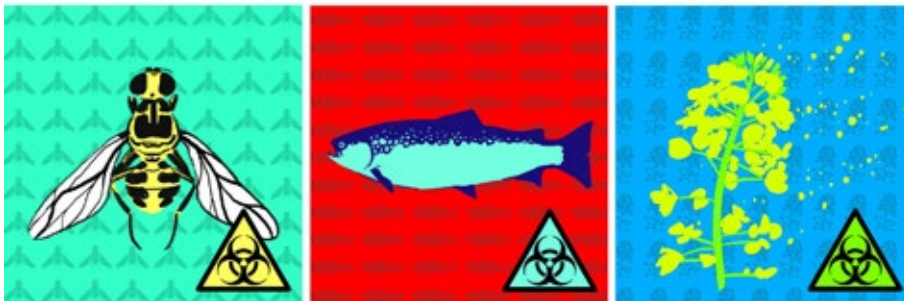


**DER GENTECHNIK GRENZEN SETZEN!**



## **Synthetische Gentechnik und CRISPR-Cas – die Risiken im Überblick**

Den Anwendungen der neuen Gentechnikverfahren  
müssen klare Grenzen gesetzt werden

## **Synthetische Gentechnik und CRISPR-Cas – die Risiken im Überblick**

*Den Anwendungen der neuen Gentechnikverfahren müssen klare Grenzen gesetzt werden*

Eine Übersicht von Testbiotech

Titelgrafik und Organismen: Timo Zett

Layout: Claudia Radig-Willy

Quellen und weitere Informationen: [www.testbiotech.org/gentechnik-grenzen](http://www.testbiotech.org/gentechnik-grenzen)

### **Impressum**

Testbiotech

Institut für unabhängige Folgenabschätzung in der Biotechnologie

Frohschammerstr. 14

D-80807 München

Tel.: +49 (0) 89 358 992 76

Fax: +49 (0) 89 359 66 22

[info@testbiotech.org](mailto:info@testbiotech.org)

[www.testbiotech.org](http://www.testbiotech.org)

Geschäftsführer: Dr. Christoph Then

## **Inhaltsverzeichnis**

Einleitung	4
1. Fragwürdige Ziele	5
2. Fehleranfälligkeit	6
3. Im Konflikt mit dem Tierschutz	7
4. Neue Monopole in Tier- und Pflanzenzucht	9
5. Folgen für die biologische Vielfalt	10
6. Gentechnik ohne Kontrolle?	11
7. Die Risiken der Gentechnik	13
Anhang	17

## **Einleitung**

Mit Instrumenten wie der Gen-Schere CRISPR eröffnen sich neue Möglichkeiten zur Manipulation des Erbguts. Sie ermöglichen unter anderem das Zerstören natürlicher Gene und die Einfügung zusätzlicher DNA an jeder beliebigen Stelle des Erbguts. Die zusätzliche DNA wird im Labor synthetisiert und kann dabei in ihrer Struktur verändert werden. Zudem kann über sogenannte Gene Drives nicht nur das Erbgut manipuliert werden, sondern der Mechanismus zur gentechnischen Veränderung selbst so im Erbgut verankert werden, dass er auf die nachfolgenden Generationen übergeht.

Die Anwendungsmöglichkeiten erstrecken sich auf Nutztiere und Lebensmittelpflanzen, auf Versuchstiere und Menschen sowie die natürliche biologische Vielfalt wie Insekten, Wildtiere, Bäume und Gräser.

Viele Biotechnologie-Firmen befinden sich gegenwärtig in Aufbruchsstimmung – und in einer entscheidenden Phase: Im gnadenlosen Wettbewerb um Forschung, Entwicklung und Vermarktung, dürfen sie jetzt keineswegs zu langsam sein und müssen – um ihre Position zu stärken – alles technisch Mögliche auch versuchen bzw. umsetzen. Um neue Produkte schneller auf den Markt zu bringen, wollen sie erreichen, dass die entsprechenden Pflanzen und Tiere möglichst ohne Zulassungsverfahren freigesetzt und daraus gewonnene Lebensmittel und das Saatgut ohne Kennzeichnung auf den Markt kommen können. Die Kräfte des Marktes führen dazu, dass (fast) jedes Risiko in Kauf genommen wird, um konkurrenzfähig zu bleiben. Es ist deshalb die Aufgabe der Politik, den neuen Möglichkeiten der Gentechnik Grenzen zu setzen.

Nachfolgend werden einige Gründe genannt, warum die neue Gentechnik mit besonderer Vorsicht und Vorsorge behandelt werden muss und warum unsere Generation gerade hier eine besondere Verantwortung für die Zukunft der Biosphäre hat.

## 1. Fragwürdige Ziele



Als Argument für den Einsatz der neuen Gentechnikverfahren werden oft mögliche Vorteile wie die Sicherung der Welternährung oder die Einsparung von Spritzmitteln genannt. Doch die tatsächlichen Ziele, die zum Beispiel in Patentanträgen formuliert werden, sind oft ganz andere. In vielen Fällen wird Synthetische Gentechnik nur als Fortsetzung der bisherigen Ziele der Gentechnik gesehen, wie die Reduzierung von Herbiziden, die zum großen Teil als gescheitert angesehen werden müssen. Einige Beispiele:

- › Der US-Konzern DuPont möchte mit Hilfe von Nukleasen wie CRISPR Pflanzen resistent gegenüber dem Einsatz des Herbizids Glyphosat machen. Ähnliche Gentechnik-Pflanzen sind schon seit über 20 Jahren auf dem Markt (WO2016007347).
- › Die Schweizer Firma Syngenta will insektengiftigen Mais MIR604, der bereits in den USA angebaut wird, noch einmal mit Hilfe der neuen Nukleasen nach- beziehungsweise umbauen (WO2016106121).
- › Die US-Firma Recombinetics will Schweine und Rinder so manipulieren, dass sie mehr Muskeln ansetzen (WO2012116274).

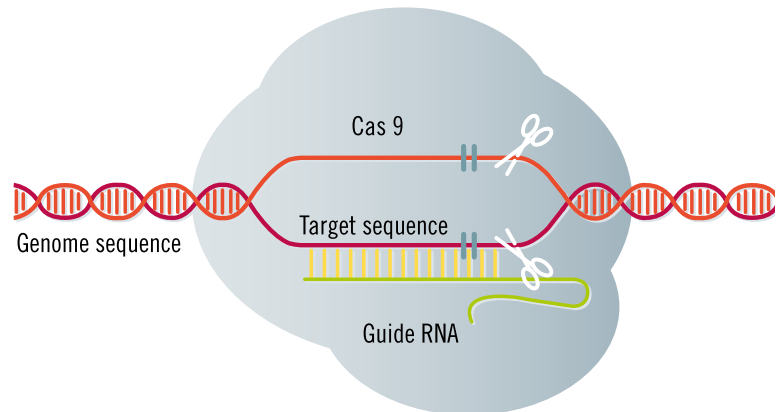
Andere Ziele sind neu, aber in Bezug auf ihre Risiken äußerst problematisch. Zum Beispiel sollen zur Bekämpfung von Schädlingen in der Landwirtschaft gentechnisch veränderte Insekten mit Genen ausgestattet werden, die zum Zusammenbruch einer gesamten Population führen können (siehe Gene Drive). In einem anderen Fall soll der Wuchs von Bäumen so verändert werden, dass sie besser von der Papierindustrie verwertet werden können.

Auch Anwendungen, die die VerbraucherInnen betreffen, bringen kaum echte Vorteile, so zum Beispiel Pilze und Kartoffeln, deren Schnittfläche sich nicht mehr verfärben soll. Derartige Produkte dienen wohl eher der Irreführung von KonsumentInnen als dass sie deren Bedürfnis nach frischer Ware berücksichtigen.

Es gibt auch Anwendungen, deren Nutzen man ernsthafter diskutieren kann, wie höhere Erträge oder Anpassung an den Klimawandel. Oft ist es hier allerdings naheliegender, die Möglichkeiten der konventionellen Züchtung zu nutzen, die bei der Erreichung dieser Ziele bisher wesentlich erfolgreicher ist als die Gentechnik.

Das hat gute Gründe: Anders als die Gentechnik arbeitet die konventionelle Pflanzenzüchtung mit dem ganzen System der Zelle und der natürlichen Genregulation. So lassen sich Aktivität und kombinatorische Wirkungen von tausenden Erbanlagen nutzen, und es können beispielsweise Pflanzen mit höherer Leistung und gleichzeitig besserer Anpassung an Umweltbedingungen gezüchtet werden. Dagegen arbeitet die Gentechnik nur mit einzelnen „Bausteinen“, die oft nicht ausreichend an das Gesamtsystem angepasst sind. Daran ändern auch die neuen Gentechnik-Verfahren nichts Wesentliches.

## 2. Fehleranfälligkeit



Von den Fürsprechern der neuen Gentechnikverfahren wird oft der Eindruck erweckt, dass mit Hilfe der DNA-Schere (Nuklease) CRISPR-Cas und ähnlichen Instrumenten chirurgisch präzise in das Erbgut eingegriffen werden könne. Zwar ist es richtig, dass die Synthetische Gentechnik sozusagen wie ein Chirurg invasiv in die Zelle eingreift. Aber wie bei jedem chirurgischen Eingriff ist auch hier die notwendige Präzision von vielen Faktoren abhängig. Bei Instrumenten wie CRISPR ist zudem immer mit ungewollten Veränderungen zu rechnen. **Deren Ausmaß hängt unter anderem davon ab, wo im Erbgut welche Veränderung herbeigeführt wird. Sie ist auch davon abhängig, wie die DNA-Schere in die Zelle eingeführt wird.** Dabei gibt es einen wesentlichen Unterschied zur Chirurgie: Werden Fehler gemacht, können diese vererbt werden und sich unter Umständen auch in der natürlichen Vielfalt verbreiten.

In einer Publikation von Mitarbeitern des Konzerns DuPont<sup>1</sup> über den Einsatz von CRISPR-Cas an Sojabohnen zeigten sich tatsächlich erhebliche technische Unsicherheiten und Risiken:

- › In einem ersten Schritt wird die DNA für die Nuklease CRISPR-Cas ins Erbgut von isolierten Pflanzenzellen eingeführt. Diese Einfügung erfolgt nicht gezielt, sondern per 'Schrotschuss'. In der Folge zeigt das Erbgut der Zellen viele ungewollte Veränderungen wie mehrfache und unvollständige Integration der DNA-Konstrukte. Die Einführung der DNA ist notwendig, weil der eigentliche Vorgang des „Schneidens“ der DNA auf einem Eiweiß, einem Enzym (Nuklease) beruht. Damit dieses Enzym in den Zellen gebildet werden kann, wird die betreffende DNA im Erbgut der Pflanzen verankert.
- › In einem zweiten Schritt sollte das Enzym 'Cas' das Genom der Soja jetzt an einer bestimmten Stelle 'schneiden' und dort ein Marker-Gen einfügen. Dabei öffnete die 'DNA-Schere' aber in etwa der Hälfte der Fälle nur einen der beiden DNA-Stränge. Das führt dazu, dass das Ergebnis der gentechnischen Veränderung zufällig bleibt. Zudem waren die beim „Schneiden“ der DNA verursachten Schäden (Deletionen) in ihrer Größe unterschiedlich. In den meisten Fällen wurde am Ort der gewollten gentechnischen Veränderung entweder zufällig zusätzliche unerwünschte DNA eingebaut. In anderen Fällen wurden mehrere Kopien der gewünschten DNA inseriert, oder aber die DNA der „Gen-Schere“ selbst. Das kann dazu führen, dass nicht nur die genetische Veränderung, sondern – ungewollt – auch der Mechanismus der gentechnischen Manipulation weiter vererbt wird.

<sup>1</sup> Li, Z., Liu, Z.-B., Xing, A., Moon, B. P., Koellhoffer, J. P., Huang, L., Ward, R. T., Clifton, E., Falco, S. C., Cigan, A. M. (2016) Cas9-Guide RNA Directed Genome Editing in Soybean. *Plant Physiology*, 169: 960–970.

- › In einem dritten Schritt konnten nur wenige Pflanzen aus den “erfolgreich” manipulierten Zellen aufgezogen wurden. Die meisten wiesen ungewollte Veränderungen am beabsichtigten Ort der Insertion auf. All diese Pflanzen hatten zudem an anderen Stellen ungewollte DNA-Veränderungen in ihrem Erbgut. Durch weitere Züchtung (Segregation) versuchte man, Pflanzen zu erhalten, die nur die gewünschten Veränderungen aufweisen.

Es wird deutlich, dass dieses Verfahren mehrstufig und sehr fehleranfällig ist. Auch wenn die einzelnen technischen Schritte variiert werden können, bleiben erhebliche Risiken. In der Folge könnten die Pflanzen beispielsweise mehr Allergene produzieren, anfälliger für Pflanzenkrankheiten werden oder sich rascher in der Umwelt ausbreiten. Ähnlich fehleranfällig ist der Einsatz der DNA-Schere auch bei Tieren.

### 3. Im Konflikt mit dem Tierschutz



Seit Jahren zeigen die offiziellen Zahlen einen Trend zu immer mehr Versuchen mit gentechnisch veränderten Tieren. Die Zahl der Gentechnik-Tiere, die pro Jahr für Experimente eingesetzt werden, hat sich zwischen 2004 und 2013 verdreifacht und lag 2015 erstmals bei über einer Million.

In dieser Entwicklung spiegeln sich die Auswüchse einer internationalen Tierversuchsindustrie, die ganz erheblich von wirtschaftlichen Interessen und Patenten auf Versuchstiere getrieben ist. Die Entwicklung führt nicht nur zu einer weiter wachsenden Anzahl von Versuchen mit gentechnisch veränderten Tieren, sondern auch zu einer Ausweitung der betroffenen Tierarten bis hin zu Menschenaffen.

Die gentechnische Veränderung von Säugetieren ist ethisch nicht neutral, sondern führt in jedem Fall zu Leiden und Schmerzen. Für die Erzeugung einzelner gentechnisch veränderter Säugetiere müssen hohe Tierverluste in Kauf genommen werden, da viele Tiere aufgrund von Gen-Defekten nicht lebend geboren werden oder aber getötet werden müssen, weil sie krank oder nicht wie erwartet gentechnisch verändert sind. Zudem werden weitere Tiere als Leihmütter, Eizellen- oder Embryonen-Spender genutzt, was ebenfalls mit Leiden und Schmerzen verbunden ist.

Insbesondere bei Nutztieren wie Kühen sind einige hundert Versuche nötig, um einzelne der „erwünschten“ gentechnisch veränderten Tiere zu erhalten. Dabei werden in der Regel Klonverfahren als Zwischenschritte genutzt, die zusätzlich zu hohen Tierverlusten und Krankheitsraten führen.

Die „erfolgreich“ gentechnisch veränderten Tiere leiden oft lebenslang an ihren gewollten oder ungewollten Gen-Defekten oder auch an der Produktion von zusätzlichen Stoffwechselprodukten, die ihren Organismus belasten.

### 3. Im Konflikt mit dem Tierschutz

Gerade die neuen Gentechnik-Verfahren unter Verwendung von Nukleasen wie CRISPR führen dazu, dass die Tierversuchszahlen immer weiter ansteigen – und das nicht „nur“ bei Mäusen und Ratten. Die neuen Verfahren werden bei Versuchstieren bereits in großem Maßstab eingesetzt. Verschiedene Firmen bieten an, Versuchstiere wie Mäuse und Ratten je nach Bestellung an jeder beliebigen Stelle im Erbgut mit synthetischer DNA zu manipulieren und diese Tiere innerhalb weniger Monate zu liefern. Die Anbieter bewerben entsprechende Versuchstiere beispielsweise als „kundenspezifisch manipulierte Nager“.

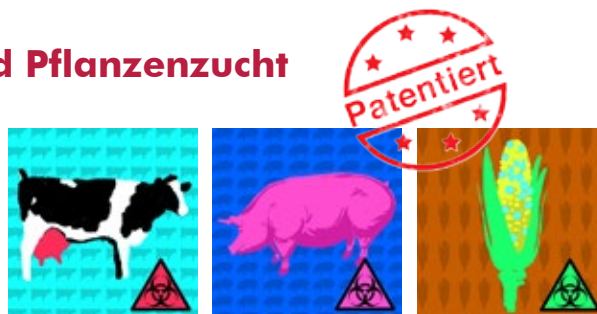
Ein unmittelbarer medizinischer bzw. therapeutischer Nutzen ist mit vielen dieser Tierversuche nicht verbunden. So haben „Tierversuchsmodelle“, das heißt gentechnisch veränderte Tiere, mit denen bestimmte Krankheiten des Menschen simuliert werden sollen, in den meisten Fällen die gesetzten Erwartungen nicht erfüllt.

Die Auswüchse der Entwicklung zeigen sich insbesondere bei den Patentanträgen. Patentanträge auf gentechnisch veränderte Tiere sind ein deutliches Zeichen dafür, dass Konzerne und Investoren bereit sind, aus Tierleid auch ein Geschäft zu machen. Die Laufzeit eines Patents beträgt 20 Jahre. In diesem Zeitraum soll das patentierte „Produkt“ gewinnbringend verwertet werden. Trotz aller ethischer Vorbehalte und einschlägiger Verbote in den Patentgesetzen erteilte das Europäische Patentamt bereits eine große Anzahl von Patenten auf Gentechnik-Tiere und deren Verwendungen. Zuletzt hatte das Europäische Patentamt sogar Einsprüche gegen die Patentierung gentechnisch veränderter Schimpansen zurückgewiesen.

Auch der Mensch selbst wird zum Versuchskaninchen: Eine Anfang 2017 erschienene Publikation beschreibt, wie Forscher aus den USA, Spanien und Japan menschliche embryonale Stammzellen in Embryonen von Schweinen und Rindern eingeschleust haben. Diese menschlichen Zellen nahmen beim Schwein an der embryonalen Entwicklung teil und fanden sich danach in unterschiedlichen Gewebetypen der Embryos. Die Mischembryonen aus Mensch und Schwein wurden in die Gebärmutter von Schweinen eingepflanzt und konnten sich dort für drei bis vier Wochen weiterentwickeln. Die meisten dieser Embryonen zeigten deutliche Entwicklungsstörungen, einige jedoch erschienen scheinbar „normal“. Ziel ist es, Tiere zu schaffen, die als Organspender verwendet werden können. Um dies zu ermöglichen, sollen die Embryonen der Schweine zusätzlich mit Verfahren wie CRISPR-Cas gentechnisch verändert werden.



## 4. Neue Monopole in Tier- und Pflanzenzucht



Die neuen Verfahren unter Verwendung von Nukleasen wie CRISPR-Cas werden ebenso patentiert wie die damit manipulierten Pflanzen und Tiere. Konzerne wie Monsanto, DuPont und BASF haben bereits Verträge mit den Erfindern der DNA-Scheren vom Broad Institute (USA) und der Universität von Kalifornien geschlossen.

Für spezielle Anwendungen beantragen die Konzerne dann weitere Patente. Zum Beispiel meldet Dow AgroSciences systematisch Patente auf natürlicherweise vorkommende DNA-Sequenzen im Erbgut von Pflanzen an, die besonders für den Einsatz von Nukleasen geeignet sein sollen. Andere Patentanmeldungen beziehen sich auf Anwendungen wie die Erzeugung von Herbizidresistenzen, verändertes Wachstum, veränderte Inhaltsstoffe oder auch auf bestimmte technische Variationen beim Einsatz der Nukleasen.

Unter den Firmen, die Patente zur Anwendung der neuen Gentechnikverfahren an Pflanzen anmelden, sind die Konzerne DuPont und Dow AgroSciences führend. Auch Bayer und seine Kooperationspartner sind hier sehr aktiv. Über diese Patente wird der Einfluss der großen Saatgutkonzerne weiter wachsen. Schon jetzt verfügen nur drei Unternehmen, Monsanto, DuPont und Syngenta über einen Anteil von rund 50 % am internationalen Saatgutmarkt.

Die Patentanträge beschränken sich jedoch nicht nur auf Pflanzen, sondern auch auf landwirtschaftliche Nutztiere wie Schweine und Kühe. So hat die Firma Recombinetics, die u.a. mit dem weltgrößten Tierzuchtkonzern GENUS zusammenarbeitet, bereits rund ein Dutzend Patente in diesem Bereich anmeldet (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispiele für Patentanträge der US-Firma Recombinetics auf Nutztiere, die mit Nukleasen gentechnisch verändert werden.

Anmeldenummer	Ansprüche
WO 2012116274	Verfahren unter Verwendung von Nukleasen, um Muskelwachstum bei Rindern und Schweinen zu erhöhen.
WO 2013192316	Verfahren unter Verwendung von Nukleasen, um Muskelmasse bei bestimmten Rinderrassen zu erhöhen sowie für Hornlosigkeit.
WO 2014070887	Nutztiere, die nicht geschlechtsreif werden und länger gemästet werden können. Landwirte können die Tiere nicht für die Zucht nutzen.
WO 2014110552	Hornlose Rinder, wobei sowohl natürliche genetische Veranlagungen als auch synthetische Gene zur Anwendung kommen sollen.
WO 2015168125:	Mehrfach gentechnisch veränderte Tiere.

## 5. Folgen für die biologische Vielfalt



Mit den neuen Gentechnikverfahren ist es nicht nur möglich, die Struktur der DNA zu verändern, sondern auch die Häufigkeit der Vererbung. Zu diesem Zweck wurden sogenannte Gene Drives entwickelt. Dabei wird die Veranlagung für die Gen-Schere CRISPR-Cas im Erbgut verankert. Die gentechnische Veränderung wiederholt sich in der nächsten Generation automatisch. Im Ergebnis sollen die Organismen das veränderte Erbgut zu 100 Prozent (homozygot) an die nächste Generation weiter vererben. Dadurch verbreiten sich die neuen Eigenschaften viel schneller, als dies sonst zu erwarten wäre – und es besteht damit die Möglichkeit, dass ganze Arten verändert bzw. ausgerottet werden.

Gene Drives wurden entwickelt, um natürliche Populationen zu verändern. Bisher hat der Mensch Pflanzen und Tiere insbesondere zu landwirtschaftlichen Zwecken gezüchtet oder auch gentechnisch verändert. Jetzt soll mittels Gene Drives auch das Erbgut wildlebender Arten verändert werden. Der Mensch plant gewissermaßen einen Eingriff in die „Keimbahn“ der biologischen Vielfalt.

Gene Drives sollen u.a. dazu eingesetzt werden, bestimmte Arten zu dezimieren. Dabei ist eine Möglichkeit, durch den Einbau der „Gen-Schere“ wichtige Erbanlagen zu beschädigen, sodass in der nächsten Generation beispielsweise nur die Männchen überleben. Diese Anwendung wird für Insekten oder unliebsame Wildtiere wie Mäuse diskutiert.

Ein Ziel des Einsatzes von Gene Drives kann aber auch sein, die biologischen Eigenschaften der betroffenen Arten zu verändern. So sollen Mücken nicht mehr in der Lage sein, die Erreger der Malaria zu übertragen, und Unkräuter empfänglicher für Herbizide gemacht werden. Die betroffenen Tier- und Pflanzenpopulationen könnten so in ihrer Gesamtheit gentechnisch verändert sein und sich unkontrolliert in der Umwelt ausbreiten.

Verschiedene Experimente, in denen gezeigt wurde, dass Gene Drives bei Insekten grundsätzlich realisierbar sind, haben unter Wissenschaftlern zu heftigen Kontroversen geführt. Viele Experten warnen davor, derartige Organismen in die Umwelt zu entlassen. Beim derzeitigen Stand des Wissens kann keine belastbare Aussage darüber gemacht werden, wie sich Organismen mit Gene Drives in der Umwelt verhalten. Einmal freigesetzt, könnten diese Organismen schwere Schäden an den Ökosystemen verursachen. Derartige Freisetzungen sind nicht wieder rückgängig zu machen, und auch eine wirksame Kontrolle ist bislang nicht möglich.

Ganz neu ist das Problem nicht: Schon jetzt sind mehrere Fälle bekannt, in denen sich gentechnisch veränderte Pflanzen mit natürlichen Arten gekreuzt haben. Bisher fehlen ausreichende gesetzliche Vorschriften, um einer unkontrollierten Ausbreitung von Gentechnik-Organismen vorzubeugen.

Geht es nach dem Willen der Industrie, wird man in Zukunft die Ausbreitung der Gentechnik-Organismen noch weniger verhindern können: Werden viele der Organismen tatsächlich von der Gentechnik-Regulierung ausgenommen, fehlen auch die Daten, wie man gentechnisch veränderte Organismen nach einer gewollten oder ungewollten Freisetzung identifizieren könnte.

## 6. Gentechnik ohne Kontrolle?



Wie oben bereits erwähnt, sollen nach Ansicht vieler BefürworterInnen viele Pflanzen und Tiere, die mit den neuen Gentechnikverfahren manipuliert wurden, von der Gentechnik-Regulierung ausgenommen werden. Damit müssten diese Organismen keine verpflichtenden Zulassungsverfahren durchlaufen. Die Begründung: Die Veränderungen seien oft nur gering und manchmal kaum von konventionell gezüchteten Pflanzen zu unterscheiden. Trotzdem werden die mit den neuen Gentechnik-Verfahren veränderten Pflanzen und Tiere zum Patent angemeldet.

Gibt es keine verpflichtenden Zulassungsverfahren, hat dies erhebliche Folgen für den Schutz von Mensch und Umwelt. Da auch die neuen Verfahren – wie in Kapitel 2 erläutert – fehleranfällig sind, bliebe die Frage offen, ob die jeweiligen Pflanzen und Tiere tatsächlich keine unerwünschten Eigenschaften aufweisen. Um unerwünschte oder sogar gefährliche Nebenwirkungen ausschließen zu können, müssen entsprechende Prüfungsunterlagen vorgelegt werden, die von Behörden und unabhängigen Experten überprüft werden können. Andernfalls bliebe nur die Möglichkeit, der Industrie zu glauben, dass es keine Risiken gebe – ein Vorgehen, das rechtlich und wissenschaftlich inakzeptabel wäre.

Fehlen entsprechende Zulassungsverfahren, gibt es auch keine Kennzeichnung und Transparenz. Landwirte und Verbraucher verlieren die Möglichkeit, sich zu entscheiden. Der Handel mit diesen Organismen würde vollständig intransparent.

Bei vielen der Organismen müssen genaue Daten über die gentechnische Veränderung vorhanden sein, um sie bei Bedarf aufspüren zu können. Gibt es keine Zulassungsverfahren, gibt es auch keine Angaben über die genaue Art der gentechnischen Veränderung. Eine Ausbreitung kann so unkontrolliert erfolgen und über Jahre unbemerkt bleiben. In den USA ist dieser Zustand bereits Realität: Weder Behörden noch Umweltorganisationen haben ausreichende Informationen dazu, wo sich welche Organismen in der Umwelt ausbreiten. Auch Organismen mit hohem Ausbreitungspotential, wie bspw. gentechnisch veränderte Gräser, sind dort oft von der Gentechnikregulierung ausgenommen.

## 7. Die Risiken der Gentechnik

Tabelle 2 – Liste von in den USA deregulierten Organismen

Pflanze	Eigenschaft	Entwickler	Technologie	Bescheid erteilt ...
Grüne Borstenhirse	Verzögerte Blüte	Danforth Center	CRISPR-Cas	2017
Kartoffel	Resistenz gegen Colletotrichum-Welkekrankheit (PPO <sub>5</sub> -Kartoffel)	Simplot	TALEN	2016
Kartoffel	Verbesserte Verarbeitung (PPO_KO-Kartoffel)	Calyxt	TALEN	2016
Wachsmais	Veränderte Stärkegehalt	Pioneer	CRISPR-Cas	2016
Champignon	Nicht bräunend	Penn State University	CRISPR-Cas	2016
Weizen	Mehltau-Resistenz (Nullsegregante)	Calyxt	TALEN	2016
Mais	Erhöhter Stärkeanteil	Agrivida	Meganuklease	2015
Reis	Krankheitsresistenz	Iowa State University	TALEN	2015

## 7. Die Risiken der Gentechnik

Der Begriff „Risiko-Technologie“ verweist auf das Potential einer Technologie, Schäden zu verursachen. Diese Schäden können, müssen aber nicht eintreten. Ein Beispiel: Man weiß, dass der Betrieb von Atomkraftwerken Risiken birgt, auch wenn die Mehrheit der Kraftwerke bisher seit über mehr als 20 Jahren ohne große Pannen geblieben ist. Die Gefahr, dass es bei einem bestimmten Kraftwerk tatsächlich zum Unfall kommt, hängt von vielen Faktoren ab.

Bei der Gentechnik blickt man jetzt auf etwa 20 Jahre der kommerziellen Anwendung zurück. Man sieht, dass sich mit gentechnisch verändertem Saatgut hohe kommerzielle Gewinne erzielen lassen. Man sieht aber auch negative Auswirkungen wie beispielsweise eine steigende Belastung von Umwelt und Lebensmitteln mit Herbiziden und deren Rückständen. Da die Unkräuter sich rasch an den Anbau der Pflanzen angepasst haben, ist derzeit eine Art Wettrüsten auf dem Acker zu beobachten: Zum Anbau der Gentechnikpflanzen werden immer mehr Spritzmittel benötigt. Damit werden Umwelt und Artenvielfalt geschädigt und das Risiko gesundheitlicher Schäden erhöht.

Inwieweit der Verzehr gentechnisch veränderter Pflanzen die Gesundheit von Mensch und Tier beeinträchtigt, lässt sich nicht eindeutig sagen. Die meisten der zugelassenen Pflanzen wurden nie in geeigneten Fütterungsversuchen auf gesundheitliche Risiken überprüft. Sind die Pflanzen aber einmal zugelassen, fehlen geeignete Systeme zur Überwachung der gesundheitlichen Auswirkungen ihres Verzehrs. Auch die EU Kommission musste 2005 zugeben, dass aufgrund fehlender Daten „im Hinblick auf häufige chronische Krankheiten wie Allergien und Krebs keinerlei Aussage darüber getroffen werden kann, ob die Einführung gentechnisch veränderter Produkte irgendwelche Effekte auf die menschliche Gesundheit hatte.“<sup>2</sup> Daran hat sich in den letzten Jahren nichts geändert. Ausschließen lässt sich demnach lediglich, dass es zu akuten Krankheitssymptomen beim Verzehr der Pflanzen kommt.

Das Risikopotential der Gentechnik ist jedenfalls erheblich. Wir wissen das u.a. aus der Geschichte der Ausbreitung von Krankheitserregern, dem Auftreten von invasiven Arten und der Zerstörung der biologischen Vielfalt durch falsche landwirtschaftliche Praxis. Die Risiken der Gentechnik sind nur zum Teil deckungsgleich mit diesen Risiken. Mit gentechnisch veränderten Pflanzen werden beispielsweise keine neuen invasiven Arten geschaffen, sondern die biologischen Eigenschaften innerhalb einer Art verändert. Um die neuen Eigenschaften zu implantieren, werden die natürlichen Mechanismen der Vererbung und Genregulierung umgangen. Dadurch kann eine Art invasiver oder auch anfälliger gegenüber Krankheiten werden. Sie kann auch dazu beitragen, die ökologischen Systeme zu destabilisieren, falls sie beispielsweise bestäubende Insekten gefährdet. Instabil kann auch das Erbgut der Art selbst werden: Unter Stresseinwirkungen, wie sie unter anderem im Rahmen des Klimawandels auftreten, kann sich die Genfunktion und Genregulation ganz anders verhalten als unter „Normalbedingungen“.

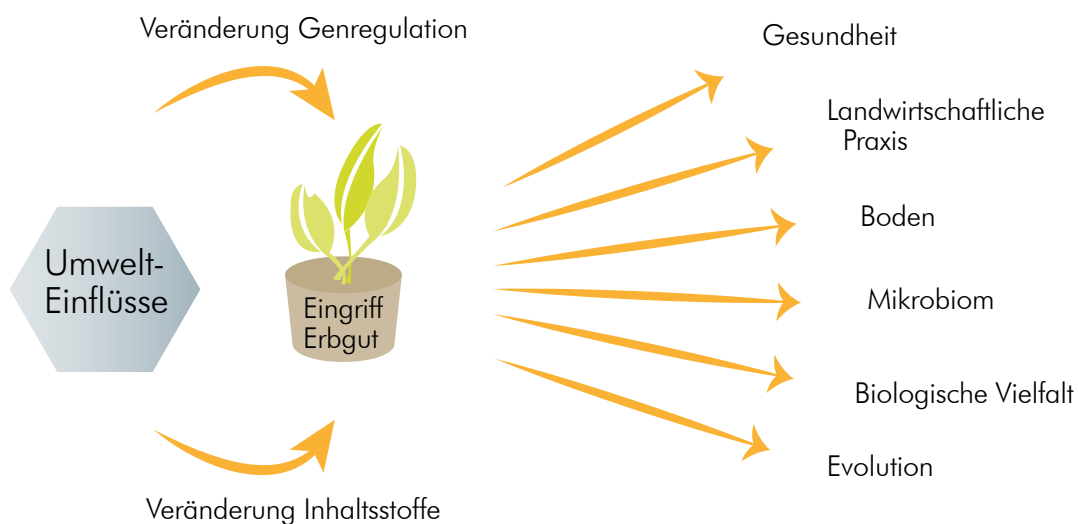
2 European Communities (2005) Measures affecting the approval and marketing of biotech products (DS291, DS292, DS293). Comments by the European Communities on the scientific and technical advice to the panel. 28 January 2005, <http://trade.ec.europa.eu/doclib/html/128390.htm>

7. Die Risiken der Gentechnik

Aufgrund aktueller Forschungsergebnisse tauchen auch immer wieder neue Fragestellungen auf: So wird immer deutlicher, wie eng ökologische Systeme über das Netzwerk von Mikroorganismen verbunden sind: Pflanzen, Tiere und Menschen sind untrennbar mit ihrem Mikrobiom (u.a. Mikroorganismen, die im Darm von Mensch und Tier und im Wurzelbereich von Pflanzen in Symbiose leben) verbunden. Die Mikrobiome von Mensch, Tier und Pflanzen stehen ihrerseits in beständigem Austausch. Dabei geht es nicht nur um die Zurverfügungstellung von Nährstoffen, sondern um vielfältige Formen biologischer Kommunikation und Wechselwirkungen, die bisher nur zum Teil bekannt und weitgehend unerforscht sind. So wird beispielsweise diskutiert, inwieweit biologisch wirksame Botenstoffe, die von Pflanzen oder Mikroorganismen stammen, beim Menschen in die Regulierung bestimmter Gene eingreifen können.

Die Freisetzung und der Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen ist ein massiver Eingriff in die Netzwerke und die Wechselwirkungen der ökologischen Systeme. Mit zunehmender Erkenntnis über die komplexen Funktionen lebendiger Systeme zeigen sich auch immer neue Grenzen des Wissens. Solange wir gentechnisch veränderte Organismen freisetzen und in der Landwirtschaft einsetzen wird auch die Diskussion um die Risiken dieser Technologie anhalten.

Besonderer Grund zu Sorge besteht, weil verschiedenen Gentechnik-Pflanzen der Sprung in die natürlichen Populationen bereits geglückt ist. Sie entziehen sich so der weiteren Kontrolle. Ob und ggf. welche Schäden diese Pflanzen in fünf, zehn oder hundert Jahren tatsächlich anrichten lässt sich nicht vorhersagen. Generell gilt: Je weniger sich die Ausbreitung der Organismen räumlich und zeitlich begrenzen lässt, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass aus den Risiken auch tatsächlicher Schaden wird. Da die tatsächliche Wahrscheinlichkeit für den Eintritt von Schäden nicht vorhergesagt werden kann, muss „präfaktisch“ entsprechende Vorsorge getroffen und insbesondere eine unkontrollierte Ausbreitung verhindert werden. Dafür sind Zulassungsverfahren, Kennzeichnung und Rückverfolgbarkeit unverzichtbar.



## 8. Der Gentechnik Grenzen setzen!



Vor diesem Hintergrund hat Testbiotech fünf Forderungen formuliert ([www.testbiotech.org/gentechnik-grenzen/forderungen](http://www.testbiotech.org/gentechnik-grenzen/forderungen)), die dazu dienen sollen, den Anwendungen der alten und neuen Gentechnik klare Grenzen zu setzen:

### Die biologische Vielfalt schützen!

Wenn gentechnisch veränderte Organismen ihr Erbgut in natürlichen Populationen verbreiten, gleicht dies einem Eingriff in die ‚Keimbahn‘ der biologischen Vielfalt. Dies wird sich auf alle künftigen Generationen der betroffenen Arten und somit auch auf das Ökosystem insgesamt auswirken. Wir fordern wirksame Maßnahmen gegen eine unkontrollierte Ausbreitung gentechnisch veränderter Organismen.

### Umwelt & Gesundheit schützen!

In der EU sind bereits über 50 verschiedene gentechnisch veränderte Pflanzen für die Verwendung in Lebens- und Futtermitteln zugelassen. Die Nutzung solcher Pflanzen ist mit zu vielen Risiken und Unsicherheiten verbunden. Wir fordern, dass dem Schutz von Umwelt und Gesundheit Vorrang vor wirtschaftlichen Interessen eingeräumt wird.

### Die Wahlfreiheit sichern!

Gegenwärtig ermöglichen die Standards der EU den Schutz der gentechnikfreien Lebensmittelerzeugung und die Reinhaltung von Saatgut. Außerdem ist eine verpflichtende Kennzeichnung für Produkte aus gentechnisch veränderten Organismen vorgeschrieben. Freihandelsabkommen wie CETA bedrohen diese Standards nun. Wir fordern, dass die Wahlfreiheit gewährleistet bleibt – sie muss Vorrang gegenüber den Interessen des freien Handels haben.

### Die Macht der Konzerne beschränken!

Große Gentechnik-Konzerne kontrollieren nicht nur mit Patenten den Verkauf, sondern auch die Forschung an ihrem Gentechnik-Saatgut. Zudem nehmen industrienaher Experten vielfach Einfluss auf Behörden und Gremien, die mit der Risikobewertung gentechnisch veränderter Pflanzen betraut sind. Wir fordern die Stärkung unabhängiger Risikoforschung. Der Einfluss der Industrie auf Risikoforschung und Zulassungspraxis muss zurückgedrängt werden.

### **Die Ethik stärken!**

Von 2004 bis 2013 hat sich die Anzahl der Gentechnik-Tiere, die in Deutschland pro Jahr für Experimente eingesetzt werden, mehr als verdreifacht. 2015 erreichte die Zahl dieser Tiere erstmals mehr als eine Million Tiere. Getrieben wird diese Entwicklung ganz erheblich von wirtschaftlichen Interessen. Zudem wird auch die gentechnische Veränderung menschlicher Embryonen diskutiert. Wir fordern, die Patentierung von gentechnisch veränderten Versuchstieren und die gentechnische Veränderung von Nutztieren zu verbieten, ebenso wie Eingriffe in die menschliche Keimbahn.

Weitere Informationen, Quellen etc:

*[www.testbiotech.org/gentechnik-grenzen](http://www.testbiotech.org/gentechnik-grenzen)*

und

*[www.testbiotech.org/publikationen](http://www.testbiotech.org/publikationen)*



## Anhang

### DNA-Synthese

Eine wesentliche Voraussetzung der neuen Gentechnik-Verfahren ist die Möglichkeit, DNA im Labor künstlich zu synthetisieren. DNA kann inzwischen nicht nur sehr schnell sequenziert (analysiert), sondern aus digitalisierten Daten auch im Labor Schritt für Schritt resynthetisiert werden. Die Kosten für die Synthese von DNA sind in den letzten Jahren kontinuierlich gesunken. Parallel wurde es möglich, immer längere DNA-Stränge zu synthetisieren. Es gibt bereits Mikroorganismen, deren Erbgut vollständig synthetisch ist.

Die künstliche DNA kann unter anderem mithilfe der DNA-Scheren in das Erbgut von Tieren eingebaut werden. Zudem kann man durch die direkte Einbringung von kurzen DNA- oder RNA Abschnitten (Oligonukleotide) in die Zelle erreichen, dass diese von der Zelle als Vorlage zum Umbau der eigenen DNA verwendet werden. Geschieht dies an mehreren Stellen des Erbguts, kann man schrittweise auch größere Abschnitte des Erbgutes verändern, die DNA wird gewissermaßen umgeschrieben.

Bei der Synthese von DNA kann deren Struktur auch grundlegend verändert werden, so dass Organismen mit DNA manipuliert werden können, die nicht aus evolutionären Prozessen hervorgegangen ist. Es können aber auch natürlich vorkommende DNA-Abschnitte auf neue Art und Weise miteinander kombiniert werden: In den Oliven-Fliegen der Firma Oxitec findet sich beispielsweise synthetische DNA, die aus Teilen des Erbguts von Meeresorganismen, Bakterien, Viren und anderer Insekten zusammengesetzt ist.

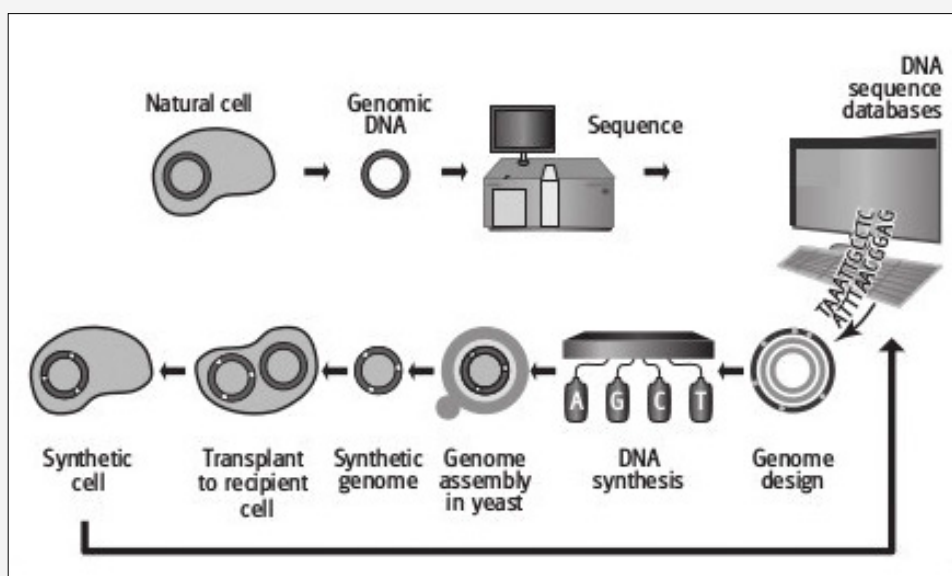


Abbildung 3: DNA-Analyse und DNA-Synthese gehen Hand in Hand.

Quelle: US Presidential Commission for the study of bioethical issues<sup>3</sup>, überarbeitet durch Testbiotech

3 [www.bioethics.gov/documents/synthetic-biology/PCSBI-Synthetic-Biology-Report-12.16.10.pdf](http://www.bioethics.gov/documents/synthetic-biology/PCSBI-Synthetic-Biology-Report-12.16.10.pdf), überarbeitet in „Handbuch Agro-Gentechnik“, C. Then, Oekom Verlag 2015, 3

## Nukleasen

(DNA-Schere)Nukleasen sind Eiweiße (Enzyme), mit denen die DNA (deutsch: Desoxyribonukleinsäure, DNS) aufgetrennt werden kann – man nennt sie deswegen auch DNA-Scheren. Solche DNA-Scheren gibt es schon länger, allerdings konnte man die DNA damit nur an relativ wenigen Stellen „schneiden“. In den letzten Jahren wurden verschiedene neue Nukleasen entwickelt, die den zielgerichteten Ein- oder Umbau von DNA an jeder beliebigen Stelle des Erbguts ermöglichen sollen. Die aktuell wohl wichtigste Nuklease ist CRISPR-Cas. CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) ist eine Art Gen-Sonde, bestehend aus RNA (deutsch: Ribonukleinsäure, RNS), mit der eine bestimmte Stelle in der DNA angesteuert werden kann. RNA ist in der Lage, die Bausteine der DNA gewissermaßen spiegelbildlich abzubilden. Über die spezifische RNA-Sequenz kann das CRISPR-Cas-System auf ein Ziel „programmiert“ werden. Die eigentliche „Gen-Schere“ ist das Enzym Cas, das mit der RNA zu einem Komplex verbunden ist. Einer oder beide Stränge der DNA können „aufgeschnitten“ werden. Statt des Enzyms Cas können auch andere Enzyme wie Cpf1 verwendet werden.

Bei der Reparatur durch die zelleigenen Mechanismen entstehen an der Stelle, an der die Nukleasen wirksam sind, oft Mutationen. So können beispielsweise Gene stillgelegt werden („knock-out“). Mithilfe des CRISPR-Cas-Systems kann auch zusätzliche (im Labor synthetisierte) DNA in das Erbgut der Zellen eingebaut werden („knock-in“). Auch die biologische Aktivität von natürlichen Genen kann so blockiert oder verändert werden. CRISPR-Cas bietet auch die Möglichkeit, DNA an mehreren Orten im Erbgut gleichzeitig zu verändern.

Das System ist überraschend einfach und effizient zu handhaben. Die Entdeckung der Anwendungsmöglichkeiten des CRISPR-Cas-Systems liegt erst etwa drei bis vier Jahre zurück, die Zahl von Publikationen hat seither rasch zugenommen. Bei Versuchstieren werden die Verfahren bereits kommerziell angewandt. Die genaue Funktionsweise der Nukleasen wird dabei längst nicht in allen Details verstanden. Auch andere Gen-Scheren wie TALENs (Transcription Activator-Like Effector Nucleases) und Zinkfinger funktionieren nach ähnlichen Prinzipien, sind aber schwieriger zu handhaben.

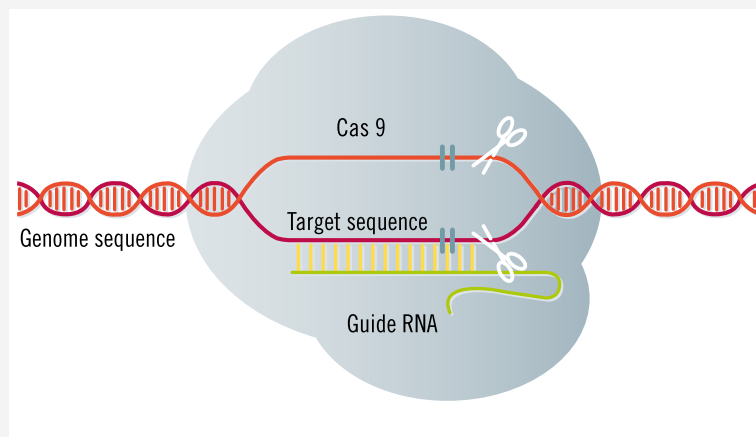


Abbildung 1:  
Nuklease (DNA-Schere):  
CRISPR/Cas  
(Clustered Regularly  
Interspaced Short  
Palindromic Repeats)

### Gene Drive

Sogenannte „Gene Drives“ verändern die Vererbungsmechanismen der manipulierten Organismen so, dass sich die zusätzlichen Gene wesentlich schneller ausbreiten. Dieses Verfahren basiert auf der Anwendung der Nuklease CRISPR, die es in diesem Fall ermöglicht, dass sich die gentechnische Veränderung auch auf das Partner-Chromosom überträgt. Im Ergebnis erben dann alle Nachkommen die gentechnische Veränderung. Die neue DNA überträgt sich dann auch in den nachfolgenden Generationen immer wieder auf das Partnerchromosom. Im Ergebnis wird sich die neue Gen-Information damit wesentlich schneller in einer Population verbreiten.

Gene Drives sollen u.a. zur Manipulation von natürlichen Populationen dienen. So könnten beispielsweise Populationen von Insekten, die in der Landwirtschaft als Schädlinge angesehen werden, verkleinert oder ganz ausgerottet werden.

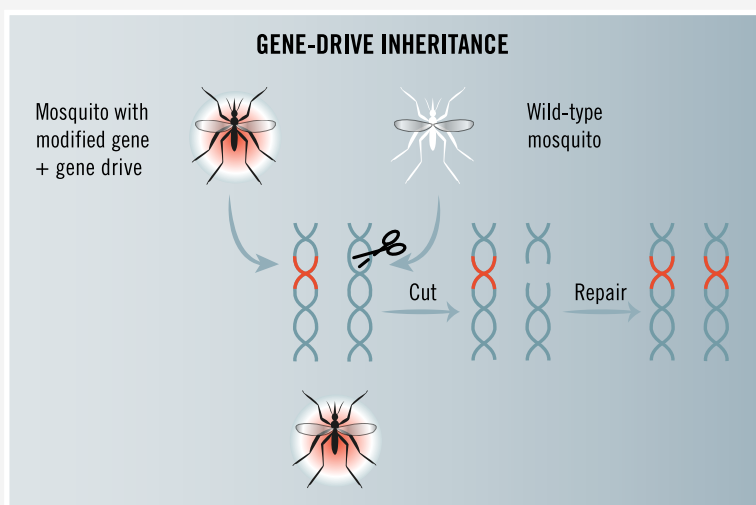


Abbildung 2: Gene-Drive (Mutagenic Chain Reaction): Die gentechnische Veränderung überträgt sich in jeder Generation auch auf das Partner-Chromosom, so dass die Organismen reinerbig sind. Im Ergebnis wird sich die neue DNA wesentlich schneller in einer Population verbreiten.