

Facharbeit am
Burghardt-Gymnasium Buchen
(Schuljahr 2024/2025)
im Rahmen des Seminarkurses
zur Schüler-Ingenieur-Akademie

Grüne Gentechnik

Betreuende Fachlehrer der Schule:
Frau Eva Raff
Herr Thomas Haas
Herr Christian Eschmann

vorgelegt von:

Dinh Hieu Vu

Buchen, den 28.03.2025

Erreichte Punktzahl (Notenpunkte): _____

Unterschrift der Lehrerin / Des Lehrers: _____

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Grüne Gentechnik	3
2.1 Grüne Gentechnik und ihre Historie	3
2.2 Genetisch modifizierte Pflanzen (GMP)	4
2.3 CRISPR/Cas-Methode	4
2.3.1 Verfahren der CRISPR/Cas-Methode	5
2.3.1.1 Versuchsaufbau	5
2.3.1.2 Zellkultur	6
2.3.1.3 Insertion	6
2.3.1.4 Arbeitsweise	7
3. Green Chemistry	8
3.1 Grüne Gentechnik = Grüne (Bio-)Chemie?	9
3.1.1 Prinzip 3: Weniger schädliche Synthese	9
3.1.2. Prinzip 6: Effiziente Energienutzung	9
3.1.3 Prinzip 10: Biologische Abbaubarkeit	9
3.1.4 Prinzip 13: Nachhaltige politische Rahmenbedingungen	10
3.2 Ergebnis	10
4. Gerechtigkeitstheorie nach John Rawls	10
4.1 Urzustand	11
4.2 Prinzip gleicher Grundrechte und Grundfreiheiten	11
4.3 Soziale und wirtschaftliche Ungleichheiten	12
5. Fazit	12
6. Schlussteil	14
6.1 Literaturverzeichnis	14
6.2 Versicherung	16

1. Einleitung

Die vorliegende Facharbeit befasst sich mit der Thematik der Grünen Gentechnik, einer bisher jungen, aber auch kontroversen Technologie, die in das Erbgut eines Organismus eingreift, um diesen nach Belieben zu modifizieren. Hierbei wird eine etablierte gentechnische Methode vorgestellt und in ihrem Verfahren sowie ihrer Anwendung vertieft. Mithilfe von Literaturrecherchen werden Grüne Gentechnik sowie ihre Methoden auf verschiedenste gesellschaftliche Aspekte analysiert. Diese Aspekte lassen sich in der kontinuierlich wiederkehrenden Leitfrage dieser Arbeit erkennen, nämlich inwieweit der Eingriff in die natürliche Evolution durch die Gentechnik nachhaltig ist und inwiefern diese gerecht ist. Verwendet werden für die Analysen einerseits die zwölf Prinzipien der Grünen Chemie und andererseits die Gerechtigkeitstheorie nach John Rawls. [1]

2. Grüne Gentechnik

2.1 Grüne Gentechnik und ihre Historie

Zehntausend Jahre ist es her, dass die Menschen begannen, wilde Pflanzen zu domestizieren. Wildpflanzen wurden zu Kulturpflanzen, darunter die ersten Vorreiter Lein und Hülsenfrüchte. Mit der Zeit entwickelte sich die Menschheit und somit ihre Anforderungen an Pflanzen, sodass sich diese ebenfalls weiterentwickeln mussten. Ein großer Fortschritt für diese Umstellung wurde Ende des 19. Jahrhunderts mit der Entwicklung der systematischen Pflanzenzucht erzielt. Dies entsprach erstmals den „modernen“ Ansprüchen, da es durch die Entdeckung der Kreuzungsgenetik durch Gregor Mendel 1865 möglich wurde, gezielte Pflanzeigenschaften zu kombinieren und Pflanzen somit beispielsweise widerstandsfähiger zu machen. Nicht lange danach folgte die revolutionäre Forschung der Zell- und Hybridkulturen, die neue Möglichkeiten in der Pflanzenzucht eröffnete. Dabei wurden zwei reinerbige Elternlinien [2], Pflanzen, die genetisch über mehrere Generationen identisch sind, miteinander gekreuzt, sodass die Nachfolgeneration robuster und ertragreicher ist. Der größte Durchbruch kam aber mit der Grünen Gentechnik, auch Agrotechnik genannt, die in den 1980er Jahren mit Versuchen an Tabakpflanzen anbrach. Erstmals war es möglich, gezielt in das Erbgut eines pflanzlichen Organismus einzugreifen und die gewünschten Eigenschaften der Pflanzen ohne züchterische Ausmusterung zu erreichen. In den folgenden Jahren merkte man auch diesen Durchbruch in der kommerziellen Landwirtschaft, die gentechnisch veränderte Pflanzen wie herbizidtolerante Sojabohnen sowie schädlingsresistente Mais- und Baumwollarten anbaut und verkauft. [3]

2.2 Genetisch modifizierte Pflanzen (GMP)

Heutzutage trifft man im Supermarkt häufig auf genetisch modifizierte Pflanzen, die von Tomaten bis hin zu Weizen reichen, der in Produkten wie Weizenbier verwendet wird. Dennoch bleibt vielen Menschen unbekannt, wie weit diese Technologie verbreitet ist und was deren Produkte sind. Vereinfacht gesagt sind genetisch modifizierte Pflanzen (GMP) Organismen, deren Erbgut gezielt durch biotechnische Verfahren modifiziert wurde. Dies bezweckt bestimmte Eigenschaften innerhalb der Pflanze, wie eine zuvor erwähnte Steigerung der Schädlingsresistenz oder Herbizidtoleranz. Die Gentechnik ermöglicht eine präzise Übertragung isolierter Gene in das Erbgut des Systems „Pflanze“, was zu einer gewünschten Modifikation von Pflanzenmerkmalen führt. In der Praxis wird dies mithilfe von verschiedenen biotechnologischen Verfahren, bei denen zunächst das Erbmaterial von einem Organismus isoliert und in einen Empfängerorganismus übertragen wird, erreicht. Meist verwenden diese Verfahren ein Bakterienmedium, um die ausgewählten Gene in die Pflanzenzelle einzuschleusen. Eine wesentliche Differenzierung der Produkte von diesen Verfahren liegt in der Herkunft des eingeführten Gens. Bei jenen Genen, die von derselben Art oder von einem nahen Verwandten wie dem Empfängerorganismus übertragen werden, spricht man von einer cisgenen Pflanze. Andererseits wird bei einer Übertragung von artfremden Genen von transgenen Pflanzen gesprochen. Diese Begriffe korrelieren mit ihren lateinischen Übersetzungen. „Cis“ bedeutet „diesseits“/„auf dieser Seite“ [6] und bezieht sich auf die Übertragung von Genen innerhalb derselben Art, während „trans“ „jenseits“/„über“ [7] bedeutet und die Übertragung von Genen aus einer anderen Art beschreibt. Beide Verfahren ermöglichen es jedoch, dass Nutzpflanzen neue und nützliche Eigenschaften erben, die mit konventionellen Kreuzungen nicht durchführbar sind. Solche Eigenschaften reichen von der Widerstandsfähigkeit gegenüber Krankheiten, extremen Wetterbedingungen oder versalzten Böden bis hin zu Förderungen der Nährstoffe und Vitamine. [3] [4] [5]

2.3 CRISPR/Cas-Methode

Zur Erreichung dieser diversen Eigenschaften gibt es verschiedene Methoden. Klassisch ist hierbei die konventionelle Kreuzung, bei der Pflanzen mit gewünschten Eigenschaften gekreuzt werden und daraufhin in der nachfolgenden Generation systematisch nach diesem Ermessen selektiert werden. Traditionelle Verfahren wie diese arbeiten jedoch zeitlich ineffizient, da ihre Wartezeit bis zu zwei Generationen beansprucht. Im Vergleich dazu zeigt die CRISPR/Cas-Methode als eine junge Biotechnologie, einen deutlichen Anstieg an Effizienz in Bereichen wie Zeit sowie Energie. Entdeckt wurde sie im Jahre 2012 von der französischen Genetikerin Emmanuelle Charpentier und ihrer amerikanischen Biochemie-Kollegin Jennifer Doudna. Das *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/Cas-System* ist,

Stand 2018, die am weitesten verbreitete Technik zur Genomeditierung, also die zielgerichtete Veränderung am Erbgut. Dies ist vor allem auf die geringen Durchführungskosten von etwa 100 US-Dollar pro Experiment sowie den vergleichsweise geringen Zeitaufwand zurückzuführen, da die Durchführung inklusive Vorbereitungszeit nur wenige Tage in Anspruch nimmt. Die hohe Effizienz dieser Technik lässt sich zum einen durch ihre präzise Arbeit auf molekularer Ebene als auch durch die durchdachte Gestaltung der Experimente erklären. CRISPR/Cas orientiert sich hierbei nach dem natürlichen Abwehrmechanismus von Bakterien gegen Viren. Es hilft, Bakterien bei der Identifikation von vorherigen Virusinfektionen einzusetzen, da sie anhand eines zuvor gespeicherten Erbgutsegments Wiedererkennung ermöglichen. Folglich agiert sie somit als Erkennungssystem der biologischen Bakterienzelle. Um aber genetische Veränderungen in einem Organismus herbeizurufen, nutzt CRISPR/Cas infolgedessen der Erkennung seine Schneidekomponente, die das betroffene Gen somit zuschneidet. CRISPR/CAS benutzt dieses Prinzip der beiden Komponenten als Fundament seiner molekularbiologischen Technik. [8] [19]

2.3.1 Verfahren der CRISPR/Cas-Methode

Für eine erfolgreiche Genmodifizierung befolgt die CRISPR/Cas-Anwendung optimalerweise die folgenden mehrstufigen Prozesse:

2.3.1.1 Versuchsaufbau

Bevor das Experiment durchgeführt wird, werden zunächst die erforderlichen Gegebenheiten am Computer mit jeweiligen Programmen wie DeskGen [9] festgelegt. Diese Vorarbeit ist ein wichtiger Bestandteil der CRISPR/Cas-Methode, denn diese konkretisiert den Ablauf sowie den Aufbau des Experimentes. Explizit sollte mithilfe des Vorwissens, der Komponenten-Erkennung und des Schneidens eine ausführliche und plausible Planung der Konfiguration dieser geschehen. Denn sie bilden das Fundament, indem sie die Zielsequenz im Erbgut erkennen und die DNA an dieser Stelle spalten, um die gewünschte Veränderung zu erzielen. Ein weiterer Grund für eine genaue Planung ist die strenge Fehlertoleranz, die innerhalb des Prozesses nahezu null ist. Beispielhaft ist hierbei das notwendige Wissen der genauen Abfolge der DNA-Sequenz des Empfängerorganismus, denn diese beeinträchtigt den Erkennungsprozess, wenn diese verfälscht ist. Allgemein lässt sich sagen, dass der Faktor des Erfolges bei drei Aspekten liegt: dem Programm, der Einstellung im Programm und zuletzt der Erfahrung des Anwenders. [8] [19]

2.3.1.2 Zellkultur

Das Arbeiten mit CRISPR/Cas erfordert, dass die Komponenten der Genschere in pflanzlichen Zellen außerhalb der Pflanze, sogenannte Zellkulturen, eingebracht werden. Hierfür werden sogenannte Kallusse entnommen, also Pflanzenorgane oder Gewebestücke, und daraufhin in einem Nährmedium kultiviert. Die Arbeit in der Zellkultur beansprucht ebenfalls die Entfernung der undurchlässigen Zellwand der pflanzlichen Zelle, um die darunterliegende Zellmembran zugänglich zu machen und damit die Genschere einzuschleusen. In diesem Zusammenhang werden diese zellwandlosen Zellen als Protoplasten bezeichnet. [8] [19]

2.3.1.3 Insertion

Bevor die Techniken erläutert werden können, wie die Genschere in den Empfängerorganismus eingeschleust wird, müssen das Konzept von CRISPR/Cas und ihre Komponenten nochmals aufgegriffen und vertieft werden. Die Genschere ist ein Enzymkomplex [10], was bedeutet, dass CRISPR/Cas aus mehreren dissoziierbaren, also trennbaren Enzymen besteht, die gemeinsam verwandte chemische Reaktionen bilden. In diesem Fall sind die zwei Komponenten das Cas-Protein, welches die DNA schneidet, und die Guide-RNA, die die Ziel-DNA identifiziert und den Enzymkomplex zu dieser Zielsequenz führt.

Bezüglich der Praktiken von CRISPR/Cas kann das System in diversen Zuständen in die Zielzelle eingeführt werden. Einerseits ist es möglich, allein den sogenannten DNA-Plasmid, der die Informationen für die Bildung der Genschere gespeichert hat, einzuschleusen. Befindet sich dieser nämlich innerhalb der pflanzlichen Zelle, entsteht ein transgener Organismus, da sich das artfremde DNA-Plasmid mit einem vorliegenden Chromosom integriert. Anschließend bildet sich die Genschere innerhalb des Chromosoms und ist fähig, die Zielsequenz zu erkennen und zu schneiden. Die eingebaute Genschere muss lediglich nur noch vom Chromosom herausgekreuzt werden, damit ausschließlich nur an der Zielsequenz verbleibende Modifikationen nachweisbar sind. Ein beliebtes Verfahren, um diese Genscheren-DNA einzuschleusen, ist der sogenannte Partikelbeschuss. Mithilfe einer Genkanone werden Metallpartikel (Gold, Wolfram) [11] mit einem durchschnittlichen Durchmesser von ca. 1–4 µm mit hohem Druck in pflanzliche Zellen eingeschossen. Diese Metallpartikel sind mit dem DNA-Plasmid beschichtet und penetrieren den Zellkern, um die Genscheren-DNA anschließend darauf abzuladen. Ein Nachteil dieses Verfahrens ist das Risiko, unbeabsichtigt andere Zellbestandteile zu treffen, beispielsweise eine für die Energieversorgung essenzielle Struktur, die Chloroplasten. Der DNA-Plasmid ist nicht die einzige Möglichkeit, CRISPR/Cas anzuwenden. Es besteht die Alternative, fertige Genscheren als hergestellten Enzymkomplex in die Empfängerzelle einzubringen. Bei dieser Methode entfällt sowohl die Integration in das Chromosom als auch das anschließende Herauskreuzen, sodass die Genschere direkt aktiv werden kann und ihre Funktion der Zielsequenzänderung vollbracht wird. Anzumerken ist, dass

beide Verfahren nicht perfekt sind, denn sie weisen kleine Inkonsistenzen auf bezüglich der Erfolgsquote. Allerdings ist das Verfahren des fertigen Enzymkomplexes im Vergleich deutlich im Nachteil, da es aus vielen verschiedenen Gründen eine geringe Effizienz beim Einbringen der Genschere in den Zielorganismus aufweist. Aus diesem Grund wird überwiegend die DNA-Plasmid-Methode für CRISPR/Cas-Systeme genutzt. [8] [19]

2.3.1.4 Arbeitsweise

Unter der Annahme, dass die Genschere erfolgreich in den Zielorganismus eingeschleust wurde, orientiert sie sich daraufhin innerhalb der Zelle mithilfe der Guide-RNA, die das Erbgut mit der abgezielten Zielsequenz identifiziert und die Genschere zu dieser hinführt. Damit die Schneidekomponente, also das Cas-Protein, eine hohe Erfolgsquote hat, ist eine weitere Komponente in diesem Verfahren essentiell, nämlich die PAM-Sequenz der Zelle. Das Akronym für *Protospacer Adjacent Motif*, kurz PAM, dient hierbei als Stoppsignal für die Guide-RNA des Enzymkomplexes, weil diese eine spezifische DNA-Sequenz ist, die immer an der Zielsequenz anliegt. Ist das CRISPR/Cas-System an seiner Position angelangt, aktiviert sich das Cas-Protein und schneidet die Zielsequenz an dieser Stelle ab, wodurch ein sogenannter Doppelstrangbruch der DNA entsteht. Nach diesem fundamentalen Schritt aktiviert die Zelle einen von zwei zelleigenen Reparaturmechanismen. Der erste Mechanismus ist das *non-homologous end joining*, demnach auch NHEJ betitelt. Dieses Verfahren will die Zelle so schnell wie möglich reparieren, was schlussendlich auch bedeuten kann, dass einzelne Basen oder kleinere DNA-Abschnitte eingebaut oder gelöscht werden. Diese Fehlreparaturen bewirken somit die erwünschten kleinen und ungerichteten Veränderungen an der Zielsequenz. Jedoch ist eine solche Fehlreparatur nicht hundertprozentig, da der Originalzustand natürlich auch wiederhergestellt werden kann. Glücklicherweise wirkt da CRISPR/Cas dem entgegen und bindet und schneidet die Zielsequenz erneut. Dieses Verfahren wird auch unter dem Begriff SDN-1 (site-directed nuclease-1) zusammengefasst. Wenn aber spezifische Veränderungen erwünscht sind, besteht auch die Möglichkeit, einen DNA-Schaden durch das *homology-directed-repair*-System anzuwenden. Das auch genannte HDR-System überlässt die Auswahl des Reparationsbausteins nicht dem Zufall, sondern bietet aktiv mit synthetisch hergestellten DNA-Vorlagen den Reparationsbaustein an. Diese sogenannte SDN-2 (site-directed nuclease 2) Anwendung basiert auf der natürlichen Tendenz der Zelle, den Doppelstrangbruch mithilfe von DNA-Sequenzen, die den beschnittenen Sequenzen ähnlich oder sogar identisch sind, zu reparieren. Das bedeutet, die synthetisch hergestellte DNA-Vorlage muss lediglich eine gewisse Ähnlichkeit zur Zielsequenz aufweisen. Eine solche Vorlage wird anschließend mit dem Enzymkomplex synthetisiert, um gezielte Veränderungen hervorzurufen. Des Weiteren unterscheidet man bei dem HDR-System zwischen Größen der DNA-Vorlagen. Fallen diese eher klein aus und verursachen nur eine minimale Veränderung an

der Zielsequenz, ordnet man diese der SDN-2-Anwendung zu. Sind die Vorlagen hingegen größer und enthalten beispielsweise ganze Genabschnitte, zählen diese zur SDN-3 (site-directed nuclease 3) Anwendung. [8] [19]

3. Green Chemistry

Die Chemie war schon immer ein großer Pfeiler unseres Lebens. Von der Landwirtschaft bis hin zur Kunststoffproduktion. Doch mit dem Wandel der Nachhaltigkeit und ihren hohen Anforderungen an die Industrie stößt die konventionelle Chemie an ihre Grenzen. Exzessive Mengen an Abfall, gesundheitsschädliche Stoffe oder der Verbrauch enormer Mengen an Energie und Ressourcen [14]. Diese und viele weitere Punkte sind in einer zunehmend nachhaltig orientierten Welt nicht mehr tragbar. Angesichts dieser Herausforderung wurde das Konzept der Green Chemistry (Grünen Chemie) von den amerikanischen Chemikern Paul T. Anastas und John C. Warner im Jahre 1998 ins Leben gerufen. Hierbei definierten sie in ihrem sogenannten „ersten Handbuch der Grünen Chemie“: Green Chemistry: Theory and Practices den Kerngedanken der grünen Chemie und führten die dazugehörigen 12 Prinzipien ein. Das Kernkonzept beruht hierbei darauf, unser fortgeschrittenes chemisches Wissen und Anlagen der letzten vier Jahrhunderte nachhaltig zu nutzen. Zum einen soll der Einsatz bzw. der Austritt von gefährlichen Chemikalien, die über den ganzen chemischen Prozess ablaufen, vermindert oder komplett unterbunden werden. Einhergehend soll dadurch das Expositionsrisiko des Menschen, sei es Anwender oder späterer Konsument, so klein wie möglich gehalten werden. Ein weiterer zentraler Punkt der Green Chemistry ist der ökonomisch nachhaltige Aspekt. Es soll unter der Vermeidung oder der Minimierung von zukünftigem Abfall während der chemischen Prozesse sowohl eine ökologische als auch eine wirtschaftliche Verbesserung erzielt werden. Explizit wird darauf hingewiesen, dass die Reduktion von zukünftig potentiellen Abfällen einen größeren Mehrwert bietet als die Investition von Energie und Ressourcen in bereits existierende Abfälle. Paul Anastas und John Warner bauen auf diesen Kerngedanken ihre zwölf Prinzipien auf, um nachhaltige Chemie zu gewähren. [12] [13]

(Bild Nr.1, 12 Principles proposed by Anastas and warner, [12])



3.1 Grüne Gentechnik = Grüne (Bio-)Chemie?

Die Frage, ob Grüne Gentechnik bzw. CRISPR/Cas den hohen Anforderungen der Nachhaltigkeit standhält, wird im Folgenden mithilfe ausgewählter Parameter der zwölf Prinzipien von Paul T. Anastas und John C. Warner analysiert. Die zwölf Prinzipien dienen hierbei als Methode einer systematischen Musterung für die Green Chemistry. Aufgrund des stetigen Wandels des Nachhaltigkeitsbegriffes [15] wird zur Veranschaulichung des politisch nachhaltigen Aspekts ein weiteres Prinzip angeglichen. Da diese Methode nicht auf eine Beurteilung von Nachhaltigkeit abzielt, wird das Analyseergebnis analog interpretiert und entsprechend angepasst.

3.1.1 Prinzip 3: Weniger schädliche Synthese

Das dritte Prinzip formuliert zunächst, dass die Synthesemethoden so zu entwickeln sind, dass Substanzen mit geringer oder gar keiner Toxizität oder Umweltgefährlichkeit eingesetzt und produziert werden. Nach diesem Verständnis kann man sagen, dass CRISPR/Cas auf den ersten Blick ein sicheres Verfahren als Gentechnik ist, da es ohne großflächigen Einsatz von toxischen Chemikalien auskommt. Bekanntermaßen sind die Modifizierungen der bis jetzt betroffenen Pflanzen weder umweltgefährlich noch toxisch. Doch bei einem genauen Blick erkennt man, dass durchaus eine Wahrscheinlichkeit besteht, dass, wenn die Genschere das falsche Zielgen identifiziert und schneidet, sogenannte Off-Target-Effekte entstehen und sich somit unerwartete Veränderungen an einer Pflanze entwickeln. Diese können im schlimmsten Falle gesundheitsschädlich auf die Menschheit wirken. [13] [8]

3.1.2 Prinzip 6: Effiziente Energienutzung

Das sechste Prinzip legt einen hohen Wert auf die Berücksichtigung und Minimierung der Kosten sowie der Umweltauswirkungen des Energieeinsatzes von chemischen Prozessen. Bezüglich des Aspekts der Energieeffizienz hat CRISPR/Cas eine Monopolstellung. Zum einen sind die Kosten von ca. 100 € sowie der Zeitaufwand, der bei wenigen Tagen liegt, so niedrig wie nie zuvor. Zum anderen wird die aufgewandte Energie meist nur einmalig für die erste Generation benötigt, da die Genveränderungen generationenübergreifend sind. Langfristig gesehen ist dies eine sehr effiziente Nutzung von Energie. [13] [8] [19]

3.1.3 Prinzip 10: Biologische Abbaubarkeit

Wie der Name dieses Prinzips schon verrät, geht es darum, dass chemische Produkte nach ihrer Nutzung nicht in der Umwelt verbleiben, sondern sich zu unschädlichen Produkten zersetzen. Ebenfalls wie beim sechsten Prinzip erweist sich hier CRISPR/Cas als ein Mustervorbild. Die gezielte Veränderung von Pflanzen durch CRISPR/Cas kann hierbei zur

Reduktion von persistenten chemischen Rückständen beitragen, indem diese durch die widerstandsfähige Entwicklung der Pflanzen mit CRISPR/Cas nicht mehr benötigt werden.

[13] [8]

3.1.4 Prinzip 13: Nachhaltige politische Rahmenbedingungen

Das dreizehnte Prinzip fokussiert sich darauf, ob die regulatorischen Rahmenbedingungen der Politik chemische Methoden fördern und weiterentwickeln. Hier ist jedoch zu befürchten, dass die Gentechnik CRISPR/Cas vom Europäischen Gerichtshof überreguliert wird und somit eine Anhebung der Kosten anstrebt. Einhergehend mit diesen Kosten kommt es zu einer Bremsung der Entwicklung und Verwendung der CRISPR/Cas-Technologie. [16]

3.2 Ergebnis

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Grüne Gentechnik, insbesondere CRISPR/Cas, großes Potenzial als nachhaltige biochemische Technologie hat. In den richtigen Händen benötigt sie nämlich auf langfristige Sicht wenig Energie, reduziert die Produktion von toxischen Produkten und fördert die biologische Abbaubarkeit. Wie man erkennt, korrelieren die ausgewählten Parameter mit den Aspekten des Nachhaltigkeitsdreiecks. Allerdings steht der Begriff der Nachhaltigkeit stetig im Wandel, was auch Einfluss auf die Bewertung hat [15]. Aufgrund dessen wurde das 13. Prinzip, um CRISPR/Cas auch im Hinblick auf politische Nachhaltigkeit zu betrachten. Dabei stellte sich heraus, dass sich unter Hinzufügung dieses Parameters eine starke Kritik gegenüber der Gentechnik anbahnte. Spezifischer ist es der Mangel an politischer Unterstützung [17], die dazu führt, eine vielversprechende Technologie wie CRISPR/Cas mit ihrer Entwicklung zu bremsen. CRISPR/Cas ist also eine vielversprechende Technologie, die jedoch erst die politische Hürde überwinden muss, um das Nachhaltigkeitsviereck zu vervollständigen. [13] [8]

4. Gerechtigkeitstheorie nach John Rawls

John Rawls' Gerechtigkeitstheorie ist ein rein hypothetischer Ansatz, der darauf zielt, soziale sowie wirtschaftliche Ungleichheiten in einem spezifischen Sachverhalt zu analysieren. Das Verfahren in dieser Theorie basiert auf einer sogenannten Vertragstheorie, der Moralphilosophie sowie der politischen Philosophie. Diese dient dazu, in einem fiktiven Zustand, in dem die Grundsätze durch freie und gleiche Individuen bestimmt werden, einen Gesellschaftsvertrag zu erzielen. Die Zustimmung aller Beteiligten wird daraufhin als normatives, also maßgebliches, Gültigkeitskriterium. Da sich diese Theorie gut dazu eignet, ein Urteil im Bezug auf Gerechtigkeit zu fällen, wird sie im Folgenden verwendet, um die Grüne Gentechnik und den Eingriff in die natürliche Evolution zu beurteilen. [18]

4.1 Urzustand

Damit eine Beurteilung auf Gerechtigkeit stattfinden kann, muss zuerst der Urzustand, welcher in der Gerechtigkeitstheorie einen fundamentalen Wert hat, definiert werden. Der Urzustand, der als rein fiktive Ausgangssituation fungiert, wird anhand zweier Kriterien bestimmt. Einerseits ist es essenziell, dass die Grundsätze der Gerechtigkeit eine Entscheidung widerspiegeln, die von Menschen mit Vernunft in einer Situation von Freiheit und Gleichheit getroffen würde. Andererseits ist ein weiteres Kriterium für den Urzustand der Schleier des Nichtwissens. Hierbei geht man davon aus, dass niemand seine Stellung in der Gesellschaft, seine Klasse bzw. seinen Status, seine Naturgaben wie Intelligenz oder Körperkraft, seine Vorstellung vom Guten und zuletzt seine besonderen psychologischen Neigungen kennt. Der Effekt unter diesem Nichtwissenden bewirkt eine intuitive Bildung einer gerechten Welt, wodurch analog eine gleichzeitige Beurteilung von spezifischen Sachverhalten in der realen Welt ermöglicht wird. [18]

4.2 Prinzip gleicher Grundrechte und Grundfreiheiten

Das erste Prinzip der Gerechtigkeitstheorie fordert, dass alle Menschen das gleiche Recht auf ein umfassendes System von gleichen Grundfreiheiten haben. Grundsätzlich wird darauf geachtet, dass diese Rechte keine Menschen benachteiligen, sondern allen gleichermaßen zugutekommen. Angesichts der Gentechnik kann man hierzu leider allgemein sagen, dass dies größtenteils nicht der Fall ist. Ein Kernaspekt dieses Prinzips ist die Zugänglichkeit der Gentechnologie. Wenn Grüne Gentechnik wie CRISPR/Cas dazu verwendet wird, genmodifizierte Pflanzen mit verbesserten Eigenschaften wie Krankheitsresistenz oder Toleranz gegenüber extremen Wetterbedingungen des Klimawandels zu entwickeln, kann sie allen Menschen gleichermaßen zugutekommen und somit Grundrechte wie das Recht auf Nahrung gewähren. Das kann man an dem Fallbeispiel vom Golden Rice gut erkennen, der seit vielen Jahren im Kampf gegen Vitamin-A-Mangel explizit in Entwicklungsländern eingesetzt wird. Golden Rice ist nämlich eine genmodifizierte Reisart, die mit Vitamin A angereichert ist, um als Ersatz für Obst und Gemüse zu wirken. Das Vitamin ist einer der Hauptfaktoren der Produktion von weißen Blutkörperchen und Antikörpern im menschlichen Körper. Dieses beugt also Symptomen wie trockener Haut, Haarausfall und Erblindung vor. Die große Problematik liegt hierbei nicht an der Technologie selbst, sondern an den großen Konzernen wie Bayer oder Syngenta. Diese Saatgutgiganten stellen eine riesige Hürde für die allgemeine Zugänglichkeit solcher Pflanzen wie Golden Rice dar, denn diese Konzerne patentieren ihr Saatgut. Natürlich kann man hierbei argumentieren, dass die Saatgüter aus deren eigener Technologie stammen, jedoch bewirkt dies, dass zum einen private oder kleinere Züchter in einen Patentkonflikt geraten können. Folglich wird es für solche Züchter teurer. Zum anderen haben Großkonzerne

wie Bayer einen großen Einfluss auf den Saatgutmarkt, sodass sie Preise beliebig variieren können. Das verursacht möglicherweise negative Auswirkungen in spezifischen Entwicklungsländern, da diese eigentlich die Gentechnik am meisten benötigen, aber nicht genügend finanzielle Mittel dafür haben. [18] [19]

4.3 Soziale und wirtschaftliche Ungleichheiten

Das zweite Prinzip der Gerechtigkeitstheorie besagt, dass soziale sowie wirtschaftliche Ungleichheiten nur dann gerechtfertigt sind, wenn sie den am wenigsten begünstigten Mitgliedern der Gesellschaft zugutekommen und die damit verbundenen Ämter allen offenstehen. Wie bereits erwähnt, erweist sich die Grüne Gentechnik als eine bedeutsame Technologie für die Benachteiligten. In diesem Falle sind es die Entwicklungsländer, die bei der Nutzung konventioneller Landwirtschaft wegen ökologischer sowie ökonomischer Gegebenheiten Probleme haben. Genetisch modifizierte Pflanzen können die Probleme umgehen, wie man am Beispiel von Golden Rice erkennt. Ähnlich wie beim ersten Prinzip weist der Zugang zu dieser Technologie jedoch Problematiken auf. Zum einen ist der Zugang zu Saatgut oder allgemein genetisch modifizierten Pflanzen nicht vollkommen versichert, da diese wiederum abhängig von Großkonzernen und ihren Patenten sind. Diese könnten als einfaches Beispiel ihre Preise erhöhen und somit den Zugang zu ihren Gütern für viele Züchter oder auch Landwirte erschweren. [18] [19] [20]

5. Fazit

Ist der Eingriff der Grünen Gentechnik in die natürliche Evolution nachhaltig und gerecht? Hinsichtlich der Nachhaltigkeit zeigt die Grüne Gentechnik, insbesondere CRISPR/Cas, ein enormes Potenzial, um beispielsweise eine nachhaltigere Landwirtschaft zu ermöglichen. Anhand der 12 Prinzipien der Grünen Chemie wurde diese Nachhaltigkeit der CRISPR/Cas-Methode in ökologischer, ökonomischer und sozialer Hinsicht veranschaulicht. Das Resultat war ein sehr positives Nachhaltigkeitsurteil, da sich die Technologien als energieeffizient und ökologisch unschädlich erwiesen. Insgesamt wird CRISPR/Cas daher als nachhaltige Technologie eingestuft. Bei der Einführung des modernsten Nachhaltigkeitsaspekts wird jedoch deutlich, dass die Gentechnik nicht genügend politische Unterstützung bekommt. Dies hat zur Folge, dass ihre Entwicklung gebremst wird und politisch zumindest nicht nachhaltig ist. Dennoch ist die Grüne Gentechnik als nachhaltig einzustufen. Deutlich schlechter als die Nachhaltigkeitsanalyse fällt die Gerechtigkeitsanalyse aus. Unter Berücksichtigung der Vorrangregel, die die Gewichtung der Prinzipien erläutert, lässt sich zusammenfassend sagen, dass die Grüne Gentechnik bedauerlicherweise nicht als gerecht. Obwohl sie viele positive Zukunftsperspektiven bietet,

insbesondere im Bereich der Nachhaltigkeit, führt das wachsende Machtgefälle zwischen den großen Konzernen und den einfachen Konsumenten und Anwendern zu einer Ungleichheit, die bereits viele Grundrechte verletzt, wie z.B. das Recht auf Nahrung [21], das eng mit dem Recht auf Gesundheit [22] verbunden ist. Gleichzeitig kann auch gesagt werden, dass in diesem Fall die am wenigsten Begünstigten nicht profitieren. Dies wurde am konkreten Beispiel des Golden Rice deutlich. Ein weiterer Punkt, der gegen die Gerechtigkeitstheorie spricht, ist die Patentierung von Saatgut durch Konzerne, da dies der von John Rawl angesprochenen Zugänglichkeit von Gütern widerspricht. Meiner Meinung nach ist die Grüne Gentechnik eine hervorragende innovative Technologie, die viele Probleme in unserer Welt lösen kann. Jedoch wie bereits erwähnt, steht die Politik hier im Weg, die ihren Einfluss verringern muss um die Entwicklung solcher Technologien für benachteiligte Menschen zu fördern. Problematisch hierbei ist, dass eine Senkung der Regulierung den Konzernen in die Hände spielen würde und somit eine größere Ungerechtigkeit sich entwickelt. Es ist daher wichtig, in Zukunft einen Mittelweg zu finden um beide Problematiken zu negieren. [8] [18] [19] [20]

6. Schlussteil

6.1 Literaturverzeichnis

- [1] Unbekannt: ChatGPT [online]. November 2022
<https://chatgpt.com/> 27.03.25
- [2] Redaktion von Pflanzenforschung.de: Was ist Hybridzüchtung? [online]. 29.01.19
<https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/was-ist-hybridzuechtung-11017> 23.03.25
- [3] Unbekannt: Pflanzen genetisch verändern - die Verfahren im Überblick [online].
<https://www.leopoldina.org/wissenschaft/gruene-gentechnik/gruene-gentechnik-verfahren/#:~:text=Pflanzen%2C%20in%20dere,n%20Erbgut%20ein.%C3%9Cbertragung%20von%20Erbmaterial%20per%20Genkanone> 23.03.25
- [4] Redaktion von Pflanzenforschung.de: Was ist Grüne Gentechnik? [online]. 29.01.19
<https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/journal/was-ist-gruene-gentechnik-11019> 23.03.25
- [5] Bayer AG: Wie sicher sind gentechnisch veränderte Pflanzen? [online]. 18.04.24
<https://www.bayer.com/de/de/hsdf-wie-sicher-sind-gentechnisch-veraenderte-pflanzen#:~:text=Mithilfe%20gentechnischer%20Ver%C3%A4nderung%20k%C3%B6nnen%20Forscher.schlicht%20h%C3%B6here%20Ertr%C3%A4ge%20erzielt%20werden> 24.03.25
- [6] DWDS: cis#2 [online]. 12.10.21
<https://www.dwds.de/wb/cis#2> 24.03.25
- [7] DWDS: trans [online]. 5.01.2023
<https://www.dwds.de/wb/trans> 24.03.25
- [8] Unbekannt: Hintergrundpapier: CRISPR/Cas – Beschreibung der Technik [online].
https://fachstelle-gentechnik-umwelt.de/wp-content/uploads/Hintergrundpapier_CRISPRCas_Erklaerung_der_Technik.pdf 25.03.25
- [9] Pitzschke, Andrea: Werkzeuge für die CRISPR-Werkstatt Software-Tools für das Genome Editing mit CRISPR [online]. 10.10.18
<https://www.laborjournal.de/rubric/methoden/methoden/v203.php> 25.03.25
- [10] Unbekannt: Enzymkomplex [online].
https://www-oxfordreference-com.translate.goog/display/10.1093/oi/authority.20110803095753887?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=de&_x_tr_hl=de&_x_tr_pto=rq#:~:text=An%20operational%20term%20for%20any.of%20closely%20related%20chemical%20reactions 25.03.25
- [11] Unbekannt: Genkanone [online].
<https://biologie-seite.de/Biologie/Genkanone> 25.03.25
- [12] Aparecida de Marco, Bianca; Sau Rechelo, Barbara; Gandolpho Totoli, Eliane; Kogawa Carolina, Ana; Regina Nunes Salgado, Herida: Evolution of green chemistry and its multidimensional impacts: A review [online].
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6323129/#t0005> 26.03.25

[13] Unbekannt: Die 12 ;Prinzipien Grüner Chemie [online].
<https://www.sigmaaldrich.com/DE/de/technical-documents/technical-article/analytical-chemistry/green-chemistry-principles> 26.03.25

[14] Unbekannt: Geschichte der Chemie [online].
https://www.chemie.de/lexikon/Geschichte_der_Chemie.html 26.03.25

[15] Unterrichtsmaterial, das von Fr. Schwingel zur Verfügung gestellt wurde

[16] Unbekannt: Stellungnahme zur gentechnikrechtlichen Einordnung von neuen Pflanzenzüchtungstechniken, insbesondere ODM und CRISPR-Cas9 [online].
https://www.bvl.bund.de/SharedDocs/Downloads/06_Gentechnik/Stellungnahme_rechtliche_Einordnung_neue_Zuechtungstechniken.pdf?__blob=publicationFile&v=12 26.03.25

[17] Bayer AG: Wie sollte die Politik mit CRISPR/Cas umgehen? [online]. 9.09.22
<https://www.bayer.com/de/de/hsdf-wie-sollte-die-politik-mit-crispr-cas-umgehen> 26.03.25

[18] Unterrichtsmaterial Klimaethik 1, das von Hr. Eschmann zur Verfügung gestellt wurde

[19] Vuong, Dung: CHANCEN UND RISIKEN DER GRÜNEN GENTECHNIK IN DER GLOBALEN ERNÄHRUNGSSICHERHEIT [online]. 11.01.21
https://digibib.hs-nb.de/file/dbhsnb_thesis_0000002489/dbhsnb_derivate_0000003111/Bachelorarbeit-Vuong-2021.pdf 27.03.25

[20] Ritz, Nelly: Wie gerecht ist Grüne Gentechnik? Teil 2: Patente [online]. 21.08.24
<https://sciennotes.de/wie-gerecht-ist-gruene-gentechnik-teil-2-patente/> 27.03.25

[21] Sonntag, Andrea: Gesunde Nahrung ist ein Menschenrecht [online].
<https://www.welthungerhilfe.de/hunger/recht-auf-nahrung> 27.03.25

[22] Wulf, Andreas. Das Menschenrecht auf Gesundheit [online]. 12.09.16
<https://www.bpb.de/themen/recht-justiz/dossier-menschenrechte/231964/das-menschenrecht-auf-gesundheit/#:~:text=Bereits%20bei%20Ihrer%20Gr%C3%BCndung%201946,zur%20Gesundheitsversorgung%20erm%C3%B6glicht%20werden%20muss> 27.03.25

Ki-basiertes Hilfsmittel	Einsatzform	Betroffene Teile der Arbeit	Bemerkungen
Quillbot	Grammatikalische Überprüfung	Ganze Arbeit	
ChatGPT	Leitfrage, 13. Prinzip der Green Chemistry	Einleitung Fazit 13. Prinzip	(Prompt: Kannst du mir eine Leitfrage geben zum Thema Green Chemistry im Bezug auf genetisch modifizierte Pflanzen im Bezug auf Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit) (Prompt: kannst du mir politische Prinzipien geben, die im Bezug der Gentechnik anwenden kann)

Ich versichere, dass ich die vorgelegte Facharbeit ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Ich bestätige ausdrücklich, Zitate und Quellenangaben mit größter Sorgfalt in der vorgeschriebenen Art und Weise kenntlich gemacht zu haben. Alle im Hinblick auf die Facharbeit genutzten Internetquellen oder digitalen Dokumente sowie eine Kopie der Facharbeit habe ich auf den beiliegenden CD-ROM ordnungsgemäß gespeichert.
