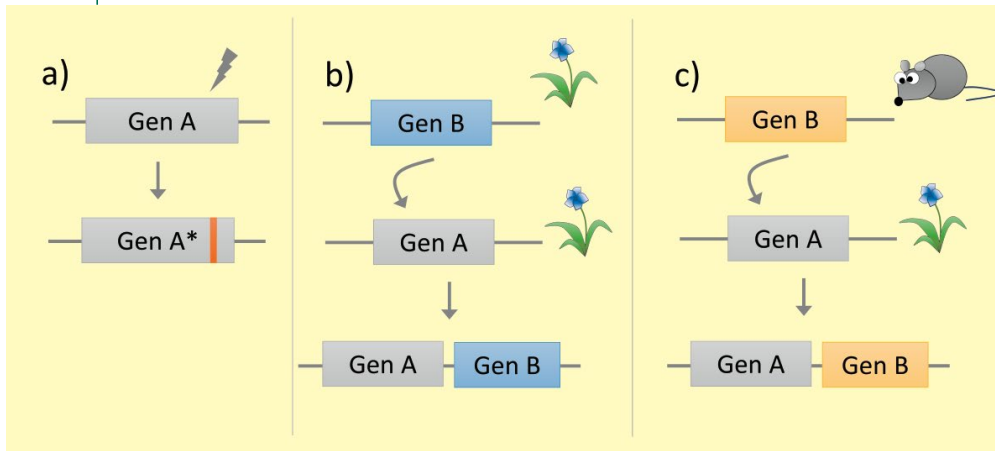


ABB. 5 | VARIANTEN VON GENTECHNISCHEN VERÄNDERUNGEN



Bei intragenischen Modifikationen (a) werden in dem betreffenden Gen direkt einzelne oder mehrere Basen gelöscht, hinzugefügt oder verändert. Bei intergenischen Modifikationen (b) werden Gene oder Genfragmente aus der gleichen Art übertragen. Bei transgenen Modifikationen (c) werden Gene oder Fragmente (sogenannte Transgene) aus einer fremden Art übertragen. Man spricht von transgenen Organismen. Abb.: J. Buttlar.

ein Selbstverständnis des Menschen und außerdem um ein Verhältnis zu einer übernatürlichen (und übermächtigen) Wesenheit und ihrer Schöpfung. Der Ausspruch in der Alltagsmoral, dass man nicht „Gott spielen“ soll, bezieht sich dabei vor allem auf die durch Technologien erhöhte Macht des Menschen – beziehungsweise, dass man sich anmaßt, alle Konsequenzen seiner Taten wie ein Gott vorhersehen zu können. Insgesamt haben Religionen vor allem einen wichtigen Einfluss auf das Zusammenleben von Menschen und vermitteln grundlegende Moralvorstellungen gegenüber anderen Menschen und der „Schöpfung“. In den christlichen und auch in anderen Religionen meint „Schöpfung“, dass alles Existierende – unsere Welt und das Universum – von Gott geschaffen wurde

und von sich aus „gut“ ist. Einigen Theologen zufolge ist diese Schöpfung jedoch noch nicht von Anfang an vollkommen oder statisch, sondern auch zur Entwicklung fähig [8]. Der Mensch – ebenfalls als Teil der Schöpfung – habe dabei den Auftrag, die Schöpfung nicht nur zu bewahren, sondern auch weiterzuentwickeln und zu gestalten (Abbildung 6).



ABB. 6 Wenn Religion auf Wissenschaft trifft: Bei einem Treffen von dem Golden Rice-Miterfinder Ingo Potrykus und Papst Franziskus am 07. November 2013 im Vatikan gab letzterer dem Golden Rice seinen persönlichen Segen. Zwar muss man hier zwischen einem persönlichem und einem offiziell vom Vatikan unterstützten Segen unterscheiden, doch ist diese positive Haltung des höchsten Vertreters der katholischen Kirche (und zugleich gelerntem Chemietechnikers) bemerkenswert. Abbildung mit freundlicher Genehmigung des Humanitarian Board Golden Rice, <http://www.goldenrice.org/>

Kritik an deontologischen Argumenten

So wertvoll und wichtig Argumente aus der deontologischen Ethik sind, so sind sie dennoch nicht unantastbar. Ganz im Gegenteil: Ein häufiger Vorwurf ist, dass die deontologische Ethik sehr realitätsfern sei. Wie bereits erwähnt, ergibt sich nämlich das Problem, dass viele Begriffe, auf die sich die deontologische Ethik stützt, nicht klar zu definieren sind. Dazu zählen „Natürlichkeit“, „Künstlichkeit“, „Telos“, „Verantwortung“, „Naturgesetze“, „Schöpfungsauftrag“ und „Würde“. Andererseits würden sich weitreichende Folgen ergeben, sofern man einige Argumente der Pflichtethik in aller Konsequenz umsetzt, so wie es der Kant'sche kategorische Imperativ fordert.

Würde man aus Gründen der Natürlichkeit von Arten und aus Achtung vor der molekularen Integrität von Genomen beispielsweise auf künstlich veränderte Pflanzen verzichten, so müsste man ebenso die konventionelle Pflanzenzüchtung (im Prinzip jegliche Züchtung) unterlassen, da sie ebenfalls auf der Veränderung von Genomen, auf zufälligen Mutationen, auf Durchmischung von Genomen und Rekombinationsereignissen beruht. So gut wie alle Kulturpflanzen (Abbildung 7), die wir heute kennen, unterscheiden sich morphologisch und genetisch deutlich von ihren ursprünglichen Wildformen, die meist wenig ertragreich und zudem voll von Bitterstoffen und Giften

Religiöse Bedenken und Schöpfung bewahren

Weiterhin müssen religiöse Bedenken erwähnt werden, zumal sie kulturell bedingt auch in die nicht religiöse Argumentation einfließen. Dabei geht es weniger um eine direkte Kritik durch historische religiöse Schriften, da weder Bibel, Talmud oder Koran zu ihrer jeweiligen Entstehungszeit von Gentechnik wussten. Vielmehr geht es um



ABB. 7 Gentechnik im Alltag. Durch Gentechnik hergestelltes (rekombinantes) Humaninsulin und Insulinanaloga helfen gegen Diabetes mellitus. Aber auch die rote Grapefruit sowie fast alle Braugerste- und Hartweizensorten, aus denen in Deutschland Bier hergestellt wird, gehen auf ungerichtete Mutagenese und damit Gentechnik zurück.

Fotos: Insulinanalog – U. Schneider, rote Grapefruit & Bier – J. Buttler.

und daher weder schmackhaft noch bekömmlich waren. Über 10.000 Jahre kultivierte, kreuzte und selektierte der Mensch sehr sorgfältig Pflanzen, bis die heutigen Sorten entstanden. In der „Natur“ wären die heutigen Kulturpflanzen also niemals entstanden. Bei konventionellen Züchtungsmethoden handelt es sich also ebenfalls um „Techniken“, mit denen der Mensch künstlich Arten verändert. Ein Verzicht wäre unvorstellbar.

Ein interessantes Beispiel zur Gentechnik stellt die Bierbraukultur (Abbildung 7) in Deutschland dar, die in der Vermarktung auf symbolische Bilder von Reinheit, Vertrauen und Natürlichkeit setzt: Fast alle Braugerste- und Hartweizensorten hierzulande gehen auf Mutagenesezüchtung zurück. Dabei handelt es sich eindeutig um Produkte der Gentechnik. Jedoch werden sie gesetzlich wie „konventionell produziert“ behandelt, weil sie bereits sehr lange im Umlauf sind und aus der Erfahrung keine Gefahr von ihnen ausgeht. Verallgemeinert könnte man daraus schließen, dass frühere Züchtungen und Mutageneseprodukte zum damaligen Zeitpunkt vielleicht ethisch fragwürdig waren, durch die Erfahrung aber eine ethische Legitimation erhalten haben.

Würde man schließlich aufgrund von technizistischen Bedenken die Verwendung von Technologien insgesamt stoppen, hätte dies dramatische Auswirkungen auf die gesamte Menschheit. Würde man lediglich die Entwicklung neuer Technologien verbieten, würde dies einen Stillstand von Forschung und Entwicklung bedeuten und drängende Entwicklungen zur Ernährungssicherheit, Energiewende oder zu Pflanzen, die an den Klimawandel angepasst sind, deutlich verzögern. Wäre es ethisch, auf Entwicklungen zu verzichten, die Menschenleben retten könnten oder zur Nachhaltigkeit beitragen, nur weil sie „neu“ und „technologisch“ sind?

Teleologische Ethik und extrinsische Bedenken

Würde man Gentechnik nicht aus den vorherigen Gründen kategorisch ablehnen, dann blieben immer noch extrinsische Bedenken und Argumente, bei denen

es vor allem um die Folgen und Risiken, aber auch um die Vorteile geht. In den folgenden Absätzen dienen vor allem Beispiele aus der grünen Gentechnik zur Verdeutlichung.

Präzision und Eingriffstiefe

Ein wichtiges Bedenken betrifft die **Präzision** einer gentechnischen Anwendung und dass man nicht vorhersehen kann, was in dem Organismus sonst noch verändert wird (Abbildung 8). Verbunden damit ist oft eine Angst vor einer ungewollten Ausbreitung der Mutation und deren Folgen für andere Organismen und Ökosysteme. Das Argument der Präzision gilt besonders für die ungezielte Mutagenese, die in den 1960er und 1970er Jahren durchgeführt wurde. Auch bei anderen älteren molekularbiologischen Techniken konnte man den Ort der Modifikation nicht genau vorherbestimmen. Indem ungewollt weitere Gene unterbrochen oder modifiziert werden, können sogenannte **off-target-Effekte** entstehen. Mit neueren Methoden wie CRISPR-Cas können jedoch – in Abhängigkeit von der Einzigartigkeit der „programmierten“ Zielsequenz – sehr genaue Schnitte und Modifikationen gesetzt werden. Zudem können mit den heutigen Technologien ganze Genome sehr kostengünstig sequenziert und auf **off-target-Effekte** untersucht werden. Dabei werden ebenfalls natürlicherweise auftretende Mutationen entdeckt, die mitunter häufiger als **off-target-Effekte** und von diesen oft nicht unterscheidbar sind.

Gesundheitliche Bedenken durch gentechnisch veränderte Nahrungsmittel

Ein weiteres extrinsisches Argument ist der Einfluss von gentechnisch veränderten Pflanzen auf die **Gesundheit** des Konsumenten – also Tieren inklusive Menschen. In der Forschung und bei der Sicherheitsbeurteilung werden daher gentechnisch veränderte Pflanzen genauer überprüft als konventionelle Züchtungen. Beim Vergleich der amerikanischen Bevölkerung, die in großem Umfang gentechnisch veränderte Nahrungsmittel konsumiert, mit der europäischen, die nur sehr wenig GVO (gentechnisch

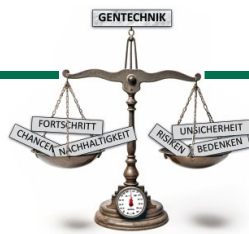
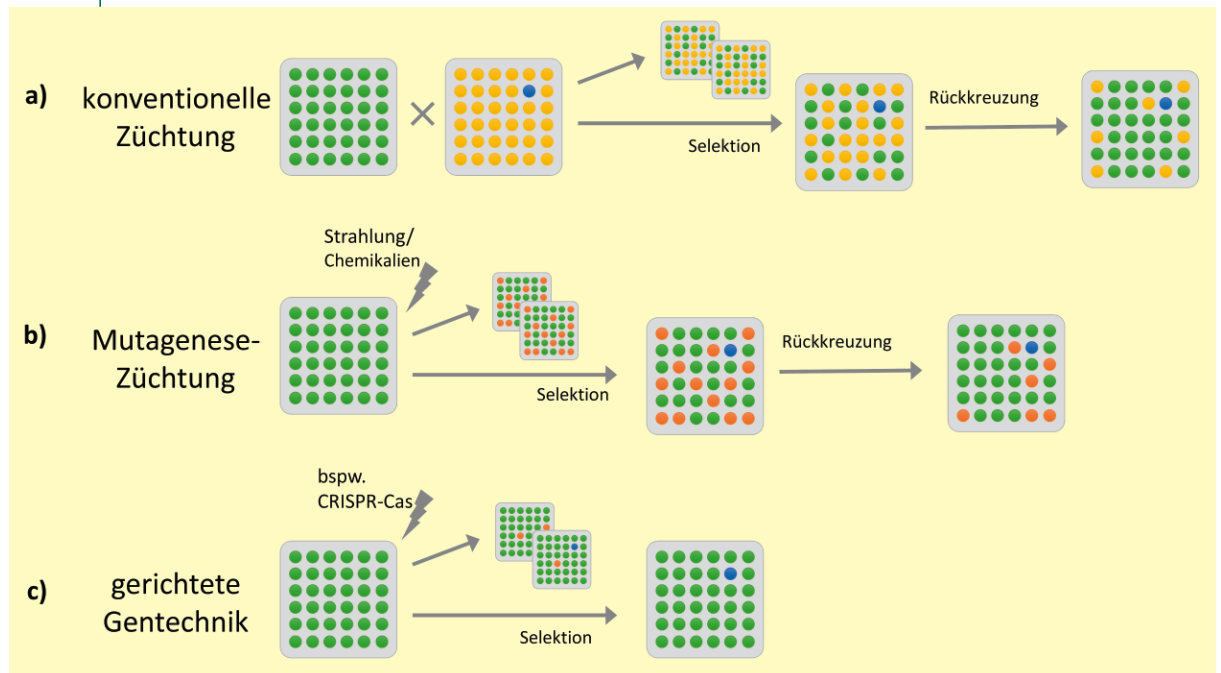


ABB. 8 | VERSCHIEDENE ZÜCHTUNGSMETHODEN BEI PFLANZEN



Bei der konventionellen Züchtung (a) versucht man durch Kreuzen mit anderen Sorten der gleichen (oder selten fremden) Art gewünschte Merkmale (blau) zu übertragen. Die Nachkommen werden auf das erwünschte Merkmal selektiert und für Rückkreuzungen verwendet, um andere eingebrachte unerwünschte Merkmale (gelb) wieder zu beseitigen. Bei der ungerichteten Mutagenese (b) entsteht durch Strahlung oder Chemikalien eine Vielzahl von Mutationen (orange), die ebenfalls ausselektiert und eventuell zurückgekreuzt werden. Neue gentechnische Methoden (c) hingegen sind sehr präzise. *Off-target*-Effekte – und somit unerwünschte Merkmalsvarianten – treten hier deutlich seltener auf, können aber auch ausselektiert werden. Abb.: J. Buttler.

veränderte Organismen)-haltige Nahrung konsumiert, fanden Studien jedoch keinerlei Einfluss auf die Gesundheit [9]. Anders kann es sich hingegen bei transgenen Pflanzen verhalten, die so modifiziert wurden, dass sie zusätzliche Stoffe enthalten. Ein Beispiel ist der *Golden Rice*, der entwickelt wurde, um Vitamin-A-Mangel zu bekämpfen. *Golden Rice* enthält eine große Menge an Provitamin-A, einer Vorstufe von Vitamin A, die den Reis gelblich wirken lässt. Ebenso wie bei Anthocyan-reichen Tomaten wurden bei der Überprüfung positive Gesundheitseffekte festgestellt. Eventuelle negative Nebeneffekte könnten nur in Langzeitstudien mit sehr großen Kohorten festgestellt werden.

Gentechnik, Ökolandbau und große Firmen

Im ökologischen Biolandbau wird Gentechnik strikt abgelehnt (Abbildung 9). Einige der wichtigsten Argumente, die „Integrität molekularer Sequenzen“ sowie die „Künstlichkeit“, widersprechen jedoch wissenschaftlichen Erkenntnissen über die Evolution beziehungsweise konventionelle

Züchtungsmethoden. Was spricht also dagegen, gentechnisch hergestellte Pflanzen mit ökologischem Landbau zu kombinieren? Immerhin ist es ein gemeinsames Ziel vieler Forscher und des Biolandbaus, Kulturpflanzen nachhaltiger zu machen.

Neben den hier genannten intrinsischen und extrinsischen Bedenken liegt ein Problem darin, dass Gentechnik oftmals automatisch mit intensiverer Landwirtschaft und mit einem erhöhten Einsatz von Pestiziden in Verbindung gebracht wird. Auch wird der kapitalistisch kommerzielle Umgang mit Patenten und Saatgut kritisiert, der Kleinbauern wirtschaftlich von den Herstellern abhängig machen und die Produktionskosten beeinflussen könnte. Es handelt sich hier also um wirtschaftliche und soziale Bedenken, die als Folge von Firmen- und Patentpolitik angesehen werden können. Gentechnik an sich muss jedoch nicht automatisch damit in Verbindung gebracht werden: Genauso könnte man an öffentlichen Forschungseinrichtungen die Entwicklung von Sorten fördern, die besser an den Klimawandel angepasst sind und zum Klimaschutz beitragen. Dies geschieht zwar, hat für den Markt in Deutschland aufgrund der gesetzlichen und gesellschaftlichen Ablehnung jedoch kaum Relevanz. Neuere Techniken sind zudem so günstig, dass selbst kleine Firmen sich diese leisten können, was zu einer regelrechten Demokratisierung der Technik führen kann.



ABB. 9 Gentechnik und „Öko“. Die Ablehnung von Gentechnik im Ökolandbau, dem sich auch der Anbauverband Bioland verpflichtet fühlt, ist groß. Auf diesem Schild wird direkt das extrinsische Bedenken durch Patente genannt. Foto: J. Buttler.

Gerade nach der Etablierung der CRISPR-Cas-Methodik wurden in der Gentechnik neue Akzente gesetzt. Wurde bisher überwiegend mit Transgenen gearbeitet, die Insektizide ersetzten oder Toleranz gegenüber synthetischen Herbiziden vermittelten, so wird heute verstärkt auf Cisgenese gesetzt. Dabei sollen Pflanzeigenschaften wiederbelebt werden, die natürliche Resistenzen gegen Fraßfeinde sowie bessere Nährstoff- und Wasserverwertung erlauben. Vielfach sind diese Eigenschaften bei konventionellen Kreuzungen unbemerkt verloren gegangen.

Der ehemalige Direktor des schweizerischen Forschungsinstituts für biologischen Landbau (FiBL), Urs Niggli, beschäftigte sich über 30 Jahre mit Biolandbau und gilt als Vordenker. Ihm zufolge ist eines der Probleme des Biolandbaus das Marketing, das einen Einsatz von Gentechnik dogmatisch verneine und dazu führe, dass eine plötzliche Meinungsänderung den Kunden nur schwer zu vermitteln sei [10]. Gleichzeitig wäre aber gerade im Biolandbau die gentechnische Züchtung von unschätzbarem Vorteil, da sie deutlich schneller neue Sorten produziert als die konventionelle Züchtung. Genau diese neuen Sorten wären aber nötig, um dem Wassermangel, dem Hitzestress sowie der Trockenheit des Klimawandels zu begegnen. Neue Sorten würden außerdem dabei helfen, dass der Biolandbau wettbewerbsfähig bleibt. Zwar ist er deutlich umweltfreundlicher als die konventionelle Intensivlandwirtschaft und hat sich der Nachhaltigkeit verschrieben, jedoch ist der Ertrag pro Fläche geringer.

Extrinsische Argumente zu roter Gentechnik

Interessanterweise spielen die bisher genannten Bedenken vor allem in der Diskussion um die grüne Gentechnik eine große Rolle. In der roten Gentechnik hingegen zeigt sich teilweise ein anderes Bild: Gentechnisch hergestellte Medikamente wie Insulin oder Blutgerinnungsfaktoren sind unverzichtbar. Der gentechnische Eingriff in Bakterien oder Hefezellen, die die Stoffe produzieren, wird als wenig problematisch empfunden. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass es im Vergleich zu früheren Herstellungsverfahren, bei denen beispielsweise Insulin aus Schweinen und Rindern isoliert wurde, weniger Nebenwirkungen gibt. Andererseits kann es aber auch an einem Gewöhnungseffekt und einem Vertrauensaufbau liegen, der ebenfalls als eine Art Natürlichkeit interpretiert werden kann. Zudem ist der Nutzen unmittelbar spürbar und es gibt konkrete Gesundheitsvorteile.

Bei der gentechnischen Behandlung direkt am Menschen sind *off-target*-Effekte nicht auszuschließen. Bei der Beurteilung der Behandlung bestimmter Erbkrankheiten wie β -Thalassämie und Sichelzellenanämie (siehe Artikel „Wie die CRISPR-Genschere dauerhafte Heilung verspricht“, S. 6) überwiegen jedoch anscheinend die Vorteile gegenüber den ethischen Bedenken wie gesundheitlichen Risiken einer Behandlung. Ein wichtiges Argument

bleibt jedoch die Zugänglichkeit und gerechte Verteilung der Technologie, da solche Eingriffe eben sehr teuer sind. Dieses vor allem wirtschaftliche und soziale Bedenken ist valide. Es ist jedoch fraglich, ob ein Verbot der Technologie soziale Probleme löst.

Therapeutische gentechnische Modifikationen in der Keimbahn hat selbst der deutsche Ethikrat bislang nicht kategorisch abgelehnt [11]. Jedoch ergibt sich hier in den allermeisten Fällen gar nicht die Notwendigkeit zur gentechnischen Modifikation, da durch eine Vorselektion jene Embryonen mit schwerwiegenden Erbkrankheiten einfach aussortiert werden können – auch wenn man hier natürlich wieder andere ethische Bedenken anbringen kann. Problematischer hingegen wird es beim *Human Enhancement*. Neben dem deontologischen Problem zur Wahlfreiheit und der Veränderung des Telos kommen in der teleologischen Ethik weitere Bedenken hinzu: Die meisten Eigenschaften des Menschen werden durch eine Vielzahl von Genen bestimmt. Zudem sind einzelne Gene an der Ausprägung verschiedener Eigenschaften beteiligt. Unerwünschte Nebeneffekte sind wahrscheinlich, aber nur sehr schwer vorherzusagen. Daneben gibt es weiterhin soziokulturelle Bedenken wie die Diskriminierung von Menschen mit anderen Allelen. Wer entscheidet, welche Genvarianten „gut“ oder „schlecht“ sind? Vermutlich wären Eingriffe überdies nicht allen Menschen gleich zugänglich.

Bisher sind übrigens weltweit nur drei Fälle von Menschen bekannt, bei denen gentechnische Eingriffe in der Embryonalphase und damit auch in der Keimbahn vorgenommen wurden. 2018 veröffentlichte der chinesische Forscher He Jiankui (Abbildung 10) die Geburt von zwei (später drei) Kindern, bei denen das Gen des CCR5-Rezep-

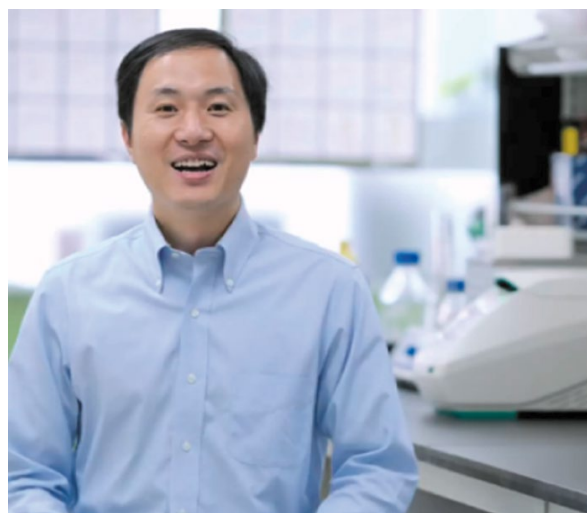
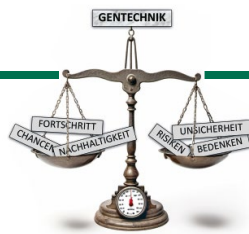


ABB. 10 Eingriffe in die menschliche Keimbahn. In einem aufsehenerregenden Video verkündete der chinesische Wissenschaftler He Jiankui 2018 erstmals die Geburt von zwei Babys, die aus Eizellen entstanden, welche kurz nach der Befruchtung gentechnisch behandelt wurden.

Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=th0vnOmFltc>



tors veränderte wurde. Der Eingriff sollte die Kinder resistent gegen HIV machen. Allerdings kann die eingebrachte Mutation auch weitere positive Auswirkungen haben: So führt das veränderte *CCR5*-Gen zu einer besseren Regeneration von Nervenzellen und damit Erholung von einem Schlaganfall und sowohl bei Menschen als auch bei Mäusen zu einer besseren Gedächtnisleistung. Man könnte vermuten, dass diese „Nebenwirkungen“ den chinesischen Forschern sehr wohl bewusst waren. Was mit dieser Forschung langfristig bezweckt werden soll, wie es den modifizierten Kindern geht und ob sie wirklich schlauer sind, das weiß man nicht.

Wie soll man sich jetzt entscheiden?

Nachdem wir nun verschiedene Argumente und Bedenken der deontologischen und teleologischen Ethik kennengelernt haben, stellt sich schließlich die Frage: Wie soll man nun abwägen? Darauf gibt es keine einheitliche Antwort; jedoch kann man sich verschiedener Ethikformen, Moraltheorien oder Prinzipien bedienen, die man entsprechend seiner persönlichen Werte und Ideale unterschiedlich präferieren kann.

Vorsorgeprinzip vs. Nachsorgeprinzip

In Deutschland wird bekanntlich das Prinzip der Vorsorge dem der Nachsorge gegenüber deutlich favorisiert. Bezogen auf die Gentechnik sieht man dies an einem umfassenden Gesetz, das strenge Sicherheitskontrollen vorschreibt. Bevor ein Schaden durch ein potenziell gesundheitsgefährdendes Produkt entsteht, lässt man dieses lieber gar nicht erst zu. Dabei handelt es sich um eine passive Vorsorge, indem man eine Handlung schlichtweg unterlässt. Dem kann man eine aktive Vorsorge gegenüberstellen. Beispielsweise wäre die Erhöhung der Deiche an Elbe und Nordsee eine aktive Vorsorge, um stärkeren Überschwemmungen und Sturmfluten als Folgen des Klimawandels zu trotzen. Die Kosten solcher Deiche sind zwar enorm, jedoch im Vergleich zu dem potenziellen Schaden einer Sturmflut oder einer Überschwemmung ein geringeres Übel. In Bezug auf gentechnisch hergestellte Therapeutika könnte man dies so interpretieren, dass ethische Bedenken gegen veränderte Bakterien der Gesundheit des betroffenen Individuums untergeordnet werden. Der Patient nimmt Risiken in Kauf, weil der Verzicht auf die Medikamente deutlich schlimmere Folgen hätte. Im Grunde genommen geht es also auch um das Abwägen von Risiken. In Bezug auf GVOs wäre zu argumentieren, dass diese ebenso bei der Ernährungssicherung oder der Minderung des Klimawandels zur Vorsorge beitragen könnten. Wäre es nach dem Vorsorgeprinzip nicht ethisch geboten, alle Möglichkeiten auszuschöpfen, um die Zukunft sicherer zu gestalten?

Der Unterschied zwischen Risiko und Gefahr

Wichtig in ethischen Abwägungen ist der Unterschied zwischen „Risiko“ und „Gefahr“, der keineswegs trivial ist.

Dazu gibt es in verschiedenen Wissenschaften unterschiedliche Auslegungen der jeweiligen Begriffe. Doch überspringen wir dies und bedienen uns einfach der gängigen Definitionen, um den Unterschied mithilfe von ein paar Beispielen zu verdeutlichen. Ein Risiko beschreibt demnach die Wahrscheinlichkeit, dass eine Gefahr eintritt. Eine Gefahr hingegen beschreibt eine Bedrohung. Ein Tiger stellt für einen Menschen eine Gefahr dar, er muss aber nicht unbedingt ein Risiko sein, wenn er in einem sicheren Käfig sitzt. Überdies kann das Potenzial des Schadens einer Gefahr unterschiedlich groß sein. Das Risiko, sich im Sommer einen Sonnenbrand zu holen, kann groß sein. Die Gefahr, die vom Sonnenbrand ausgeht, ist jedoch deutlich kleiner, als die eines hungrigen Tigers, auch wenn das Risiko, diesem im Freibad zu begegnen, wiederum deutlich kleiner ist.

Auf unsere Debatte um Gentechnik kann dies einen wichtigen Einfluss haben. In der teleologischen Ethik dienen Risiken oftmals als Gegenargument oder gar als Ausschlusskriterium. Wenn man sich jedoch klar macht, dass ein Risiko nicht gleichzeitig eine große Gefahr darstellt und umgekehrt, können Argumente eine andere Gewichtung bekommen. Beispielsweise kann man das Risiko von *off-target*-Effekten und damit verbundene Auswirkungen nie ganz ausschließen. Doch ist hier nicht nur das Risiko relevant, sondern auch, welche vermeintlichen Gefahren von einer gentechnischen Modifikation oder der Ausbreitung des GVO ausgehen.

Würde man sich nur nach Risiken richten, dürfte man salopp gesagt nicht das Bett verlassen, da es immer ein gewisses Risiko gibt, dass ein Schadensfall eintreten könnte. Im Jahr 2023 starben 2.839 Menschen in Deutschland im Straßenverkehr [12]. Aber würde deshalb ein Großteil der Bevölkerung darauf verzichten, Auto zu fahren oder die Regierung den Individualverkehr mit Autos sogar gesetzlich verbieten? Die Aussage hier ist, dass Risiken oftmals unvermeidbar sind und durchaus toleriert werden können, sofern ein gewisser Mehrwert entsteht.

Ein weiteres fiktives Beispiel: Man induziert in einer Gerste gentechnisch eine Resistenz gegen das Gelbmosaikvirus, das bei Befall zu massiven Ernteaufällen führt (woran tatsächlich geforscht wird). Man stellt dann fest, dass es ein gewisses Risiko gibt, dass sich resistente Gerste-Pflanzen auf benachbarten Feldern ausbreiten. Dann wäre zu untersuchen, welche Gefahr von der Ausbreitung ausgeht (bzw. welcher Schaden dabei entsteht). Dieser wäre zu vergleichen mit dem Schaden, der entstehen würde, wenn die Gerste nicht resistent gegen das Gelbmosaikvirus wäre.

Schließlich sei noch erwähnt, dass es neben bekannten Risiken natürlich unbekanntes Risiken gibt. Diese „unkalkulierbaren Risiken“ spielen eine große Rolle in der ethischen Debatte um GVOs. Man sollte jedoch bedenken, dass auch eine Reise mit der Bahn oder ein Waldspaziergang eine Unmenge unbekannter, unkalkulierbarer Risiken beinhaltet.

Das Problem des Nicht-Tuns

Indem man etwas nicht tut, könnte man gewisse Risiken für Gefahren minimieren. Jedoch nicht nur das Tun erzeugt Konsequenzen, sondern auch das Unterlassen einer Handlung hat Folgen. In Deutschland handelt es sich bei einer unterlassenen Hilfeleistung rechtlich gesehen sogar um eine Straftat (entsprechend dem Strafgesetzbuch §323c). Als Beispiel aus der grünen Gentechnik bietet sich der *Golden Rice* an. Obwohl die Entwicklung abgeschlossen war, suchten verschiedene Organisationen über Jahre nach Argumenten, um den Anbau zu verhindern. Dabei wurden immer wieder Restrisiken angeführt, die natürlich nicht zu 100 Prozent ausgeräumt werden konnten. Eine pragmatische Abwägung der Risiken und Gefahren von Tun und Nicht-Tun erschien unmöglich, weil die oft angeführten „unkalkulierbaren Risiken“ eben nicht in die Kalkulation eingehen konnten. Eine eindeutige Bilanz wird man erst ziehen können, wenn der Reis in großem Umfang auf dem Markt ist. Im Erfolgsfall wäre dann die Frage zu stellen, wer die Verantwortung für die unterlassene Freigabe und die Opfer dieser Unterlassung trägt.

Weitere Moraltheorien

Die Diskussion könnte nun sehr lange weitergehen; deshalb sollen einige Moraltheorien nur kurz angerissen werden. Beispielsweise könnte man sich des **Utilitarismus** bedienen, der oftmals auf die Formel „Gut ist, was nützt“ heruntergebrochen wird. Hier vereinen sich im Prinzip mehrere bereits genannte Aspekte, nämlich dass es neben offensichtlichen Vor- und Nachteilen durchaus Risiken geben kann, die nie völlig ausgeräumt werden. Solange eine bestimmte Handlung jedoch unterm Strich einen Vorteil, also etwas „Gutes“ bewirkt, sind Nachteile und Risiken durchaus tolerierbar.

In einer weiteren Moralphilosophie, der **Wertethik**, geht es vor allem um die Aufrechterhaltung und Wahrung bestimmter bewusster (und unterbewusster) Wertvorstellungen. Ein wichtiger Aspekt ist hier, dass die Werte, die es zudem erst einmal zu definieren gilt, auch hierarchisch geordnet werden können. Man könnte „Natürlichkeit“ und „molekulare Integrität“ als obersten Wert festlegen und danach erst Versorgungssicherheit, Fortschritt und andere. So würde man die Anwendung von Gentechnik als unethisch bewerten. Würde man jedoch Versorgungssicherheit, Fortschritt und Schutz der Biodiversität (beispielsweise durch die Reduzierung von Pestiziden) an die Spitze der Wertehierarchie setzen und Natürlichkeit und die molekulare Integrität an das Ende, so könnte man Gentechnik befürworten, solange die jeweils erzeugten GVOs die entsprechenden Werte unterstützen.

In der **Tugendethik** geht es weder um die intrinsischen ethischen Aspekte einer Handlung (Deontologie) noch um Konsequentialismus (Teleologie), sondern um die handelnde Person selbst und ihre Motivation. Hier werden also keine Regeln für ethisches Handeln aufge-

stellt, sondern es kommt auf die inneren Neigungen des Handelnden an, aus denen wiederum Einstellungen und Haltungen resultieren. Tugenden bezeichnen dabei erstrebenswerte Eigenschaften oder Haltungen, die eine Person wiederum dazu befähigen, etwas „Gutes“ zu tun.

Als Gegenentwurf zu einer **Individualethik**, die sich also durch ethische Werte, Konzepte und Entscheidungen eines einzelnen Individuums auszeichnet, sei noch die **Diskursethik** erwähnt. Hier handelt es sich vor allem um eine Verfahrensethik, die in einem Diskurs zwischen verschiedenen Teilnehmenden einen Konsens erreichen möchte. Grundlage ist hier, dass sich die Beteiligten auf bestimmte Kommunikationsregeln einlassen – beispielsweise einer fairen Beteiligung der Anwesenden und auf eine Anerkennung rationaler Argumente. Hier gibt es jedoch eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass es nicht zu einem konstruktiven Konsens, sondern zu einem Kompromiss kommt.

Spätestens jetzt sollte klar sein, dass eine globale einheitliche Ethik illusorisch ist. Dennoch möchte ich Sie, liebe Leserin, lieber Leser, nun vorerst mit den Worten des Forschers, Arztes und Philosophen Albert Schweitzer entlassen: „Ich bin Leben inmitten von Leben, das leben will.“ Stellt sich lediglich die Frage, was das für die Ethik bedeutet ...

Zusammenfassung:

Gentechnik, vor allem die grüne Gentechnik, ist in Deutschland sehr umstritten. In der ethischen Diskussion kann man zwischen deontologischen und teleologischen Argumenten unterscheiden. Erstere beinhalten intrinsische Argumente, die Gentechnik „in sich“ kategorisch ablehnen, wie bspw. Natürlichkeit von Organismen, Integrität von Genomen, Artüberschreitung oder Technizismus. Bei zweiteren stehen Folgen wie Risiken und Chancen von gentechnischen Anwendungen im Mittelpunkt. Um zu einer ethischen Entscheidung zu kommen, können verschiedene Moraltheorien, Werte und Prinzipien diskutiert werden.

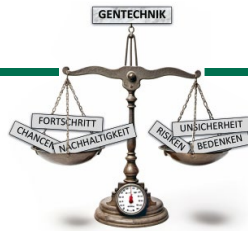
Summary

Genetic engineering and ethics

Genetic engineering, particularly green genetic engineering, is highly controversial in Germany. In the ethical debate, one can distinguish between deontological and teleological arguments. The former include intrinsic arguments that categorically reject genetic engineering “in itself”, such as the naturalness of organisms, the integrity of genomes, transgression of species boundaries, or technicism. The latter focus on the consequences, such as the risks and opportunities of genetic engineering applications. To reach an ethical decision, various moral theories, values, and principles can be discussed.

Schlagworte

Ethik, Gentechnik, Risiken, grüne Gentechnik, rote Gentechnik, intrinsische Bedenken, extrinsische Bedenken



ABA

Austrian Biologist Association

Verein österreichischer Biologinnen und Biologen



VERNETZUNG

- Vernetzung von BiologInnen unterschiedlicher Berufsgruppen
- Informationsaustausch
- Exkursionen



ÖFFENTLICHKEITSBILDUNG

- Wissenschaftskommunikation
- Online-Magazin bioskop Podcasts
- Bildungsarbeit



BERUFSINFORMATION

- Berufsinformation für biologische Berufe
- Berufsbild Biologie



www.austrianbiologist.at
info@austrianbiologist.at

Literatur

- [1] BfN (2021). <https://t1p.de/tmucx>
- [2] <https://t1p.de/ffktv>
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=TCPI7ftLajA>
- [4] IFOAM (2020). <https://t1p.de/hzuzp>
- [5] K. Ott (2003). Ethische Aspekte der ‚grünen‘ Gentechnik. In M. Düwll und K. Steigleder (Hg.) Bioethik. Suhrkamp, Frankfurt am Main, S. 363f.
- [6] E. S. Lander et al. (2001). Initial sequencing and analysis of the human genome. Nature 409, 860-921. <https://doi.org/10.1038/35057062>
- [7] T. Mishina et al. (2023). Massive horizontal gene transfer and the evolution of nematomorph-driven behavioral manipulation of mantids. Current Biology 33, 4988-4994.
- [8] Pflanzen.Forschung.Ethik, <https://t1p.de/rz4d4>
- [9] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2016). Genetically Engineered Crops: Experiences and Prospects. The National Academies Press, Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/23395>.
- [10] ARD Audiothek (2024). <https://t1p.de/z5bjy>
- [11] Deutscher Ethikrat (2019). <https://t1p.de/zbq3d>
- [12] Statista. <https://t1p.de/5swjg>

Verfasst von:



Jann Buttler studierte Biologie an der Universität Kassel und an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel. Seit 2023 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter/Doktorand an der Uni Kassel in der Arbeitsgruppe molekulare Pflanzenphysiologie. Nebenberuflich ist er als Lehrbuchautor und Bildungsreferent für Themen im Bereich Klimawandel, Nachhaltigkeit und Molekularbiologie unterwegs. In seinem Masterstudium belegte er als Nebenfach Philosophie mit einem Schwerpunkt auf Ethik, worin er sich seitdem vertieft und stets über neue Argumente freut.

Korrespondenz

Jann Buttler
Doktorand und Wissenschaftskommunikator
BioWissKomm
E-Mail: j.buttler@biowisskomm.de



Verband | Biologie, Biowissenschaften
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM
FÜR DIE**

BIEWISSENSCHAFTEN

Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland.
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten.
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf.
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“.
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie.



www.vbio.de

Jetzt beitreten!

