



# CHANCEN UND RISIKEN DER GRÜNEN GENTECHNIK IN DER GLOBALEN ERNÄHRUNGSSICHERHEIT

Bachelor-Arbeit zur Erlangung des Grades  
„Bachelor of Science“  
im Studiengang „Naturschutz und Landnutzungsplanung“

Betreuer: *Prof. Dr. Theodor Fock*  
Zweitbetreuer: *Prof. Dr. Manfred Köhler*

Dung Vuong

urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2020-0090-4

Bernau bei Berlin

11. Januar 2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
1.1 Abstract.....	5
1.2 Problemstellung .....	5
1.3 Zielstellung .....	6
1.4 Vorgehensweise .....	6
<b>2 Globale Ernährungssicherheit</b>	<b>7</b>
2.1 Globales Bevölkerungswachstum.....	7
2.2 Welthunger-Index .....	8
2.3 Gründe für besonders hohe Werte im Welthunger-Index.....	11
2.4 Wachsender Anspruch auf die Nahrungsmittelversorgung .....	11
<b>3 Chancen und Risiken in der Grünen Gentechnik</b>	<b>13</b>
3.1 Verfahren in der Grünen Gentechnik.....	13
3.1.1 Übertragung von Erbmateriale durch <i>Agrobacterium tumefaciens</i> .....	13
3.1.2 Übertragung von Erbmateriale durch Biolitische Transfektion (Genkanone) .....	14
3.1.3 Übertragung durch Protoplastentransfer .....	14
3.1.4 Genome Editing.....	15
3.2 SWOT-Analyse.....	16
3.2.1 Stärken:.....	16
3.2.2 Schwächen:.....	17
3.2.3 Risiken:.....	17
3.2.4 Chancen: .....	18
3.2.5 Ergebnis.....	19
3.3 Kritik an Grüner Gentechnik .....	19
3.3.1 Bekannte Probleme aus älteren Verfahren .....	19
3.3.2 Fehlender Nachweis von genom-editierten Pflanzen aus anderen Ländern .....	19
3.4 CRISPR/Cas als Mittel für ertragreicheren und umweltfreundlicheren Anbau .....	20
3.5 Fallbeispiel Golden Rice.....	22

3.6 Fehlende Risikofolgenabschätzung für die Umwelt.....	24
3.7 Gen Drives .....	24
3.7.1 Gen Drives in der industriellen Landwirtschaft .....	26
3.7.2 Gen Drives zu Militärzwecken.....	27
3.7.3 Gen Drives für einen künstlich verbesserten Naturschutz .....	27
3.7.4 Fazit.....	27
3.8 Patentrecht und Saatgutmonopole .....	28
3.8.1 Auswirkungen von Patenten auf Landwirtschaft und Verbraucher .....	30
3.9 Abhängigkeit der Landwirte durch genetisch verändertes Saatgut .....	32
3.10 Zugänglichkeit zu Saatgut in Entwicklungsländern .....	33
3.11 Auswirkungen der Grünen Gentechnik auf die Artenvielfalt.....	34
3.11.1 Grüne Gentechnik zur Förderung der Artenvielfalt .....	34
3.11.2 Studie zu Bt-Toxinen auf Nicht-Zielorganismen bei Bt-Mais, BT- Baumwolle und Bt-Sojabohnen .....	35
3.11.3 Grüne Gentechnik als Verfahren zur Bodenentgiftung.....	35
<b>4 Fazit</b>	<b>36</b>
4.1 Ist Grüne Gentechnik in der Lage den globalen Hunger zu beenden? .....	36
<b>Literatur</b>	<b>39</b>
<b>Internetquellen</b>	<b>42</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Entwicklung der Bevölkerungszahl 2000-2020 .....	7
Abbildung 2 Abstufungen des globalen Hungers 2020.....	10
Abbildung 3 Farbvergleich Golden Rice zu konventionellem Reis .....	23
Abbildung 4 Maissorten aus der Nähe von Cusco und Machu Picchu in Peru.....	32

# 1 Einleitung

## 1.1 Abstract

Die vorliegende Bachelorarbeit beschäftigt sich mit dem Thema Chancen und Risiken der Grünen Gentechnik in der globalen Ernährungssicherheit. In der Arbeit wird auf Probleme der globalen Ernährungssicherheit eingegangen und verschiedene Gründe erörtert, die zu Versorgungsproblemen in entsprechenden Regionen führen. Anhand von Studien und Literaturrecherchen wird ermittelt, welche Chancen aber auch Risiken die Grüne Gentechnik für die Lebensmittelsicherung mitbringt und inwiefern sie dazu beitragen kann die Verfügbarkeit von Nahrung und den Zugang zu Lebensmitteln, insbesondere Grundnahrungsmittel, zu gewährleisten. Verschiedene etablierte gentechnische Methoden werden vorgestellt, aber auch auf neuere Verfahren, wie das *Genome Editing*, wird eingegangen.

## 1.2 Problemstellung

Die Frage nach Ernährungssicherheit nimmt seit den Anfängen der Globalisierung nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch geopolitisch eine immer zentralere Rolle ein und ist mittlerweile eine der größten Herausforderungen der heutigen Zeit. Laut Schätzungen der Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) hungert ca. jeder zehnte Mensch weltweit.

Bedingt durch den Druck des weltweiten Bevölkerungswachstums, der steigenden Nachfrage wohlhabender Menschen in aufsteigenden Industrie- und Schwellenländern, sowie Klimaveränderungen, welche Einfluss auf die weltweite Nahrungsmittelproduktion haben, aber auch konkurrierende Industriezweige wie alternative Brennstoffe, Tierfutter und Industrierohstoffe machen die Welternährung zu einer Aufgabe, die über heute hinaus noch weit in der Zukunft Bestand haben wird. Ein weiterer signifikanter Grund für Versorgungsengpässe und Hunger sind bewaffnete Konflikte in Krisenregionen, welche in der folgenden Arbeit aber nur kurz angeschnitten werden, weil diese politischen Dimensionen den Rahmen der Bachelorarbeit überschreiten würden.

Unterschiedliche Lösungsansätze und Technologien zur Versorgungsproblematik treten regelmäßig im öffentlichen Diskurs auf und werden kontrovers diskutiert. Ein Verfahren davon ist die Grüne Gentechnik. Die Idee dahinter ist in der Regel artfremdes Erbgut in Kulturpflanzen einzubauen. Diese transgenen Pflanzen wären meist nicht durch herkömmliche

Züchtungsmethoden möglich, da gezielt spezifische Gene transferiert werden, aber auch andere Kreuzungshindernisse überschritten werden. Resistenzen gegen Schädlinge, Dürre und Salz, aber auch effizienteres Wachstum werden angestrebt.

Verschiedene Auswirkungen auf die Umwelt werden erforscht. Es herrschen Bedenken, ob und inwieweit transgene Pflanzen auch Auswirkungen auf Nützlinge haben, wie natürliche Feinde von Schädlingen oder Bestäuber. Außerdem wird ermittelt, welchen Einfluss die Auskreuzung transgener Pflanzen mit Artverwandten birgt und in welchem Maß dieser Effekt die Biodiversität beeinträchtigt.

Die gentechnisch veränderten Pflanzen der ersten Generation beschränken sich momentan auf die Reduzierung von Ernteverlusten. Jedoch werden derzeit neuere Pflanzen erforscht und entwickelt, die optimierte Inhaltsstoffe und höhere Ertragszahlen aufweisen. Solche Pflanzen hätten das Potenzial erhebliche Beiträge für die Welternährung zu leisten. Ob sie allein den immer höher werdenden Bedarf an Nahrung kompensieren können, ist jedoch zu bezweifeln.

### **1.3 Zielstellung**

Die Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Thematik, ob und inwieweit Grüne Gentechnik dabei helfen kann das Welthungerproblem zu entlasten. Als Fazit wird erörtert, ob und welche Verfahren den Zielen entsprechen, wie effektiv diese sind und welche Risiken laut aktueller Forschung herrschen. Anschließend folgt eine Diskussion über die Notwendigkeit Grüner Gentechnik und ob sie unerlässlich dabei ist, um in der Zukunft die globale Ernährung sicherzustellen.

### **1.4 Vorgehensweise**

Bei der Arbeit handelt es sich um eine reine Literatur- und Studienrecherche. Zu Beginn werden auf die global wachsende Bevölkerungszahl und die damit einhergehenden Ansprüche auf Versorgungs- und Grundnahrungsmittelsicherheit eingegangen. Es folgen Definitionen über die Grüne Gentechnik und eine Auswahl wichtiger gentechnischer Verfahren in der Pflanzenzüchtung. Am aktuellen Stand der Forschung wird erörtert, wie sicher verschiedene Methoden sind und welche Risiken zu erwarten sind. Anschließend wird die Eignung der Grünen Gentechnik auf ihre Anwendbarkeit in Entwicklungsländern analysiert und Chancen und Perspektiven in der Welternährungsproblematik aufgeführt. Im abschließenden Fazit wird

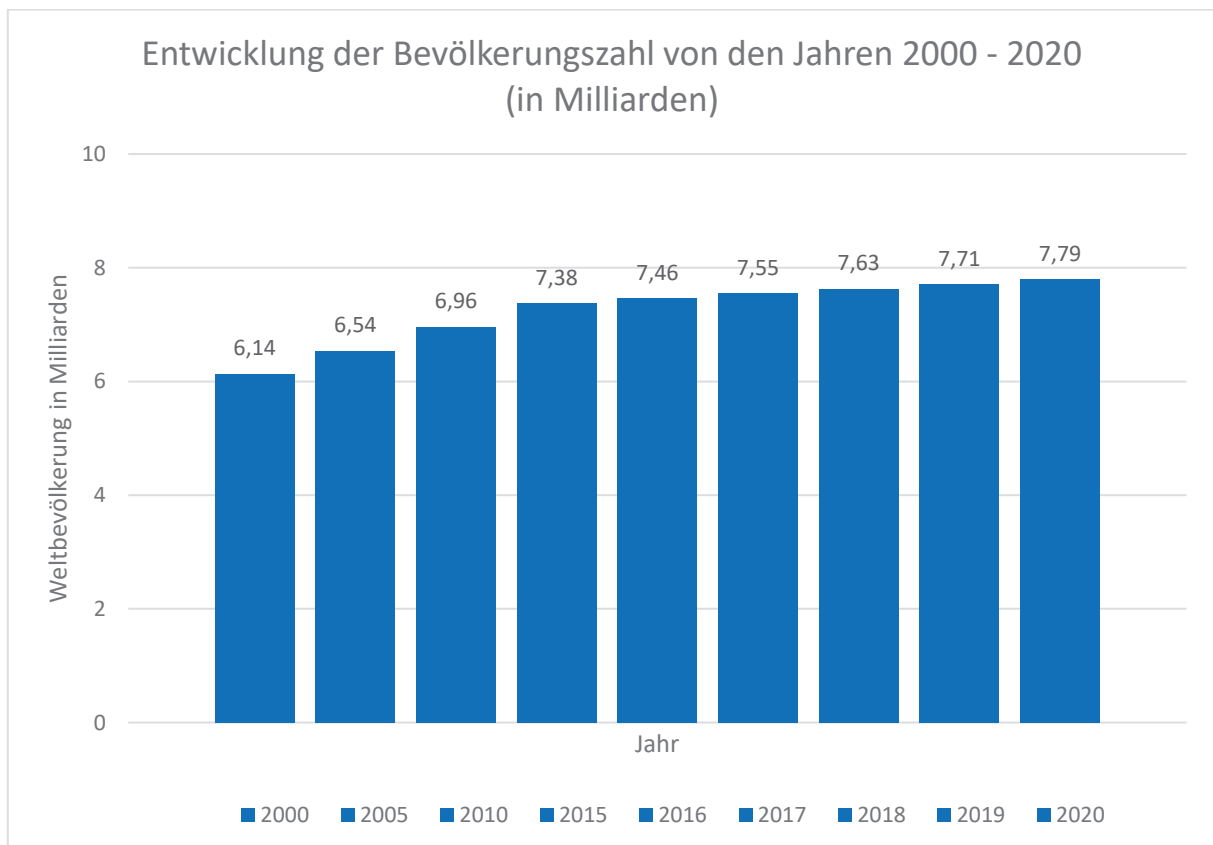
eine Einschätzung über die Notwendigkeit der Grünen Gentechnik getroffen. Diese wird den konventionellen Züchtungsmethoden gegenübergestellt.

## 2 Globale Ernährungssicherheit

### 2.1 Globales Bevölkerungswachstum

Die Zahl der Menschen auf unserer Erde wächst beständig weiter. Laut Hochrechnungen der Hauptabteilung für Wirtschaftliche und Soziale Angelegenheiten der Vereinten Nationen (UN DESA Population Division) wird die weltweite Bevölkerungszahl voraussichtlich bis 2050 auf 10 Milliarden ansteigen.<sup>1</sup> Die folgende Grafik beschreibt die globale Entwicklung des Bevölkerungswachstums der letzten 20 Jahre.

Abbildung 1 Entwicklung der Bevölkerungszahl 2000-2020



Quelle: Eigene Darstellung nach World Population Prospects 2020, Total population - Both sexes

Geht man davon aus, dass unser Planet nur eine begrenzte Fläche besitzt auf der man leben und erneuerbare und nicht erneuerbare Ressourcen erwirtschaften kann, so lässt sich schlussfolgern,

<sup>1</sup> Department of Economic and Social Affairs: World Population Prospects 2020, Vereinigte Staaten, 2020

dass ein Bevölkerungswachstum auf einem endlichen Planeten mit limitierten Ressourcen für keine Spezies, einschließlich des Menschen, auf unbegrenzte Zeit fortgeführt werden kann.<sup>2</sup>

Seit den Neunzigerjahren hat die Menschheit stetig Fortschritte in der Bekämpfung des globalen Hungers gemacht. Seit 2014 steigt die Zahl der Unterernährten aber langsam wieder an. Laut jährlichem Bericht der UNO waren im vergangenen Jahr rund 690 Millionen Menschen auf der gesamten Welt unterernährt. Die Zahl der Menschen, die 2019 hungerten, stieg um 10 Millionen gegenüber dem Vorjahr an. Innerhalb der letzten 5 Jahre hat sich die Zahl sogar um 60 Millionen erhöht.<sup>3</sup>

Laut Homepage der deutschen Hilfsorganisation Welthungerhilfe sind die Ursachen vielfältig, liegen aber häufig dicht beieinander. Armut und steigende Lebensmittelpreise, Folgen des Klimawandels wie Naturkatastrophen oder Dürreperioden, Krieg und Vertreibung, aber auch fehlende Investitionen in die Landwirtschaft bei Entwicklungsländern und Nahrungsmittelverschwendung sind die Hauptgründe. Die offensichtlichen Defizite in unserem globalen Ernährungssystem werden außerdem dieses Jahr (2020) durch die Covid-19-Pandemie verschärft.<sup>4</sup>

## 2.2 Welthunger-Index

Ein Instrument zur Erfassung der Hungersituation auf globaler aber auch regionaler Ebene ist der Welthunger-Index (WHI) oder auch Global Hunger Index (GHI). Der Bericht wird jährlich im Oktober veröffentlicht und beschreibt die Ausbreitung von Hunger und Unterernährung in betroffenen Ländern. Er misst außerdem Fortschritte, aber auch den Rückgang im Kampf gegen den Hunger in einzelnen Ländern und soll somit zur besseren Wahrnehmung und zum Verständnis der globalen Hungersituation führen, um die Aufmerksamkeit auf jene Regionen zu lenken, die entsprechende Ressourcen am dringendsten benötigen. Ursprünglich wurde der Index vom Internationalen Forschungsinstitut für Ernährungs- und Entwicklungspolitik (IFPRI) und der deutschen Welthungerhilfe 2006 gegründet und wurde seitdem jährlich veröffentlicht. Der Index berechnet anhand einer 100-Punkte-Skala den Hungerwert im

---

<sup>2</sup> Lidicker, William Z.: A Scientist's Warning to humanity on human population growth, Niederlande, 2020, ScienceDirect (Elsevier), S.1-2

<sup>3</sup> Food and Agriculture Organization of the United Nations: The State of Food Security and Nutrition in the World, Rom, Italien, 2020, S.8

<sup>4</sup> Deutsche Welthungerhilfe e. V.: Hunger: Verbreitung, Ursachen & Folgen (Stand: 18.12.2020), <https://www.welthungerhilfe.de/hunger/> [08.01.2021]



jeweiligen Land, wobei 0 „kein Hunger“ bedeutet und 100 den schlechtesten Wert annimmt. In der Praxis wurde jedoch keiner dieser beiden Extremwerte je erreicht.

Die vier Faktoren, die der WHI bei der Berechnung kombiniert sind hierbei:

1. Der prozentuale Anteil der Unterernährten in der Bevölkerung.
2. Der Anteil der Kinder unter fünf Jahren, die an Auszehrung (lebensbedrohlicher Abmagerung) leiden.
3. Der Anteil der Kinder unter fünf Jahren, die von Wachstumsverzögerung betroffen sind.
4. Die Sterblichkeitsrate von Kindern unter fünf Jahren.

Im vergangenen Jahr 2020 lässt sich der Bericht wie folgt zusammenfassen:

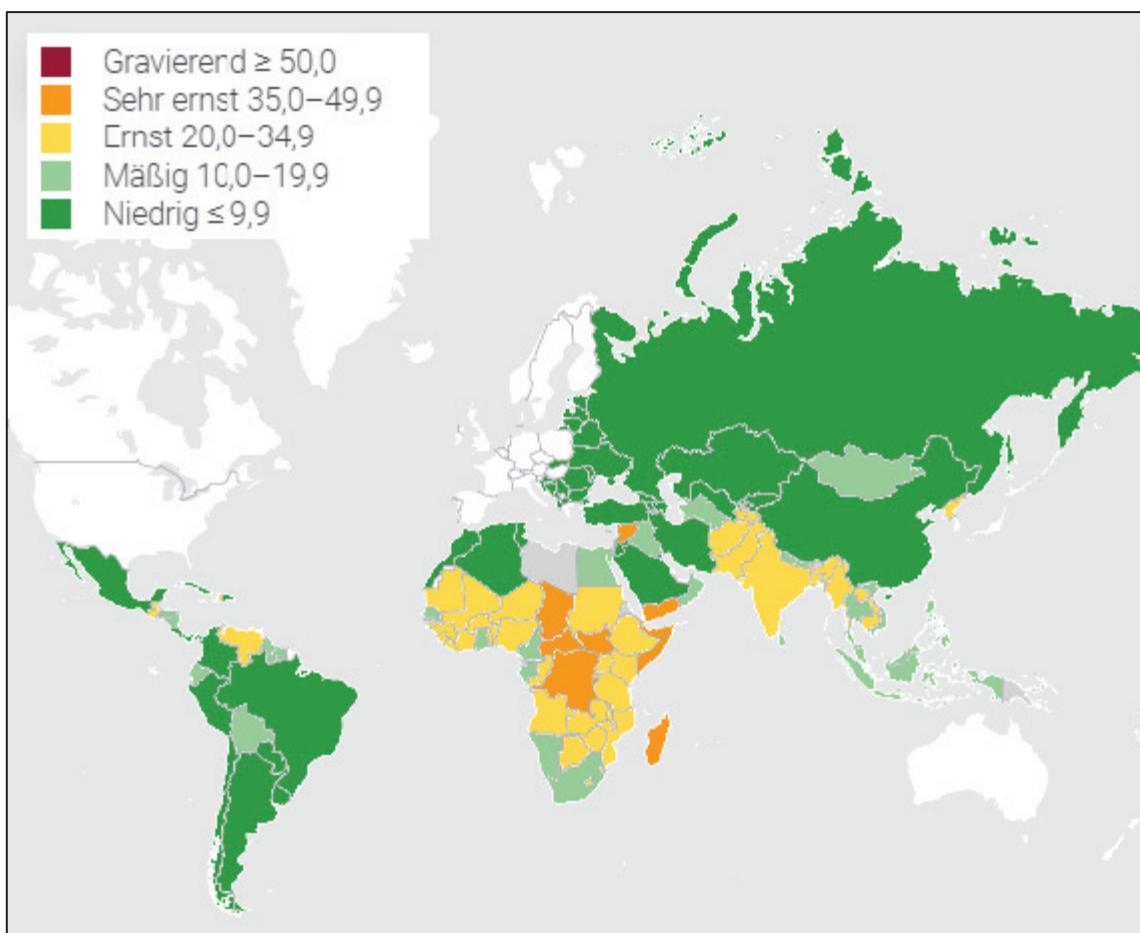
Der weltweite Hunger wird mit dem Index-Wert von 18,2 als "mäßig" eingestuft. Im Vergleich betrug der globale Index vor 20 Jahren mit 28,2 in der Kategorie "ernst" noch gravierendere Ausmaße. Es wurden also insgesamt deutliche Fortschritte in den letzten 20 Jahren erreicht, um den globalen Hunger zu bekämpfen. Trotzdem sind die Fortschritte bislang zu langsam, um das zweite Ziel der United Nations Organization (UNO) 'Zero Hunger by 2030' zu erreichen. Die Gesundheits- und Wirtschaftssysteme der betroffenen Länder, die unter der Hungersituation leiden, wurden im Jahr 2020 durch das Coronavirus (COVID-19) besonders schwer getroffen. Ca. 690 Millionen Menschen sind derzeit unterernährt, 144 Millionen Kinder leiden unter Auszehrung und 47 Millionen Kinder sind von Wachstumsverzögerungen betroffen, dies ist symptomatisch für Unterernährung. Außerdem starben 5 Millionen Kinder unter dem 5. Lebensjahr an Folgen der Unterernährung.

Die Coronapandemie führte zum weltweiten wirtschaftlichen Abschwung und begünstigte vielerorts Krisen, die zur Verschärfung des Nahrungsmittelangebots führten und damit die Ernährungssicherheit für Millionen von Menschen gefährdeten. Besonders schwer wurden die Regionen getroffen, die bereits vorher gefährdet waren. Laut Prognosen könnten die pandemiebedingten Wirtschaftseinbrüche im Jahr 2020 zusätzlich 80 Millionen Menschen in die Unterernährung führen und auch die Anzahl der Kinder, die an Auszehrung und Wachstumsverzögerungen leiden, würde folglich ansteigen. Der Bericht legt außerdem die Schwächen des globalen Ernährungssystems offen, welches weder krisenfest noch nachhaltig

zu sein scheint. Er kritisiert den zunehmend negativen Einfluss des Menschen auf die Umwelt durch Bodendegradationen, Treibhausemissionen und dem Verlust der Biodiversität. Zusätzlich wird der Zugang zu bewirtschaftbaren Land und landwirtschaftlicher Bildung für indigene Völker, Frauen und Minderheiten bemängelt. Außerdem haben die meisten Menschen in Krisenfällen keine soziale oder materielle Absicherung.<sup>5</sup>

In der folgenden Grafik sieht man die unterschiedlichen Abstufungen des WHIs in den verschiedenen Ländern der Welt. Er kennzeichnet dort die jeweilige Hungersituation.

Abbildung 2 Abstufungen des globalen Hungers 2020



Quelle: Verändert nach Welthunger-Index 2020

Dabei ist zu erkennen, dass die Hungersituation in wenigen Ländern Latein- und Südamerikas, in einigen Ländern Südasiens und in vielen Ländern Afrikas als „ernst“ einzustufen ist. In 11 Ländern, die überwiegend in Afrika liegen ist die Situation sogar als „sehr ernst“ zu betrachten.

<sup>5</sup> Grebmer, Klaus; Bernstein, Jill; Wiemers, Miriam; Acheampong, Keshia; Hanano, Asja; Higgins, Brona; Ni Chéilleachair, Réiseal; Foley, Connell; Gitter, Seth; Ekstrom, Kierstin; Fritschel, Heidi: Welthungerhilfe, Concern Worldwide: Welthunger-Index 2020, Bonn, 2020, Welthungerhilfe

Die Einschätzungen erfolgen in drei Ländern anhand der WHI-Kriterien: Tschad, Madagaskar und Osttimor

In den anderen 8 Ländern liegen keine ausreichenden aktuellen Daten vor, sie wurden jedoch auf der Grundlage bekannter Daten ebenfalls in die Kategorie "sehr ernst" eingestuft: Burundi, die Komoren, die Demokratische Republik Kongo, Somalia, Südsudan, Syrien, Jemen und die Zentralafrikanische Republik

### **2.3 Gründe für besonders hohe Werte im Welthunger-Index**

Neben den negativen Folgen des Klimawandels und der aktuellen Lage durch die Coronapandemie, sind vor allem bewaffnete Konflikte in entsprechenden Krisenregionen Hauptgründe für die gravierende Situation. Diese Regierungskonflikte verschärfen hierbei die Lage in den Krisenregionen, die ohnehin schon schwer betroffen sind, nur noch weiter.

Die humanitäre Hilfsorganisation "Aktion gegen den Hunger", die auch im Jemen stationiert ist, spricht zusammen mit dem Kinderhilfswerk der Vereinten Nationen "UNICEF" aufgrund des dort herrschenden Bürgerkrieges sogar von der größten humanitären Katastrophe der Gegenwart. Die Zahl der Hungernden stieg im Jemen infolgedessen auf einen zweistelligen Millionenbereich an. Verschiedene Quellen widersprechen sich hier, jedoch soll die Zahl laut der Homepage von Aktion gegen Hunger bis zu 24 Millionen Menschen betragen, was ca. 80 Prozent der dortigen Bevölkerung entsprechen würde.<sup>6</sup> Zusätzlich kommt es durch den Coronavirus zu einer weiteren Verschärfung in den von Krisen betroffenen Ländern. Im Jemen äußert sich dies in Versorgungsengpässen und dem Fehlen von medizinischer Infrastruktur, aber auch Hilfszahlungen von Geberländern wurden eingestellt.

### **2.4 Wachsender Anspruch auf die Nahrungsmittelversorgung**

Obwohl laut WHI in vielen Regionen der Welt wegen Armut, humanitärer Krisen und Folgen des Klimawandels, wie Dürre oder Naturkatastrophen, die Ernährungsversorgung nicht ausreichend sichergestellt ist, so erzeugt die globale Landwirtschaft derzeit laut Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft dennoch genug Lebensmittel, um

---

<sup>6</sup> Aktion gegen den Hunger: Fragen und Antworten rund um die humanitäre Katastrophe im Jemen (Stand: 10.03.2020), <https://www.aktiongegenhunger.de/wir-in-aktion/hunger-krieg-jemen/faq-humanitaere-katastrophe-im-jemen> [08.01.2021]

zumindest rechnerisch alle Menschen auf dieser Welt ernähren zu können.<sup>7</sup> Es stellt sich die Frage, wie lange das noch so bleiben wird. Im Jahr 2050, wenn 10 Milliarden Menschen auf der Erde leben, wird mehr Nahrung benötigt und mit wachsendem Wohlstand in heutigen Entwicklungs- und Schwellenländern, werden auch höhere Ansprüche entwickelt, so etwa im Fleisch- und Milchkonsum. Laut des Diskussionspapiers der UN-Organisation für Ernährung und Landwirtschaft (FAO) „*How to Feed the World in 2050*“ ist es von essenzieller Bedeutung, die heutige globale Agrarproduktion bis 2050 um rund zwei Drittel zu steigern.<sup>8</sup> Da die Fläche, auf der Landwirtschaft betrieben werden kann, nur begrenzt ist, lässt sich schlussfolgern, dass auch unter Berücksichtigung potenziell noch nicht erschlossener Flächen, Verfahren zur Ertragssteigerung entwickelt werden müssen. Im folgenden Abschnitt wird untersucht, ob sich für dieses Ziel die Anwendung gentechnischer Verfahren im Bereich der Pflanzenzüchtung eignet.

---

<sup>7</sup> Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Welternährung verstehen, Fakten und Hintergründe, Bonn, 2018, S.4

<sup>8</sup> The Food and Agriculture Organization: *How to Feed the World in 2050*, Rom, 2009

### 3 Chancen und Risiken in der Grünen Gentechnik

Die Anwendung gentechnischer Verfahren im Bereich der Pflanzenzüchtung wird als Grüne Gentechnik bezeichnet. Gentechnisch veränderte Pflanzen sind demzufolge das Ergebnis solcher Verfahren. Deren Nutzung in der Landwirtschaft und bei der Produktion von Nahrungsmitteln ist vielfach umstritten. Unterstützer der Grünen Gentechnik hoffen auf eine effizientere Produktion von Nahrungsmitteln als Ansatz um den Hunger auf der Welt zu bekämpfen. Umwelt- und Hilfsorganisationen, Verbraucherschützer und wissenschaftliche Studien warnen vor unvorhersehbaren Eingriffen und Schäden für die Ökosysteme und der Bildung von Saatgutmonopolen.

Im Folgenden werden verschiedene gentechnische Methoden vorgestellt und in einer SWOT-Analyse auf Vor- und Nachteile überprüft.

#### 3.1 Verfahren in der Grünen Gentechnik

##### 3.1.1 Übertragung von Erbmaterial durch *Agrobacterium tumefaciens*

*Agrobacterium tumefaciens* ist ein Bodenbakterium aus der Familie Rhizobiaceae, welches die natürliche Fähigkeit besitzt Teile seines Erbmaterials auf Pflanzen zu übertragen. Bei infizierten Pflanzen verursacht dies die Bildung von Wurzelhalsgallenkrebs. Die genetische Information, die für das Tumorwachstum verantwortlich ist, befindet sich auf einer mobilen ringförmigen Einheit, einem speziellen Plasmid. Bei der Infizierung einer Pflanze wird das Plasmid in das pflanzliche Genom integriert und kann diese genetisch soweit verändern, dass die Pflanze anschließend, die für das Agrobakterium benötigten Nährstoffe, so genannte Opine, synthetisiert. Diesen Mechanismus macht man sich in der Gentechnik für einen natürlichen Gentransfer zunutze. Das Plasmid des Bakteriums wirkt hier als Transformationsvektor, um Fremdgene in Pflanzen einzuschleusen. Dabei werden die tumorbildenden Gene durch die Fremdgene ausgetauscht und anschließend die ausgewählten Pflanzen mit den Bakterienstämmen infiziert. Der Gentransfer durch *Agrobacterium tumefaciens* gilt als zuverlässige und breit angewandte Methode. Ihr Einsatz ist jedoch aufgrund bestimmter Voraussetzungen weitgehend auf zweikeimblättrige Pflanzen beschränkt, da die meisten

einkeimblättrigen Pflanzen keine Phenole, also Lockstoffe in Folge von Verletzungen, ausschütten.<sup>9</sup>

### 3.1.2 Übertragung von Erbmaterial durch Biolitische Transfektion (Genkanone)

Im Gegensatz zur Übertragung durch *Agrobacterium tumefaciens*, wurde mit der Genkanone eine rein mechanische Methode entwickelt. Mittels eines Geräts (Genkanone) wird DNA mit Hilfe von Gold- oder Wolframpartikel in einem Schrotschussverfahren in die Zelle geschossen. Die Partikelgeschosse erreichen dabei Geschwindigkeiten von über 1300 Metern pro Sekunde und aufgrund ihrer geringen Größe bleiben Zelle und Zellwand unbeschädigt. Das Verfahren der Genkanone ist auf eine Vielzahl von Organismen anwendbar und kann auch auf die DNA von Mitochondrien und Plastiden angewandt werden. Zusätzlich ist die Übertragung von mehreren Genen auf einmal möglich. Die Transfektion ist allerdings äußerst instabil. Nicht jede Zelle nimmt die übertragenden Gene auf und es kommt häufig zu transienten Expressionen bei denen sich die eingeschleuste DNA nach einiger Zeit wieder verliert. Außerdem verteilt der Schuss die Gene ungezielt im Pflanzengewebe, was manchmal dazu führt, dass nur Teile des Folgegewebes die neuen Gene tragen.<sup>10</sup>

### 3.1.3 Übertragung durch Protoplastentransfer

Protoplasten, also Pflanzenzellen ohne eine sie umgebende Zellwand, werden künstlich erzeugt und in isotonischen Medien gehalten. Da sie nur noch von einer Plasmamembran zusammengehalten werden, sind sie für die Aufnahme von Makromolekülen wie DNA wesentlich zugänglicher als die von einer Zellwand begrenzte Pflanzenzelle. Für den eigentlichen Transfer wird den Protoplasten Calciumchlorid oder Polyethylenglycol hinzugefügt, um die Membran für die DNA durchlässig zu machen. Dieser Prozess kann aber auch ohne Hilfsstoffe durch einen Stromstoß in Folge einer Elektroporation durchgeführt werden. Die Methode ist prinzipiell universeller und bei allen Pflanzen anwendbar, dennoch beschränkt sie sich momentan auf wenige Pflanzenspezies, da es äußerst schwierig ist aus Protoplasten vollständige und vermehrungsfähige Pflanzen zu regenerieren.<sup>11</sup>

---

<sup>9</sup> Kempken, Frank: Gentechnik bei Pflanzen, 5. Auflage, Botanisches Institut, Universität Kiel, 2020, S.86-95, Springer Spektrum

<sup>10</sup> Vgl. Kempken, S.95-99

<sup>11</sup> Vgl. Kempken, S.99-101

### 3.1.4 Genome Editing

Das Genome Editing (auch „Gen-Schere“ oder „Gen-Chirurgie“) beschreibt den Vorgang einer gezielten Veränderung der DNA-Sequenz an einem davor bestimmten Gen. Diese Methode kann bei verschiedensten Organismen wie Bakterien, Pflanzen aber auch Tieren durchgeführt werden. Generell wirken alle Verfahren beim Genome Editing wie eine Schere, welche es den Menschen ermöglicht eine gezielte DNA-Sequenz in der Zelle zu erkennen und diese zu entfernen, ihr neue Gene hinzuzufügen oder sie zu ersetzen.<sup>12</sup>

#### 3.1.4.1 CRISPR/Cas-Methode

Während verschiedene Verfahren schon in den Neunziger Jahren gängig waren, wurde 2009 die CRISPR/Cas-Methode entwickelt, welche von der Fachzeitschrift Science im Jahr 2015 sogar mit dem Titel „Breakthrough of the Year“ gewürdigt wurde.<sup>13</sup> Bereits vorher wurde mit künstlich erzeugten Restriktionsenzymen gearbeitet, sogenannten Zink-Finger-Nukleasen. Diese Methode wurde dann mit der TALEN-Technologie im Zeit- und Kostenaufwand erheblich verbessert, dennoch reduzierte sich der Aufwand für einen einzelnen Durchgriff immer noch auf ca. eine Woche. Mit der CRISPR/Cas-Technologie wurden die Kosten auf unter 100 US-Dollar pro Experiment gesenkt und die Durchführung lässt sich inklusive Vorbereitungszeit auf wenige Tage reduzieren.<sup>14</sup>

Die CRISPR/Cas-Technologie gehört zu den Neuen molekularbiologischen Techniken (NMT). Das *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/Cas-System* beschreibt eine Technik im Genome Editing, die auf dem natürlichen Abwehrmechanismus von Bakterien gegen Viren beruht. Es dient den Bakterien ursprünglich als eine Art Immunsystem, da sie anhand zuvor gespeicherter DNA-Fragmente feindliche Viren identifizieren und abwehren können. Dieser Mechanismus wurde von Bakterien auf lebende Zellen übertragen und läuft im Wesentlichen wie folgt ab:

Um im Genom die richtige Stelle ansteuern zu können, benötigt es einer Lotsenfunktion, die beim CRISPR/Cas-Verfahren durch konstruierte RNA-Abschnitte erfüllt wird. Diese sogenannte „Guide RNA“ entspricht der DNA-Abfolge der gewünschten Zielsequenz. Sobald die RNA die richtige Stelle gefunden hat, dockt sie am DNA-Doppelstrang an und schneidet an

---

<sup>12</sup> Voytas, Daniel F.; Gao, Caixia: Precision Genome Engineering and Agriculture: Opportunities and Regulatory Challenges, Cornell University, USA, 10. Juni 2014, S.1

<sup>13</sup> McNutt, Marcia: Breakthrough to genome editing, Volumen 350, USA, 18. Dezember 2015, Science

<sup>14</sup> Doudna, Jennifer A.; Charpentier, Emmanuelle: The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9, Volumen 346, Genome engineering - A decades-long goal, USA, 28. November 2014, Science



genau dieser Stelle. Als eigentliche Gen-Schere fungiert hier die Nuklease Cas9 (auch SpyCas9, Cas5, Csn1 oder Csx12), welche mit der Guide RNA gekoppelt wurde. Anschließend verläuft der Mechanismus der CRISPR/Cas-induzierten Mutagenese gleich der klassischen Mutagenese. Der Schnitt, welcher bei der klassischen Mutagenese zufällig in der DNA erfolgt und bei CRISPR/Cas präzise und gezielt eingesetzt wird, löst das zelleigene Reparatursystem aus. Dieser Reparaturmechanismus besitzt jedoch eine gewisse Fehlschlagquote. Beim Zusammenfügen der DNA-Stränge passieren meist kleine Fehler. Infolgedessen kann es passieren, dass das entsprechende Gen nicht mehr richtig abgelesen und bei etwa zwei Drittel der Reparaturfehler funktionell ausgeschaltet wird.<sup>15</sup>

### **3.2 SWOT-Analyse**

Die SWOT-Analyse ist ein Instrument des strategischen Managements und dient Unternehmen dabei häufig als Methode um systematische Situationsanalysen auszuführen. SWOT dient hierbei als Akronym und steht für Strengths, Weaknesses, Opportunities und Threats. Da sich dieses Modell gut dazu eignet Vorteile und Nachteile hervorzuheben, wird es im Folgenden verwendet, um noch einmal zusammenfassend die verschiedenen Gentechniken in der Pflanzenzüchtung zu untersuchen und nach Relevanz zu gewichten.<sup>16</sup>

#### **3.2.1 Stärken:**

Allgemein haben die verschiedenen Methoden in der Grünen Gentechnik das gemeinsame Ziel zur Lösung bestehender landwirtschaftlicher Probleme beizutragen. Meist äußert sich dies in der Züchtung von Kulturpflanzen, die mit neuen Fremd Genen ausgestattet werden, um für den Menschen vorteilhafte Eigenschaften anzunehmen.

Sowohl bei *Agrobacterium tumefaciens*, als auch bei der Biolitischen Transfektion mit der Genkanone eröffnet sich erstmals die Möglichkeit, um Pflanzen durch gezielte Übertragung eines oder mehrerer Gene aus einem anderen Organismus, mit neuen Eigenschaften auszustatten. Dies ermöglicht Optionen, die durch Kreuzungen niemals zustande gebracht werden können. Im Gegensatz zum *Agrobacterium* ist der Einsatz beim Protoplastentransfer nicht auf spezifische Pflanzen beschränkt und dadurch universeller.

---

<sup>15</sup> Kempken, S.138-142

<sup>16</sup> Schawel, Christian; Billing, Fabian: Top 100 Management Tools, SWOT-Analyse, 6. Auflage, Wiesbaden, 2012, Springer Gabler



Beim Genome Editing, allen voran dem CRISPR/Cas-Verfahren, werden frühere Probleme, die aus der Zufälligkeit bei herkömmlichen Zuchtverfahren herrschen, verringert. Konkret bedeutet dies Kosten- und Zeitersparnis und durch den präzisen Einbau des Fremd-Gens im Gegensatz zu anderen gentechnischen Verfahren auch mehr Sicherheit.

### 3.2.2 Schwächen:

Die Methode durch *Agrobacterium tumefaciens* ist weitestgehend auf zweikeimblättrige Pflanzen beschränkt. Zusammen mit der Genkanone haben beide Verfahren nur eine geringe Erfolgsquote. Zusätzlich können einzelne Gene nicht isoliert übertragen werden und der Einbau des übertragenen Gens erfolgt unpräzise im Erbgut. Der Erfolg beim Protoplastentransfer ist stark von der Pflanzenspezies abhängig, da es sich äußerst schwierig darstellt aus Protoplasten wieder vollständige und vermehrungsfähige Pflanzen zu regenerieren. Häufig treten bei der Regeneration Probleme auf. So kann es beispielsweise bei Getreide passieren, dass keine Sprossen aus dem Kallus gebildet oder bei einem Großteil der Pflanzen keine Chloroplasten ausgebildet werden. Generell ist es auch nicht gewährleistet, dass das neue Gen auch erfolgreich im Erbgut eingebaut wurde.

Während der ungezielte Einbau von fremden Genen bei den vorigen Verfahren zu unbeabsichtigten Veränderungen führen kann, besteht dieses Risiko beim CRISPR/Cas-Verfahren kaum. Theoretisch könnte die Cas9-Nuklease den DNA-Strang an der falschen Stelle schneiden, doch solche sogenannten *off Target*-Effekte lassen sich gezielt identifizieren und sind statistisch gesehen sehr selten. Sie sind mit natürlichen Mutationen vergleichbar, die beispielsweise bei sich natürlich vermehrenden Pflanzen von einer Generation zur nächsten stetig vorkommen.<sup>17</sup>

### 3.2.3 Risiken:

Sowohl bei *Agrobacterium tumefaciens*, als auch bei der Genkanone können neben dem Gen mit der gewünschten Eigenschaft auch weitere DNA Abschnitte eingefügt werden. Der unpräzise Einbau kann benachbarte Gene beeinflussen. Als Folge kommt es zu Ausfällen, Mutationen und ungewünschte Merkmale können ausgeprägt werden. Zusätzlich kann sich nach der Übertragung das Fremd Gen selbst verändern, was zu unvorhersehbaren Eigenschaften

---

<sup>17</sup> Modrzejewski, Dominik; Hartung, Frank; Sprink, Thorben; Krause, Dörthe; Kohl, Christian; Wilhelm, Ralf: What is the available evidence for the range of applications of genome-editing as a new tool for plant trait modification and the potential occurrence of associated off-target effects: a systematic map, Berlin, 2019, S.1-2, Environmental Evidence part of Springer Nature

führen kann. Diese Faktoren sind die wesentlichen Gründe, weshalb für gentechnisch veränderte (GV-) Pflanzen in beinahe allen Ländern der Welt Zulassungsverfahren vorgeschrieben werden.

Auch beim CRISPR/Cas-Verfahren bestehen Risiken, wenn beispielsweise mit kontaminierter DNA gearbeitet wird. Bei einer Studie von 2016, die von der FDA (Food and Drug Administration), der amerikanischen Lebensmittelbehörde durchgeführt wurde, hatte man beispielsweise unvorhergesehen Gene mit Antibiotika Resistenzen in Rindern gefunden, welche eigentlich nur mit Genen behandelt werden sollten, welche den Hornwuchs unterdrücken.<sup>18</sup> Da methodisch bei Pflanzen gleich vorgegangen werden könnte, sind also Fehler von Menschen nicht auszuschließen, wie anhand des Beispiels mit verunreinigter DNA aufgezeigt wurde.

### **3.2.4 Chancen:**

In der Pflanzenforschung bietet die Methode des Genom-Editings viele neue Möglichkeiten. So kann man beispielsweise durch die gezielte Veränderung einzelner Gene, deren genaue Funktionen erlernen und dadurch präzise die Eigenschaften einer Pflanze beeinflussen. Genome Editing arbeitet in einfachen Varianten mit punktuellen Veränderungen einzelner DNA-Bausteine, welche in der Natur zufällig und auch ohne technische Eingriffe entstehen können. Am Ende ist in den editierten Endprodukten, wie etwa Saatgut, kein fremdes, von außen eingeführtes Gen-Material vorhanden, vorausgesetzt, dass unter sterilen Bedingungen und Standards gearbeitet wurde. Im Gegensatz zu herkömmlich gentechnisch veränderten Pflanzen sind sie somit transgen-frei. Deshalb werden diese Pflanzen wissenschaftlich nicht als gentechnisch verändert betrachtet. Am 5. Juli 2018 entschied der EuGH (Europäische Gerichtshof) trotzdem, dass neue Genome Editing-Verfahren rein juristisch als Gentechnik zu betrachten sind und die gleichen Zulassungs- und Kennzeichnungsvorschriften zu erfüllen haben wie gentechnisch veränderte Organismen (GVO), auch wenn die rechtliche Grundlage dafür mehr als 30 Jahre alt ist.<sup>19</sup> Inwiefern die Gesetze von damals bei den heutigen neuartigen Methoden, wie dem CRISPR/Cas-Verfahren Sinn machen ist diskutabel. In mehreren Ländern, wie den USA, Argentinien oder Japan werden beispielsweise neu editierte Pflanzen vorab von Behörden überprüft, ob sie wie eine gewöhnliche Züchtung anzusehen sind oder ob sie unter

---

<sup>18</sup> Norris, Alexis L.; Lee, Stella S.; Greenlees, Kevin J.; Tadesse, Daniel A.; Miller, Mayumi F.; Lombardi, Heather A.: Template plasmid integration in germline genome-edited cattle, Vereinigtes Königreich, 2020, Nature Biotechnology (Nature Publishing Group)

<sup>19</sup> Andersen, Elisabeth; Schreiber, Katharina: „Genome Editing“ vor dem EuGH und seine Folgen, Berlin, 2020, Natur und Recht (Springer)

die jeweilige GVO-Bestimmung des Landes fallen und werden so dann gegebenenfalls als „nicht GVO“ klassifiziert. Für diese Pflanzen gelten dann weder im kommerziellen Anbau noch im Freiland strengere Auflagen. In der Theorie ist es also möglich, dass diese Praxis in naher Zukunft auch in Europa und anderen Ländern umgesetzt wird und genom-editierte Pflanzen von den strengeren Gentechnik Vorschriften befreit werden, sofern sie keine artfremden genetischen Informationen in sich nachweisen lassen und Veränderungen auch auf natürliche Weise per Zufallsprinzip oder Züchtung erreicht werden könnte.

### **3.2.5 Ergebnis**

Aufgrund der Gegenüberstellung voriger Verfahren, kann daraus geschlossen werden, dass das CRISPR/Cas-Verfahren im Gegensatz zu den älteren Methoden deutlich überlegen ist. Während Genom-Editierungsverfahren im Vergleich zu den anderen Verfahren präziser und dadurch sicherer sind, setzt sich die CRISPR/Cas-Methode unter den Genom-Editierungsverfahren nochmal zu seinen Vorgängern aufgrund der Zeit- und Kostenersparnis durch.

## **3.3 Kritik an Grüner Gentechnik**

### **3.3.1 Bekannte Probleme aus älteren Verfahren**

Auch wenn neue Methoden wie beim CRISPR/Cas-Verfahren vor unvorhersehbaren Nebenwirkungen und Eigenschaften bei der Pflanzenzüchtung vorbeugen sollen, so spielt dennoch der Einsatz und die Art und Weise wann und mit welcher Absicht man das Verfahren einsetzt eine wichtige Rolle. Herbizidtolerante Pflanzensorten, welche in großflächigen Monokulturen angebaut werden, wie beispielsweise Mais, Soja oder Raps, bilden kein nachhaltiges Landwirtschaftsmodell. In der Praxis zeigt sich, dass Pestizidresistenzen in großflächig angebauten Pflanzenkulturen schnell durch Schädlinge überwunden werden. Während sich die Natur anpasst, werden so immer mehr Unkräuter und Insekten immun gegen die Gifte. Der Herbizideinsatz auf Flächen mit gentechnisch veränderten Pflanzen steigt mit unvorhersehbaren Folgen und nachhaltigen Schäden für die Umwelt an.<sup>20</sup>

### **3.3.2 Fehlender Nachweis von genom-editierten Pflanzen aus anderen Ländern**

Eine aktuelle Problematik mit genom-editierten Pflanzen stellen die bisher fehlenden Nachweismethoden dar, um diese auch zu erkennen. Durch das EuGH-Urteil vom Juli 2018

---

<sup>20</sup> Bühl, Achim: Risikoanalyse Grüne Gentechnik. Auf Dem Weg Zur Biomächtigen Gesellschaft?, Berlin, 2009, Springer, S.401-403

fallen genom-editierte (GE-Pflanzen) unter das herkömmliche GVO-Gesetz. Dadurch unterliegen sie dem geltenden EU Gentechnik-Recht und müssen entsprechende Auflagen erfüllen. Die Problematik liegt hier in der unterschiedlichen Rechtsprechung genom-editierter Pflanzen weltweit. So haben große Agarexporteure wie in Amerika und Südamerika eine andere Rechtsprechung in Bezug auf GE-Pflanzen und unterliegen keinen besonderen Zulassungs- und Kennzeichnungsvorschriften. Da sich GE-Pflanzen laut momentanen Stand der Forschung jedoch nicht nachweisen lassen, steht die EU hier vor einem Problem. Normalerweise würde der Fund einer nicht zugelassenen GVO-Pflanze dazu führen, dass die entsprechende Agrarlieferung aus dem Ausland nicht zugelassen wird. Dies macht ein standardisiertes Prüfverfahren für GE-Pflanzen unverzichtbar, da es durchaus vorkommen kann, dass zufällige Beimischungen von GE-Pflanzen in Agrarimporten auftauchen. Außerdem würde eine gesetzliche Bestimmung, deren Einhaltung nicht kontrolliert werden kann, zwangsläufig zu Täuschungen und Rechtsunsicherheit führen. Um GE-Pflanzen rechtssicher zu identifizieren, müssten Partikel von eingeführten Fremdgenen oder charakteristische DNA-Sequenzen, die normalerweise bei PCR-Nachweisen auftauchen, zu finden sein. Dies ist in der Regel bei GE-Pflanzen nicht möglich und es ist laut momentanen Stand der Forschung auch fraglich, ob dies in Zukunft möglich sein wird. Selbst wenn eine verdächtige Spezies auf dem EU-Markt entdeckt werden würde, wäre es beinahe unmöglich gerichtsfeste Beweise zu finden, sodass eine modifizierte Sequenz aus einem genom-editierten Verfahren stammt.<sup>21</sup> Es stellt sich die Frage, ob es einer Reform des Gentechnik-Rechts in der EU bedarf.

### **3.4 CRISPR/Cas als Mittel für ertragreicheren und umweltfreundlicheren Anbau**

Während global gesehen Armut und Hunger vor allem in ländlichen Gegenden auftreten, sind vor allem dort die Menschen auf die lokale Landwirtschaft angewiesen. Das Leben der Menschen ist sowohl in Bezug auf Nahrung, aber auch als Einkommensquelle fest mit der landwirtschaftlichen Produktion verbunden. Um die Produktivität der landwirtschaftlichen Erzeugnisse zu steigern und Ernteauffälle zu verhindern, bieten neue Züchtungsmethoden wie das CRISPR/Cas-Verfahren Chancen, mit denen der Anbau von Kulturpflanzen in Entwicklungsländern ertragreicher und auch umweltfreundlicher gestaltet werden könnte. In einem Positionspapier der Fachzeitschrift *Science* vom März 2019 wird mit dem gezielten Einsatz von neuen Gentechnikverfahren, wie CRISPR/Cas geworben, um die globale Situation

---

<sup>21</sup> Andersen, Elisabeth; Schreiber, Katharina: *Neue Regeln für die Gentechnik in Europa?*, Berlin, 2020, *Natur und Recht* (Springer)

in der Welternährung durch ertragsreichere Ernten trotz geringerer Pestizideinsätze in der Landwirtschaft zu verbessern. Es wird auch auf die Präzision des Verfahrens in Hinblick auf die Ausbildung unerwünschter Merkmale bei Pflanzen im Gegensatz zu älteren gentechnischen Verfahren aufmerksam gemacht.<sup>22</sup> Konkret werden Projekte aufgelistet, in denen selektierte Grundnahrungspflanzen modifiziert wurden. So beispielsweise bei der Bekämpfung der Panamakrankheit bei Bananenkulturen, die durch den Schlauchpilz *Fusarium oxysporum f. sp. cubense* hervorgerufen wird und mithilfe des CRISPR/Cas-Verfahrens eingedämmt werden könnte, indem ein Resistenzgen punktuell in der Banane ersetzt wird.

In Zukunft könnte CRISPR/Cas eine immer wichtigere Rolle im Zuge von Klimaveränderungen spielen, bei denen komplexere Merkmale wie Dürre- und Salztoleranz bei Kulturpflanzen erforscht werden. Der relativ niedrige Kostenaufwand wäre ein bedeutendes Argument für die Ernährungssicherheit und gegen den Hunger auf regionaler Ebene.

Dr. Ricardo Gent, Geschäftsführer der Deutschen Industrievereinigung Biotechnologie, beschreibt die Chancen von Gentechnik im Kampf gegen den Welthunger in einem Kommentar von 2016:

„Gentechnik kann den Kampf gegen den Welthunger unterstützen. Dieser hat viele Ursachen: ideologische Politik und militärische Konflikte, mangelhafte Infrastruktur, geringe Bildung, fehlender Zugang zu Krediten, Dürreperioden und vieles mehr spielen je nach Land eine wichtige Rolle. Eine Technologie allein kann ihn also ebenso wenig beseitigen wie eine bestimmte Anbauart. Das gilt für den ökologischen und den integrierten Landbau gleichermaßen.

Die Pflanzenzüchtung leistet aber einen wesentlichen Beitrag, die Produktivität aller Anbauformen zu steigern. Die konventionelle Züchtung allein schafft es nicht immer. Daher sind die Gentechnik und die Methoden des Genome Editing wie CRISPR und TALEN unerlässliche Ergänzungen im Werkzeugkasten der Pflanzenzüchtung.

Landwirte wollen Pflanzen einsetzen, die weniger Ressourcen benötigen, gute Qualität und hohen Ertrag liefern, mit Krankheiten und Schädlingen fertigwerden und mit den Bedingungen des Klimawandels zurechtkommen. Das stellt die Pflanzenzüchtung vor große Herausforderungen.

So wird etwa die Produktion von Bananen derzeit durch die Panama-Krankheit bedroht. Mittels Genome Editing ist es endlich möglich, resistente Kulturbananen nachhaltig und mit der notwendigen Schnelligkeit zu züchten. Diese könnten auch unter Öko-Standards angebaut werden, wenn die Pflanze gezielt durch Mutagenese

---

<sup>22</sup> Zaidil, Syed Shan-e-Ali; Vanderschuren, Hervé; Qaim, Matin; Mahfouz, Magdy M.; Kohli, Ajay; Mansoor, Shahid; Tester, Mark: New plant breeding technologies for food security, Volumen 363, USA, 2019, Science

entstanden ist und keine artfremde DNA in das Genom eingefügt wurde. Dann ist die Banane nach Gentechnikgesetz kein GVO.

Die Frage, welche Technologien für welche Formen der Landwirtschaft eingesetzt werden, sollte keine Rolle spielen. Das Ziel muss immer eine nachhaltige Landwirtschaft sein.“<sup>23</sup>

Im Kontrast dazu äußerte sich Dr. Christoph Then, Geschäftsführer von Testbiotech e.V München, einem Institut für unabhängige Folgenabschätzung in der Biotechnologie, in einem Statement von 2012 folgendermaßen:

„Bei Versuchen, den „Golden Rice“ mit der bekannten indischen Reissorte „Swarna“ zu kreuzen, gab es eine böse Überraschung: Das eingebaute Genkonstrukt störte die Funktion eines natürlichen Wachstums-Gens. Zudem verminderte sich der Gehalt des für die Pflanzen lebensnotwendigen Chlorophylls. Das Beispiel zeigt, wie schnell die angebliche Lösung selbst zum Problem werden kann.

Bereits seit etwa 20 Jahren wird propagiert, dass der Gentechnik-Reis bei der Bekämpfung ernährungsbedingter Mangelkrankheiten helfen könnte. Doch bis heute gibt es keine ausreichenden Daten über Qualität und Sicherheit der Pflanzen. Würde der Reis angebaut, könnte sein Erbgut rasch in Wildreis und regionale Reissorten gelangen. Dabei könnten auch Effekte wie bei der Kreuzung von Golden Rice mit der indischen Sorte Swarna auftreten. Wenn die Schäden bemerkt werden, kann es bereits zu spät sein, um die Transgene wieder aus der Umwelt zu entfernen.

Derzeit beruhen die Geschäfte der großen Konzerne ohnehin auf Gentechnik-Pflanzen, die herbizidresistent, insektengiftig und in Bezug auf die Sicherung der Welternährung weitgehend untauglich sind. Auch die neuen Gentechnikverfahren wie CRISPR-Cas werden vielfach zur Produktion derartiger Pflanzen verwendet. Dabei sind die Risiken ähnlich komplex wie bei der bisherigen Gentechnik: Zwar werden nicht mehr unbedingt artfremde Gene eingebaut, aber die Muster der gewollten Veränderungen im Erbgut, die oft mehrere Gene gleichzeitig betreffen, haben in der Natur keine Entsprechung. Dazu kommen zusätzliche, ungewollte Veränderungen. Vor diesem Hintergrund ist es wichtig zu betonen, dass die konventionelle Züchtung in Bezug auf eine höhere Leistung oder verbesserte Widerstandskraft von Nutzpflanzen wesentlich erfolgreicher ist als die Gentechnik.“

### 3.5 Fallbeispiel Golden Rice

Der Hintergrund in dem im Kommentar erwähnten Fallbeispiel um den "Golden Rice" äußert sich in der seit vielen Jahren gehegten Hoffnung durch gentechnisch veränderten Reis den Vitamin A Mangel in ärmeren Ländern vermindern zu können. Vitamin A Mangel gehört zu den weltweit am häufigsten verbreiteten Gesundheitsproblemen. Das Vitamin ist maßgeblich an der Produktion von weißen Blutkörperchen und Antikörpern beteiligt. In

---

<sup>23</sup> Transkript: Gentechnik: Nötig im Kampf gegen den Welthunger? (Stand: 14.11.2016), <https://transkript.de/meinung/klartext/detail/gentechnik-noetig-im-kampf-gegen-den-welthunger.html> [09.01.2021]



Entwicklungsländern können sich die Menschen nicht genügend Obst und Gemüse leisten und sind daher hauptsächlich von stärkehaltigen Nahrungsmitteln wie Reis, Maniok oder Hirse abhängig. Die Mangelernährung führt zu vertrockneter Haut, Haarausfall und vor allem Erblinden, kann aber unter Umständen infolge des geschwächten Immunsystems auch bis zum Tod führen. Reis ist das wichtigste Grundnahrungsmittel in Asien. Zum Ende der 1990er Jahre begann die internationale Arbeitsgruppe um Ingo Potrykus (ETH Zürich) und Peter Beyer (Universität Freiburg) mit dem Pilotprojekt einen mit  $\beta$ -Carotin angereicherten Reis zu entwickeln. Den Namen "Golden Rice" erhielt der Reis aufgrund der Stoffwechselveränderung, die der Reis durchzog und welche ihn mit einer gelblichen Farbe versah.

*Abbildung 3 Farbvergleich Golden Rice zu konventionellem Reis*



Quelle: Wikipedia © Gemeinfrei

Bis heute ist der goldene Reis nicht einsetzbar und immer noch im Entwicklungsstadium. Problematisch ist das fehlende  $\beta$ -Carotin im Reiskorn selbst. So lassen sich nur in den äußersten Schichten der Körner geringe Mengen des Vitamins auffinden. In jahrelangen Forschungsarbeiten wurde aus einem Gen der Narzisse, welche für die Synthese von  $\beta$ -Carotin zuständig ist, ein Lösungsweg gefunden. Trotzdem sind noch viele Daten unbekannt, um den Golden Rice effektiv zu verwenden, denn um ihn erfolgreich einsetzen zu können, müsste man ihn lagern und kochen können ohne nennenswerte Verluste im Carotinoidgehalt hinnehmen zu müssen. Da Reis nach der Ernte monatelang gelagert werden kann, wäre der zeitliche Verlust am Carotinoidgehalt ein erhebliches Problem. Aufgrund von fehlenden Langzeitstudien wird auch das Sicherheitsrisiko kritisiert, da der Reis nicht ausreichend auf gesundheitliche Risiken

beim Verzehr, seinen Wirkungen auf das Immunsystem oder auf antinutritive Effekte überprüft wurde. Ebenfalls gibt es keine vergleichenden Daten zu Inhaltsstoffen und Stoffwechselprofilen von Golden Rice im Vergleich zu konventionellen Pflanzen.<sup>24</sup>

### **3.6 Fehlende Risikofolgenabschätzung für die Umwelt**

Da sich Reis per Pollenflug verbreitet, sind Kreuzungen mit wilden und Kulturreisarten nicht auszuschließen. Eine Kreuzung von genmanipuliertem Reis mit traditionellen Arten würde somit potenziell ein Grundnahrungsmittel nachhaltig gefährden. Außerdem ist es wissenschaftlich erwiesen, dass Hybride zwischen konventionellen und genmanipulierten Pflanzen unvorhersehbare Eigenschaften annehmen können, was wiederum ein Problem für das gesamte Ökosystem darstellen könnte. Ein zusätzlicher Risikofaktor wäre außerdem die fehlende Anpassungsfähigkeit von genmanipulierten Pflanzen im Gegensatz zu konventionellen Pflanzen in Hinsicht auf Klimaschwankungen. Wenn lokal angepasste Sorten durch genmanipulierte Sorten verunreinigt werden würden, sodass diese sich nicht mehr an klimatische Veränderungen anpassen können, so hätte dies verheerende Folgen auf die lokale Landwirtschaft. Die Eigenschaft von Reis, sein Erbgut permanent in der Umwelt zu verbreiten birgt dadurch das Risiko, den Reisanbau permanent zu beeinträchtigen, da der Genaustausch nicht nur einseitig verläuft. Es könnten sich Kreisläufe etablieren in denen Pollen von wilden Reissorten mit fremden Genen wieder auf Felder gelangen, in denen eigentlich nur konventionelle Sorten angebaut werden. Dadurch wäre der Genpool permanent kontaminiert und wenn unerwünschte Eigenschaften auftreten würden, die in der Risikoabschätzung nicht berücksichtigt wurden, könnte man diese Gene nicht rückwirkend separieren. Langzeitschäden oder in Zukunft veraltete transgene Pflanzensorten wären dann nicht kontrollierbar.<sup>25</sup>

### **3.7 Gen Drives**

Eine ähnliche Sorge herrscht auch bei neuen molekularbiologischen Methoden, wie bei der CRISPR/Cas-Methode. So publizierte eine Arbeitsgruppe von Umweltorganisationen, die "Civil Society Working Group on Gene Drives", im August 2016 einen Artikel mit dem Titel:

"Reckless Driving: Gene drives and the end of nature" (Rücksichtsloser Antrieb: Gen Drives und das Ende der Natur)

---

<sup>24</sup> Then; Christoph: Golden Lies, Berlin, 2012, Foodwatch

<sup>25</sup> Lu, Bao-Rong; Snow, Allison A.: Gene Flow from Genetically Modified Rice and Its Environmental Consequences, Oxford, 2005, BioScience (Oxford University Press), S.671-677



Die Arbeitsgruppe, die sich mit synthetischer Biologie auseinandersetzt, warnt in dem Artikel vor allem vor ökologischen, aber auch vor gesellschaftlichen Folgen, die sogenannte Gen Drives mit sich bringen. Gen Drives bezeichnen hierbei neue Methoden, in der sich gentechnisch veränderte Eigenschaften beschleunigt in Populationen ausbreiten lassen. Klassische Vererbungsregeln (Mendel) werden außer Kraft gesetzt. Wird normalerweise nur ein Chromosomensatz von beiden Elternteilen an die Nachkommen weitervererbt, so breiten sich auch Mutationen nur langsam in Populationen aus, da sie in der Regel nur auf einem der beiden Chromosomen vorliegen. Statistisch gesehen wird das mutierte Gen also nur an die Hälfte aller Nachkommen weitergegeben. Im CRISPR/Cas-System ist es aber nun möglich an einem Chromosom gezielt Genveränderungen durchzuführen, aber auch gleichzeitig das CRISPR-Werkzeug, also die Genschere mit einzubauen, sodass sie auch die DNA vom gegenüberliegenden Chromosom schneidet und damit insgesamt an beiden Chromosomen die Mutation durchgeführt hat. Das Merkmal ist nur reinerbig vorhanden und wird an 100% der Erben weitergegeben. Das CRISPR/Cas-System wird anschließend auch in den Folgegenerationen aktiv, sodass alle nachfolgenden Generationen am Zielgen verändert werden oder dieses ausgeschaltet wird. Dieser Mechanismus, der wie ein Dominoeffekt wirkt, wird auch als Gen Drive bezeichnet.<sup>26</sup>

Der Mechanismus wird vor allem bei der Eindämmung von Infektionskrankheiten, wie beispielsweise dem Überträger von Malaria, die Anopheles-Mücke, erforscht und soll dadurch zur Ausrottung besagter Art führen. Dies würde beispielsweise dann funktionieren, wenn alle Nachkommen einer genmanipulierten Mücke Träger eines rezessiven Gens wären. Dieses rezessive Gen würde erst dann zum Vorschein treten wenn beide Elternteile es in sich tragen und deren Nachkommen, als Folge des Gens nur unfruchtbare oder nur männliche Nachkommen produzieren. Durch den Gen Drive würde die Wahrscheinlichkeit, dass beide Elternteile das manipulierte Gen in sich tragen, deutlich erhöht werden.

Dieses Potenzial ganze Populationen schwerwiegend einzudämmen oder sogar auszurotten ist ausschlaggebend für die kritische Auseinandersetzung der "Civil Society Working Group on Gene Drives" mit besagten Methoden. Die wichtigsten Argumente lassen sich folgend zusammenfassen:

---

<sup>26</sup> Burt, Austin: Site-specific selfish genes as tools for the control and genetic engineering of natural populations, London, 2003, The Royal Society Publishing

- Überspitzt gesehen könnte eine einzige genetisch veränderte Spezies z.B. eine Fliege, welche in die Natur entlassen wird, nachhaltig alle Fliegen auf der Welt verändern.
- Gen Drives haben das Potenzial Ökosysteme nachhaltig zu verändern und neu zu definieren.
- Wenn Gen Drives in Kontakt mit sich schnell ausbreitenden Populationen kommen, haben sie das Potenzial die gesamte Population innerhalb eines geringen Zeitraums (wenige Monate bis Jahre) vollständig zu ändern. Dies kann bis zur Ausrottung der gesamten Population führen. Diese neue radikale Methode wird auch als *mutagenic chain reaction* bezeichnet, auf Deutsch etwa Mutagene Kettenreaktion. Sie kombiniert Erkenntnisse der synthetischen Biologie und Verfahren aus dem Genome Editing und wird signifikante Folgen für die Umwelt, Ernährungssicherheit, aber auch Frieden und sozialer Stabilität haben.
- Die Arbeitsgruppe vergleicht die Auswirkungen und den Einfluss der Methode mit den Herausforderungen, die der Umgang und die Steuerung von Kernenergie mit sich bringen.
- Sie warnt vor der potenziellen Kontaminierung der Ernährungsversorgung und Umwelt.
- Sie warnt vor dem Szenario eines möglichen Unfalls, dessen Schäden irreversibel wären. Außerdem stellt sich die Frage nach der fehlenden Verantwortung bei einem solchen Szenario.<sup>27</sup>

Neben dem bereits erwähnten möglichen Anwendungsbereich bei der Bekämpfung von Infektionskrankheiten sind noch weitere Einsatzmöglichkeiten vorstellbar.

### 3.7.1 Gen Drives in der industriellen Landwirtschaft

Große Agrarkonzerne sind aus vielfältigen Gründen an Gen Drives interessiert. Diese beinhalten beispielsweise die Bekämpfung von Unkraut, da diese durch Gen Drives für proprietäre Herbizide wie Roundup sensibilisiert werden könnten. Außerdem könnte die Methode auch für die Schädlingsbekämpfung selbst verwendet werden. So wurde schon Forschungsarbeit an Fruchtfliegen durchgeführt, welche zum Ziel hat diese auszurotten, um Kosten an Pestiziden und Ernteaussfällen zu sparen. Diese Art der Schädlingsbekämpfung wäre

---

<sup>27</sup> Civil Society Working Group on Gene Drives: Reckless Driving: Gene drives and the end of nature, 2016, S.1-2

auch bei Mäusen, Motten oder Heuschrecken vorstellbar. Möglich ist auch die Beschleunigung in der Verbreitung modifizierter Gene mit neuen Eigenschaften bei Saatgut.

### **3.7.2 Gen Drives zu Militärzwecken**

Die Arbeitsgruppe beschreibt die Eigenschaften von Gen Drives als "dual use" (dualem Nutzen), da jeder Vorteil, der durch die Technologie errungen wird, auch als Waffe verwendet werden kann. Als Beispiel wird die Forschungsarbeit an parasitären Würmern genannt, die durch Gen Drives ausgerottet werden sollen. Das gleiche Verfahren könnte angewandt werden, um genannte Parasiten mit Infektionskrankheiten oder giftigen Eigenschaften auszustatten, um dem Menschen zu schaden.

### **3.7.3 Gen Drives für einen künstlich verbesserten Naturschutz**

Es werden Möglichkeiten diskutiert bei denen die Ausrottung von gezielten Arten zum Naturschutz beitragen könnte. Im "GBIRD Projekt" (Genetic Biocontrol of Invasive Rodents), welches von der Non-Profit-Organisation "Island Conservation" gegründet wurde, werden Versuche an Mäusen durchgeführt, welche mit Gen Drives versehen in die Wildnis ausgesetzt werden, um die lokale Mäusepopulation auszurotten, welche die örtlichen Vogelarten bedrohen. Die US-amerikanische Stiftung "The Long New Foundation" möchte im Projekt "Revive and Restore" mit Gen Drives versehene Moskitos entwickeln, um Vogel malaria zu unterbinden, welche die endemischen Vogelarten bedroht. Es gibt jedoch noch Gebiete, die nicht von der Krankheit betroffen sind und mindestens eine Spezies die eine natürliche Resistenz gegen die Krankheit entwickelt hat.<sup>28</sup>

### **3.7.4 Fazit**

Die Verfasser des Artikels "Reckless Driving: Gene drives and the end of nature" bilanzieren die potenziellen Auswirkungen folgend:

"The ethical, cultural and societal implications of Gene drives are as enormous as the ecological consequences. Civil society groups are alarmed by this newfound ability to reshape the natural world." - Die ethischen, kulturellen und gesellschaftlichen Konsequenzen von Gen drives sind so enorm wie ihre ökologischen Folgen. Die Gesellschaft ist beunruhigt von dieser neuen Möglichkeit, die natürliche Ordnung der Welt umzustrukturieren.

---

<sup>28</sup> Civil Society Working Group on Gene Drives, S.3-4

### 3.8 Patentrecht und Saatgutmonopole

Eine Problematik, die sich ebenfalls nicht durch neue technologische Innovationen bei gentechnischen Verfahren lösen lässt, sind Streitigkeiten im Patentrecht. So wird von Kritikern schon seit Jahren der Umgang mit dem Patentrecht durch die Saatgutindustrie bemängelt. Der rechtliche Rahmen, der sowohl in den USA, aber auch in Europa geschaffen wurde, ermöglicht durch technische Innovationen im Bereich der Pflanzenzüchtung, die beispielsweise durch den Einbau eines Gens erfolgen kann, das Schutzrecht für den Erfinder besagter Pflanzen. Der Inhaber des Patents kann folglich anderen die Nutzung der Pflanzen untersagen oder gegen die Bezahlung der Technologiegebühren verwenden lassen. Dieses Schutzrecht erstreckt sich meist nicht nur auf das Saatgut selbst sondern beinhaltet auch die Pflanze, deren Nachkommen und die Verwendung der Ernteprodukte sowie die daraus hergestellten Lebensmittel.<sup>29</sup>

So ist der Agrarkonzern Monsanto, welcher am 07. Juni 2018 durch die deutsche Bayer AG übernommen wurde, für sein Patent EP546090 weltbekannt. Dieses beinhaltet eine Reihe von herbizidresistenten Pflanzen, die vom firmeneigenen selbst innovierten glyphosathaltigen Herbizid "Roundup" immun sind. Glyphosat ist rein mengenmäßig betrachtet die wirksamste Hauptkomponente in einer Reihe von Totalherbiziden, welche jede Pflanze töten, die nicht gentechnisch verändert wurde, um resistent zu sein.

Der Grundstein für die Patentierung von Pflanzen wurde in den USA im Jahr 1985 durch das U.S. Patent and Trademark Office (kurz USPTO) gelegt. Das USPTO ist das Patentamt, welches dem Handelsministerium der Vereinigten Staaten unterliegt. Das USPTO entschied, dass sexuelle reproduzierende Pflanzen unter dem "Patent Act" patentierbar seien. Pflanzen wurden rechtlich erstmals als Erfindungen gesehen. Folglich war es Patentinhabern möglich das Aufbewahren, Säen oder sonstigen Gebrauch von entsprechendem Saatgut zu untersagen.<sup>30</sup>

Mit der EU-Biopatentrichtlinie hat die EU-Kommission 1988 den rechtlichen Rahmen für sogenannte "Patente auf Leben" geschaffen. Diese wurde im EU-Parlament und in der Öffentlichkeit diskutiert und schließlich 1998 als "Biopatentrichtlinie (98/44/EG)" auf EU-

---

<sup>29</sup> H. Howard, Philip: Intellectual Property and Consolidation in the Seed Industry, Vereinigte Staaten, 2015, Crop Science

<sup>30</sup> Bugos, Glenn E.; Kevles, Daniel J.: "Plants as Intellectual Property: American Practice, Law, and Policy in World Context", Chicago, 2014, The University of Chicago Press, S.75-76

Ebene verabschiedet.<sup>31</sup> Anschließend erfolgte die schrittweise Umsetzung in nationales Recht, welche in Deutschland im Jahr 2004 geschah.

Diese Richtlinie ermöglicht eine Patentierung biotechnologischer Erfindungen bei Pflanzen, Tieren, menschlichen Genen und Teilen des menschlichen Körpers. Ausgeschlossen sind Patentierungen bei Innovationen, die lediglich bei einer Sorte angewendet werden können.

Vor allem kritisch bei der Patentierung wird die damit einhergehende Privatisierung von Saatgut gesehen, welche der Öffentlichkeit und besonders den Landwirten zur Verfügung stehen sollte. Es besteht außerdem die Sorge vor Monopolbildungen im Bereich der Saatgutindustrie. So haben sich in den vergangenen 6 Jahren mit 3 Fusionen konkret bei der Übernahme von Monsanto durch die Bayer AG, der Übernahme von Syngenta von der China National Chemical Corporation (ChemChina) und der Fusion zwischen Dow Chemical und E. I. du Pont de Nemours and Company zum neuen Unternehmen DowDuPont die bereits vorher schon größten Akteure vereinigt und besitzen nun über 60% des Marktanteils in der Saatgutindustrie. Firmen die ursprünglich im Chemiesektor angesiedelt waren und Pflanzenschutzmittel vertrieben haben, positionieren sich nun als Mischkonzerne und besitzen heute starke Positionen im Saatgutgeschäft mit strategischem Fokus in die Biotechnologie. Dies verdeutlicht die komplementäre Beziehung zwischen beiden Geschäfts- und Forschungsfeldern. In Kombination mit dem Vertrieb von Pflanzenschutzmitteln ergeben sich so auch wirtschaftliche Vorteile. So würde der Verkauf von herbizidtolerantem Saatgut den Verkauf von Herbiziden und umgekehrt begünstigen. Die vorherig genannten Fusionen zielen hierbei auf die komplementären Wechselbeziehungen zwischen den Unternehmen an. So besaß beispielsweise ChemChina ihr Kerngeschäft im Vertrieb von Pestiziden, hatte aber keine Anteile in der Saatgutindustrie bis zur Fusion mit Syngenta. Dies trifft auch auf die beiden anderen Fusionen zu, in der ein Partner stärker im Bereich der Pflanzenschutzmittel angesiedelt ist, mit Dow Chemical und der Bayer AG und der komplementäre Partner sein Kerngeschäft in der Saatgutindustrie mit Fokus auf grüner Gentechnik besitzt (E. I. du Pont de Nemours and Company und Monsanto).<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Europäisches Parlament, Richtlinie 98/44/EG: Rechtlichen Schutz biotechnologischer Erfindungen, Brüssel, 1998

<sup>32</sup> Koe, Deconinck: New evidence on concentration in seed markets. Global Food Security, Niederlande, 2019, ScienceDirect (Elsevier), S.135-136

### 3.8.1 Auswirkungen von Patenten auf Landwirtschaft und Verbraucher

Gerade durch die Patentregelung wird den Großkonzernen eine Monopolstellung eingeräumt. In einem Szenario, bei dem Patente auf konventionell gezüchtete Pflanzen erteilt werden, hätten Landwirte und Züchter ohne Erlaubnis des Patentinhabers keinen Zugriff, um diese zur weiteren Züchtung zu nutzen. In Europa wird dieses Vorgehen im Rahmen des Sortenschutzes, als Recht Zugang zur genetischen Artenvielfalt zu haben, unterbunden.

Auf ihrer Homepage, fasst das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft die Regelung für Biopatente wie folgt zusammen:

„Grundsätzlich sind Erfindungen, die sich auf biologisches Material beziehen, patentierbar. Biologisches Material ist jedes Material, das genetische Informationen enthält und sich entweder selbst reproduzieren oder in einem biologischen System reproduziert werden kann (§ 2a Abs. 3 Nr. 1 PatG). Patentrechtlich zulässig ist auch die Patentierung von Pflanzen oder Tieren mit Eigenschaften, die durch Gentechnik oder sonstige technische Verfahren verändert wurden. Auch die Früchte der Pflanzen und die Folgegenerationen von Tieren können von dem Patentschutz erfasst werden (§ 9a PatG) und entsprechend Lizenzzahlungsverpflichtungen auslösen.

Ausgenommen von der Patentierung sind unter anderem Pflanzensorten und Tierrassen sowie "im Wesentlichen biologische Verfahren" zur Züchtung von Pflanzen und Tieren. In Deutschland ist zudem explizit gesetzlich geregelt, dass Pflanzen und Tiere, die ausschließlich durch solche Verfahren gewonnenen wurden (§ 2a Abs. 1 Nr. 1 PatG, "Patentierungsverbote") nicht patentiert werden dürfen.“<sup>33</sup>

Problematisch ist jedoch, dass weiterhin Patente auf genetische Varianten und Veränderungen des Erbgutes, also Mutationen, zugelassen sind. Schwierig wird dieser Sachverhalt, wenn die Grenzen zwischen natürlich vorkommenden Genvariationen und natürlichen Mutationen und neuen gentechnischen Verfahren, wie CRISPR/Cas nicht mehr unterschieden werden können. So könnten in Patentanträgen konventionelle Züchtungen mit CRISPR/Cas nachsimuliert werden oder mit diesem in der Formulierung vermischt werden, um den Eindruck eines gentechnischen Verfahrens zu erwecken. Durch diese Rechtsunsicherheit wären somit der Anbau und die Züchtung konventioneller Nutzpflanzen gefährdet und alle Pflanzen mit

---

<sup>33</sup> Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Biopatente: Keine Patentierung von Tierrassen und Pflanzensorten (Stand: 18.09.2019), <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/saatgut-und-biopatente/biopatente.html> [09.01.2021]

entsprechenden Merkmalen könnten beansprucht werden. Die Sorge vor sogenannter "Biopiraterie" entsteht. Im American Heritage Dictionary wird Biopiraterie folgend definiert:

„The commercial development of biological compounds or genetic sequences by a technologically advanced country or organization without obtaining consent from or providing fair compensation to the peoples or nations in whose territory the materials were discovered.“<sup>34</sup>

Übersetzt:

"Die kommerzielle Weiterentwicklung von natürlichen biologischen Materialien oder Gensequenzen durch ein technologisch fortgeschrittenes Land oder eine Organisation, ohne die Erlaubnis beziehungsweise faire Entschädigung an das Land und/oder Volk, auf dessen Territorium diese Materialien ursprünglich entdeckt wurden.“

Als Beispiel bekam die damals noch unter dem Namen DuPont bekannte Firma im Jahr 2000 vom Europäischen Patentamt (EPA) das Patent EP 744 888 mit der Bezeichnung „Corn grains and products with improved oil composition“. Mit dem Patent erlangte sie die Rechte an allen Maispflanzen mit einem bestimmten Öl- und Ölsäuregehalt. Dieser Patentschutz war somit nicht an ein spezifisches technisches Verfahren, sondern allein am Ölgehalt gebunden und beinhaltete folglich nicht nur gentechnisch veränderten Mais sondern auch den Mais, der durch konventionelle Züchtung hervorgebracht wurde oder natürlich vorkam. Außerdem beanspruchte das Patent neben den Maispflanzen auch die daraus entstehenden Veredelungsprodukte, wie Lebensmittel, Tierfutter, der industriellen Verwendung des Öls sowie dessen Verwendung zur Herstellung von Speiseölen.

Da beispielsweise in Mittel- und Südamerika bereits natürliche Maissorten mit hohen Ölanteilen existieren und dieser Anteil auch mit konventionellen Züchtungsmethoden erreicht werden kann, reichte die Non-Profit-Organisation Greenpeace zusammen mit der mexikanischen Regierung Einspruch gegen das Patent ein. Am 12. Februar 2003 wurde das Patent schließlich vom Europäischen Patentamt widerrufen. Die Auswirkungen hätten sowohl Agrarwirte als auch Verbraucher erreicht.

---

<sup>34</sup> American Heritage Dictionary: Bio-piracy (Stand: 02.06.2018), <https://ahdictionary.com/word/search.html?q=Biopiracy&submit.x=-852&submit.y=-210> [09.01.2021]



Abbildung 4 Maissorten aus der Nähe von Cusco und Machu Picchu in Peru



Quelle: © Fabio de Oliveira Freitas

### 3.9 Abhängigkeit der Landwirte durch genetisch verändertes Saatgut

Besonders negativ fiel das Unternehmen Monsanto vor der Übernahme durch die Bayer AG im Zeitraum von 1997 bis 2012 auf, bei dem es in 142 Fällen Landwirte auf Verletzung bestehender Patentrechte, die genetisch modifiziertes Saatgut beinhalten, verklagte. Vor der Einführung des Patentrechts für patentgeschützte Sorten war es in den Vereinigten Staaten üblich und auch legal Saatgut aus der eigenen Ernte wieder auszusäen. Mit der Änderung des rechtlichen Rahmens, war dies nur noch durch die Genehmigung des Patentinhabers zulässig. Die Non-Profit-Organisation "Center for Food Safety" startete im Mai 2003 eine Untersuchungskampagne mit dem Titel "Monsanto v. U.S. Farmers" auf Deutsch "Monsanto gegen amerikanische Landwirte" in der Rechtsstreitigkeiten zwischen amerikanischen Landwirten und Monsanto recherchiert wurden. Es wurde festgestellt, dass die Landwirte aufgrund der abgeschlossenen Verträge sowie der bis dahin beispiellosen Auslegung des Patentrechts durch Monsanto, zahlreich angeklagt wurden. Die Klagen bezogen sich dabei meist auf Verstöße bei Lizenzvereinbarungen des Saatguts, welches illegal zur Wiederaussaat verwendet wurde. Auch wurden Fälle bekannt in denen benachbarte Felder durch das genmanipulierte Saatgut kontaminiert wurden und betroffene Bauern ebenfalls für die Verwendung des Saatguts haften sollten. Durch die Umkehrung der Beweispflicht sind die Landwirte bei Klagen schließlich gezwungen nachzuweisen, welches Saatgut sie gekauft haben



und welche Pflanzenschutzmittel sie verwenden. Diese Praktiken wurden mit der gezielten Anwerbung von Privatermittlern, Videoaufnahmen und anonymen Hinweisen durchgeführt.<sup>35</sup>

### **3.10 Zugänglichkeit zu Saatgut in Entwicklungsländern**

Auch in Entwicklungsländern, in denen die größte Hoffnung bei der Anwendung der Grünen Gentechnik liegt, können Patentrechte das nachhaltige Bewirtschaften der Flächen durch lokale Landwirte behindern. Während in den Industrieländern heutzutage hauptsächlich mit kommerziell erwerblichen Saatgut Landwirtschaft betrieben wird, ist die Landwirtschaft in Entwicklungsländern durch Wiederaussaat und lokalem Austausch geprägt. Folglich wird die Landwirtschaft in einem kleinflächigen und geschlossenen System abgehalten, indem ein Teil der Ernte für die nächste Aussaat gelagert wird. Mit der "Grünen Revolution" in den 1960er Jahren erfolgte die Industrialisierung und Intensivierung der Landwirtschaft und viele Hochleistungs- und Ertragssorten wurden in Entwicklungsländern verbreitet, um die Nahrungsmittelproduktion zu erhöhen. Ziel war es, den globalen Hunger durch technischen Wandel zu bekämpfen.<sup>36</sup> Dort wo die Grüne Revolution Einzug hielt und die Industrialisierung ihren Lauf nehmen konnte, entstanden landwirtschaftliche Großbetriebe, die sich spezialisierten.

Die heutige Landwirtschaft charakterisiert sich durch Techniken der Ertrags- und Gewinnmaximierung. Dies äußert sich in Massentierhaltung, Düngemittel, Pestizide und neuen Züchtungsverfahren. Die Ergebnisse der Grünen Revolution werden kontrovers diskutiert, da sie einerseits besonders in den asiatischen Ländern zur Verbesserung der örtlichen Situation und zur Bekämpfung des Hungers beitragen konnte, aber durch die Intensivierung der Landwirtschaft für massive Umweltschäden in entsprechenden Regionen verantwortlich gemacht wurde. Zu hohe Belastung der Grundwasservorräte durch schnellere Erntefolgen und wasserintensiverer Sorten, die Verunreinigung des Grundwassers durch Pestizide, die hohe Anfälligkeit für Erosionen und Schädlingsbefall durch Monokulturen wären sinngebend zu erwähnen.<sup>37</sup> Auch wurden in Folge der Grünen Revolution kleinere Zuchtbetriebe und Landwirte verdrängt und größere Agrarkonzerne bildeten sich heraus. Diesen ist es wiederum

---

<sup>35</sup> Center for Food Safety: Monsanto v. U.S. Farmers 2012 Update, Washington, D.C., 2012

<sup>36</sup> Evenson, R.E.; Gollin, D.: Assessing the Impact of the Green Revolution, Vereinigte Staaten, 2003, Science

<sup>37</sup> Singh, R.: Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, Indien, 2000, University of Delhi

möglich die Konkurrenz durch den Einfluss am Saatgutmarkt und bei der Preisgestaltung abzudrängen oder diese einfach aufzukaufen.

Kontrovers ist hier das von großen Agrarkonzernen angebotene Saatgut zu betrachten, welches in Bezug auf eine nachhaltige Landwirtschaft in Entwicklungsländern zur Lösung der Ernährungsfrage beitragen soll. Durch gentechnisch verändertes und/oder Hybridsaatgut würde ein Modell entstehen, welches den lokalen Bauern keine unabhängige und kostenlose Saatgutverwaltung zugesteht. Während die Abhängigkeit von Bauern durch genetisch verändertes Saatgut durch die begünstigten Wechselwirkungen zwischen dem resistenten Saatgut und der entsprechenden Pestizide, der höheren Ertrags- und Leistungsfähigkeit der Pflanzen sowie im oberen Absatz (Abhängigkeit der Landwirte durch genetisch verändertes Saatgut) beschriebenen Lizenzen entsteht, so wird auch bei Hybridsaatgut der regelmäßige Kauf des Saatguts konstruiert. Die Hybridsorten erzeugen zwar höhere Ernteerträge und haben durch die Züchtung nur ausgewählte Eigenschaften und zusätzliche Krankheitsresistenzen ihrer Elternlinien, jedoch können sie von den Bauern nicht selbst vermehrt werden, da Nachkommen von Hybriden stark unterschiedliche Merkmale ausprägen und nur eine im Vergleich verminderte Leistungsfähigkeit aufweisen. In beiden Fällen bedeutet dies für die lokalen Landwirte den saisonalen Neukauf des Saatguts. Der Preis des Saatguts kann hierbei durch die Abhängigkeit der Landwirte vom entsprechenden Konzern bestimmt werden.

Ein weiterer Kritikpunkt an dem das Hochleistungssaatgut bewertet wird, ist der mit einhergehende Verlust der Biodiversität. Durch die zunehmend verwendeten Hochleistungssorten, werden ältere und alternative Sorten verdrängt. Es kommt zur Sortenarmut. Auf den Anbauflächen werden im Zuge der Intensivierung konkurrierende Wild- aber auch Kulturpflanzen als Schädlinge behandelt und entfernt. Es entsteht scheinbar ein Interessenskonflikt zwischen Ernährungsversorgung und Artenvielfalt.

### **3.11 Auswirkungen der Grünen Gentechnik auf die Artenvielfalt**

#### **3.11.1 Grüne Gentechnik zur Förderung der Artenvielfalt**

Die Anwendung der Grünen Gentechnik schließt per se die Artenvielfalt nicht automatisch aus. Versuche in der British Beet Research Organisation (BBRO) einem Forschungsinstitut in Suffolk (Vereinigtes Königreich) untersuchten die Auswirkungen herbizidtoleranter Rüben auf die Anzahl der Insekten im Feld. Es stellte sich heraus, dass die Zahl der Insekten in

herbizidtoleranten Rübenfeldern höher war, als in Feldern mit konventionellen Rüben. Da man die Unkrautbekämpfung aufgrund der Herbizidtoleranz bei den herbizidtoleranten Rüben wesentlich später durchführen konnte, als bei den konventionellen Rüben, konnte man bei den Feldern mit herbizidtoleranten Rüben bis zum Frühsommer Wild- und andere als Unkraut geltende Pflanzen stehen lassen, von denen artenreichere Insektenbestände profitieren konnten.<sup>38</sup>

### **3.11.2 Studie zu Bt-Toxinen auf Nicht-Zielorganismen bei Bt-Mais, BT-Baumwolle und Bt-Sojabohnen**

Genetisch veränderte Pflanzen, die insektizidhaltige Proteine aus dem Bakterium *Bacillus thuringiensis* (BT) synthetisieren, können als wirksame Kontrolltaktik gegen Lepidopteran- und Coleopteranschädlinge (Schmetterlinge und Käfer) angewandt werden. Dies trifft vor allem auf Mais, Baumwolle und Sojabohnen zu. Eine Studie von Forschern des Forschungszentrums Agroscope in der Schweiz, untersuchte zu diesem Zweck die Auswirkungen von BT-Pflanzen auf Nichtzielarten zu denen auch Arthropoden und Parasitoide zählen, die normalerweise zur natürlich biologischen Kontrolle des Schädlings beitragen. Durch Auswertung von Studien- und Feldversuchen der letzten 20 Jahre wurden Wechselwirkungen von Bt-Toxinen zu Nichtzielarten analysiert. Dabei zeigte die überwiegende Mehrheit der Studien, dass die insektizidhaltigen Proteine keine nachteiligen Auswirkungen auf natürliche Feinde der Schädlinge oder Nützlinge (z.B. Bestäuber) haben. Außerdem wirken sich BT-Pflanzen sogar positiv für die Artenbestände der natürlichen Feinde aus, wenn sie herkömmliche Insektizide ersetzen. BT-Pflanzen können somit zu einer effektiveren und gezielteren Schädlingskontrolle beitragen und dadurch natürliche Feinde und Nützlinge schonen.<sup>39</sup>

### **3.11.3 Grüne Gentechnik als Verfahren zur Bodenentgiftung**

Eine zusätzliche Chance könnten gentechnisch veränderte Pflanzen bieten, die in der Lage wären toxische Verbindungen aus dem Boden zu filtern. So können beispielsweise Industriegifte, wie Schwermetalle nur unter hohem Aufwand wieder aus dem Boden entfernt werden. Aber auch die Einleitung belasteter Abwässer, der Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln, Unfälle mit ungewollten Schadstoffeinträgen oder schädliche Müllentsorgungen können zur Kontaminierung wertvoller Flächen führen, die neben anderen

---

<sup>38</sup> Sinemus, Kristina; Minol, Klaus: Grüne Gentechnik – ein Beitrag zur Nachhaltigkeit?, Neuberger, 2004, Mensch+Umwelt Spezial, S.47-49

<sup>39</sup> Romeis, Jörg; Naranjo, Steven E.; Meißel, Michael; Shelton, Anthony M.: Genetically engineered crops help support conservation biological control, Amsterdam, 2018, Trends in Biotechnology

Nutzzwecken auch für die Landwirtschaft genutzt werden könnten. Bewährte Verfahren für die Bodensanierung sind die Abtragungen der Erde und die anschließende Verbrennung oder Reinigung dieser durch Mikroorganismen. Dieser Prozess ist teuer und aufwendig in der Ausführung. Die Züchtung von transgenen Pflanzen könnte man hier als Chance nutzen, da sie entsprechende Gifte in harmlosere Verbindungen umwandeln. Nach vollendeter Entgiftung wäre schließlich eine Bewirtschaftung durch Nutzpflanzen vorstellbar.

Als Beispiel haben britische Forscher Versuche an belasteten Böden ehemaliger Sprengstoff-Fabriken durchgeführt. Die mit Trinitrotoluol (TNT) belasteten Böden sind stark giftig für Tiere und Pflanzen. Um ein kostengünstigeres Verfahren zu entwickeln als den Boden abzutragen, setzten sie ein Gen des Bakteriums *Enterobacter cloacae* in Tabakpflanzen ein. Durch das Nitroreductase Gen konnten die Tabakpflanzen ein Enzym bilden, welches das TNT im Boden verarbeiten und in harmlose Verbindungen umwandeln konnte. Auch in hoch konzentrierten TNT-Lösungen konnten die Tabakpflanzen gedeihen und das Gift aus dem Wasser filtern.<sup>40</sup>

Transgene Pflanzen haben somit das Potenzial nachhaltige Anbauverfahren und Sanierungen im Bodenbereich zu unterstützen. Sie wären dadurch in der Lage Flächen zu erschließen, die nach der Sanierung für den Anbau von Nahrungsmitteln verwendet werden könnten.

## 4 Fazit

### 4.1 Ist Grüne Gentechnik in der Lage den globalen Hunger zu beenden?

Die Grüne Gentechnik ist in Europa, vor allem in Deutschland äußerst umstritten. So geht aus Umfragen hervor, dass die Mehrheit der Menschen in Deutschland Gentechnik nicht anhand ihres wahrgenommenen Nutzens bewerten, sondern das wahrgenommene Risiko ausschlaggebend für die Einschätzung der Technologie ist.<sup>41</sup> Studien zur Verbraucherakzeptanz bezüglich gentechnisch veränderter Lebensmittel ergeben, dass die Bevölkerung in der EU diese überwiegend ablehnen. So gaben bei der Eurobarometer Studie im Jahr 2001 70 Prozent der Befragten an, dass sie gentechnisch veränderte Lebensmittel ablehnen und 59 Prozent der Teilnehmer meinten, dass gentechnisch veränderte Lebensmittel schlechte Auswirkungen auf

---

<sup>40</sup> Hannink, Nerissa; Rosser, Susan J.; French, Christopher E.; Basran, Amrik; Murray, James A.H.; Nicklin, Stephen; Bruce, Neil C.: Phytodetoxification of TNT by transgenic plants expressing a bacterial nitroreductase, University of Cambridge, 2001, Nature Publishing Group, S.1168-1171

<sup>41</sup> Renn, Ortwin: Gentechnik in der öffentlichen Wahrnehmung, Berlin, 2018, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften

die Umwelt haben könnten.<sup>42</sup> Das Image für Gentechnik ist auch heute noch überwiegend negativ. Doch hat sich die Technologie in den vergangenen Jahren bedeutend weiterentwickelt. So wurde mit Genome Editing Verfahren entwickelt, die durch Genscheren äußerst präzise die DNA-Sequenzen einer Pflanze bearbeiten können. Mit dem CRISPR/Cas-Verfahren ist der Zeit- und Kostenaufwand so weit gesunken, dass das Verfahren innerhalb weniger Tage kostengünstig angewandt werden kann. Stellt man diese Methode konventionellen Züchtungsmethoden gegenüber, so benötigt die Entwicklung einer neuen Pflanzensorte mehrere Jahre. Zwar birgt auch Genome Editing Risiken und kann nicht alle Schwächen älterer Methoden überwinden, jedoch reicht ihr Potenzial für eine grundsätzliche Neubewertung in der Gesellschaft, aber auch im derzeitigen rechtlichen Rahmen für gentechnisch veränderte Pflanzen, um diese in einem differenzierteren System zu kontrollieren, aber auch um Unterschiede zwischen verschiedenen Verfahren für Verbraucher kenntlich zu machen. Besonders kritisch sind die unkontrollierten Auswirkungen von Gen Drives zu bewerten, die unvorhersehbare Folgen für die Umwelt haben können. Umso wichtiger wären hier sorgfältige Prüfungen mit Folgenabschätzungen durch staatliche Institutionen.

Hinsichtlich der Eignung für eine Verbesserung der Ernährungssicherheit in Entwicklungsländern ist die gegenwärtige rechtliche Lage für geistige Eigentumsrechte bei Pflanzen widersprüchlich zu bewerten. So herrschen Interessenskonflikte zwischen wirtschaftlichen Zielen von Agrarkonzernen und der Bemühung die Ernährungssicherheit in betroffenen Entwicklungsländern zu verbessern. Dabei wirkt sich das Konzept zur Patentierung von Pflanzen negativ auf lokale Landwirte aus. Die erhöhte Einflussnahme von Agrarkonzernen im globalen Ernährungssystem, führt aufgrund von Monopolisierung zu erhöhten Preisen am Saatgutmarkt. Diese hohen Lizenzgebühren für Saatgut lassen sich nur schwer für die Bauern finanzieren. Als Folge werden nur noch bestimmte Sorten angebaut und die Nutzpflanzen werden in Monokulturen bewirtschaftet. Es kommt zur genetischen Verarmung und zur Abnahme der Biodiversität. Die Landwirte verlieren ihre Flexibilität am Markt und sind finanziell vom Saatgutkonzern abhängig. Um die Einschränkung der genetischen Ressourcen zu verhindern und unverhältnismäßigen Saatgutkosten entgegenzuwirken, benötigt es somit dringend einer Reform im internationalen Patentrecht, um Patente auf Leben in Entwicklungsländern zu limitieren oder aufzuheben.

---

<sup>42</sup> Zawieracz, Alexandra: Verbraucherakzeptanz bezüglich gentechnisch veränderter Lebensmittel, Hamburg, 2006, S.47

Anhand von Positivbeispielen lässt sich beweisen, dass gentechnisch veränderte Pflanzen im Vergleich zu konventionellen Methoden das Potenzial haben nicht nur den Ertrag zu steigern oder Resistenzen gegen Schädlinge oder klimatische Beeinträchtigungen aufzubauen, sondern sogar in ausgewählten Fällen in der Lage sind die Artenvielfalt zu erhöhen oder Beiträge zur Renaturierung von Flächen zu leisten. Der schlechte Ruf der Grünen Gentechnik deckt sich nicht mit den rasanten Fortschritten, die in den letzten Jahren bei der Forschung von neuen Verfahren erreicht wurden. Diese haben das Potenzial Lösungen zu den stetig wachsenden Herausforderungen in der Landwirtschaft zu bieten. Es liegt an der globalen Gesellschaft die neuen Verfahren der Grünen Gentechnik verantwortungsvoll einzusetzen und den rechtlichen Rahmen für den Einsatz, aber auch den Zugang zu gentechnisch veränderten Pflanzen neu festzulegen, damit die Grüne Gentechnik im Kampf gegen den globalen Hunger wirkungsvoll eingesetzt werden kann.

## Literatur

- Andersen, Elisabeth; Schreiber, Katharina: „Genome Editing“ vor dem EuGH und seine Folgen, Berlin, 2020, Natur und Recht (Springer)
- Andersen, Elisabeth; Schreiber, Katharina: Neue Regeln für die Gentechnik in Europa?, Berlin, 2020, Natur und Recht (Springer)
- Bugos, Glenn E.; Kevles, Daniel J.: "Plants as Intellectual Property: American Practice, Law, and Policy in World Context", Chicago, 2014, The University of Chicago Press, S.75-76
- Bühl, Achim: Risikoanalyse Grüne Gentechnik. Auf Dem Weg Zur Biomächtigen Gesellschaft?, Berlin, 2009, Springer, S.401-403
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Welternährung verstehen, Fakten und Hintergründe, Bonn, 2018, S.4
- Burt, Austin: Site-specific selfish genes as tools for the control and genetic engineering of natural populations, London, 2003, The Royal Society Publishing
- Center for Food Safety: Monsanto v. U.S. Farmers 2012 Update, Washington, D.C., 2012
- Civil Society Working Group on Gene Drives: Reckless Driving: Gene drives and the end of nature, 2016, S.1-2
- Department of Economic and Social Affairs: World Population Prospects 2020, Vereinigte Staaten, 2020
- Doudna, Jennifer A.; Charpentier, Emmanuelle: The new frontier of genome engineering with CRISPR-Cas9, Volumen 346, Genome engineering - A decades-long goal, USA, 28. November 2014, Science
- Europäisches Parlament, Richtlinie 98/44/EG: Rechtlichen Schutz biotechnologischer Erfindungen, Brüssel, 1998



- Evenson, R.E.; Gollin, D.: Assessing the Impact of the Green Revolution, Vereinigte Staaten, 2003, Science
- Food and Agriculture Organization of the United Nations: The State of Food Security and Nutrition in the World, Rom, Italien, 2020, S.8
- Grebmer, Klaus; Bernstein, Jill; Wiemers, Miriam; Acheampong, Keshia; Hanano, Asja; Higgins, Brona; Ní Chéilleachair, Réiseal; Foley, Connell; Gitter, Seth; Ekstrom, Kierstin; Fritschel, Heidi: Welthungerhilfe, Concern Worldwide: Welthunger-Index 2020, Bonn, 2020, Welthungerhilfe
- Hannink, Nerissa; Rosser, Susan J.; French, Christopher E.; Basran, Amrik; Murray, James A.H.; Nicklin, Stephen; Bruce, Neil C.: Phytodetoxification of TNT by transgenic plants expressing a bacterial nitroreductase, University of Cambridge, 2001, Nature Publishing Group, S.1168-1171
- H. Howard, Philip: Intellectual Property and Consolidation in the Seed Industry, Vereinigte Staaten, 2015, Crop Science
- Kempken, Frank: Gentechnik bei Pflanzen, 5. Auflage, Botanisches Institut, Universität Kiel, 2020, S.86-95, Springer Spektrum
- Koe, Deconinck: New evidence on concentration in seed markets. Global Food Security, Niederlande, 2019, ScienceDirect (Elsevier), S.135-136
- Lidicker, William Z.: A Scientist's Warning to humanity on human population growth, Niederlande, 2020, ScienceDirect (Elsevier), S.1-2
- Lu, Bao-Rong; Snow, Allison A.: Gene Flow from Genetically Modified Rice and Its Environmental Consequences, Oxford, 2005, BioScience (Oxford University Press), S.671-677
- McNutt, Marcia: Breakthrough to genome editing, Volumen 350, USA, 18. Dezember 2015, Science



- Modrzejewski, Dominik; Hartung, Frank; Sprink, Thorben; Krause, Dörthe; Kohl, Christian; Wilhelm, Ralf: What is the available evidence for the range of applications of genome-editing as a new tool for plant trait modification and the potential occurrence of associated off-target effects: a systematic map, Berlin, 2019, S.1-2, Environmental Evidence part of Springer Nature
- Norris, Alexis L.; Lee, Stella S.; Greenlees, Kevin J.; Tadesse, Daniel A.; Miller, Mayumi F.; Lombardi, Heather A.: Template plasmid integration in germline genome-edited cattle, Vereinigtes Königreich, 2020, Nature Biotechnology (Nature Publishing Group)
- Renn, Ortwin: Gentechnik in der öffentlichen Wahrnehmung, Berlin, 2018, Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften
- Romeis, Jörg; Naranjo, Steven E.; Meißel, Michael; Shelton, Anthony M.: Genetically engineered crops help support conservation biological control, Amsterdam, 2018, Trends in Biotechnology
- Sinemus, Kristina; Minol, Klaus: Grüne Gentechnik – ein Beitrag zur Nachhaltigkeit?, Neuherberg, 2004, Mensch+Umwelt Spezial, S.47-49
- Singh, R.: Environmental consequences of agricultural development: a case study from the Green Revolution state of Haryana, Indien, 2000, University of Delhi
- Schawel, Christian; Billing, Fabian: Top 100 Management Tools, SWOT-Analyse, 6. Auflage, Wiesbaden, 2012, Springer Gabler
- Then; Christoph: Golden Lies, Berlin, 2012, Foodwatch
- The Food and Agriculture Organization: How to Feed the World in 2050, Rom, 2009
- Voytas, Daniel F.; Gao, Caixia: Precision Genome Engineering and Agriculture: Opportunities and Regulatory Challenges, Cornell University, USA, 10. Juni 2014, S.1

Zaidil, Syed Shan-e-Ali; Vanderschuren, Hervé; Qaim, Matin; Mahfouz, Magdy M.; Kohli, Ajay; Mansoor, Shahid; Tester, Mark: New plant breeding technologies for food security, Volumen 363, USA, 2019, Science

Zawieracz, Alexandra: Verbraucherakzeptanz bezüglich gentechnisch veränderter Lebensmittel, Hamburg, 2006, S.47

## Internetquellen

Aktion gegen den Hunger: Fragen und Antworten rund um die humanitäre Katastrophe im Jemen (Stand: 10.03.2020), <https://www.aktiongegendenhunger.de/wir-in-aktion/hungerkrieg-jemen/faq-humanitaere-katastrophe-im-jemen> [08.01.2021]

American Heritage Dictionary: Bio-piracy (Stand: 02.06.2018), <https://ahdictionary.com/word/search.html?q=Biopiracy&submit.x=-852&submit.y=-210> [09.01.2021]

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft: Biopatente: Keine Patentierung von Tierrassen und Pflanzensorten (Stand: 18.09.2019), <https://www.bmel.de/DE/themen/landwirtschaft/pflanzenbau/saatgut-und-biopatente/biopatente.html> [09.01.2021]

Deutsche Welthungerhilfe e. V.: Hunger: Verbreitung, Ursachen & Folgen (Stand: 18.12.2020), <https://www.welthungerhilfe.de/hunger/> [08.01.2021]

Transkript: Gentechnik: Nötig im Kampf gegen den Welthunger? (Stand: 14.11.2016), <https://transkript.de/meinung/klartext/detail/gentechnik-noetig-im-kampf-gegen-den-welthunger.html> [09.01.2021]