

# Klimawandel

---

# Warum

---

# Genomeditierung

---

# keine

---

# Lösung

---

# ist

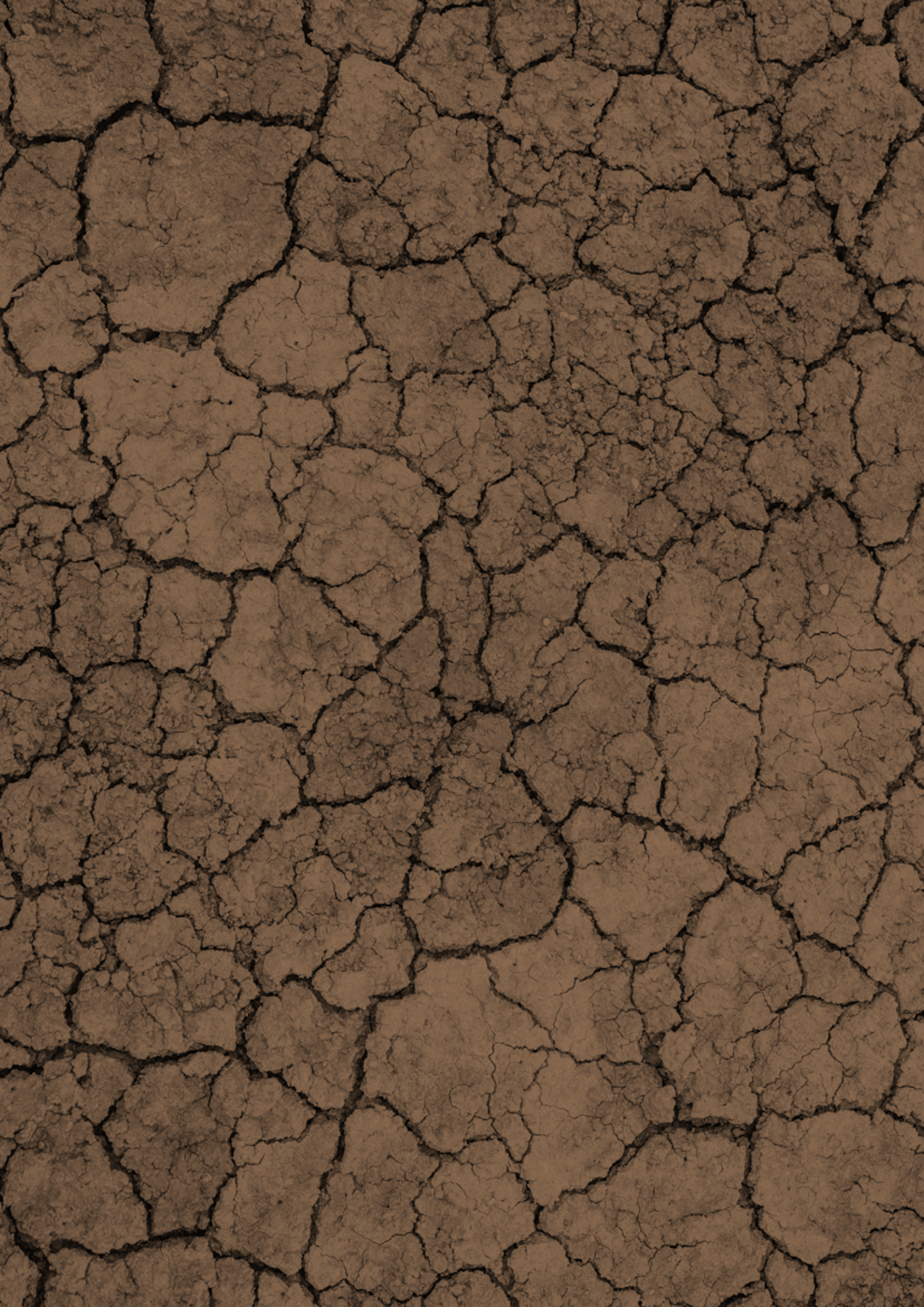
---



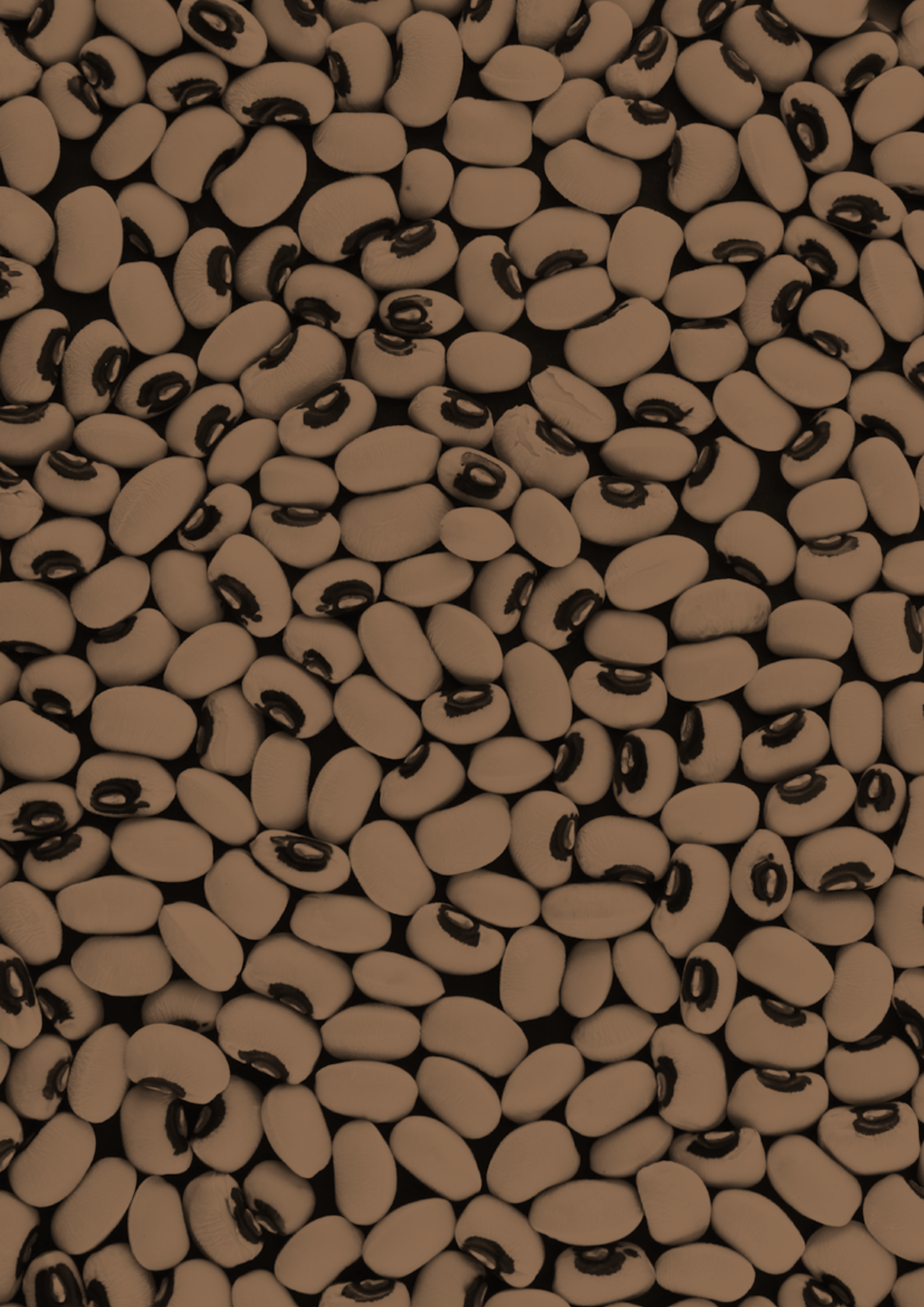
sag

Schweizer  
Allianz  
Gentechfrei









# Klimawandel

---

# Warum

---

# Genomeditierung

---

# keine

---

# Lösung

---

# ist

---

Herausgeberin  
SAG Schweizer Allianz Gentechnikfrei



Die Landwirtschaft ist sowohl Verursacherin als auch Leidtragende des Klimawandels. Sie ist, besonders durch die intensive Tierhaltung und die damit verbundene Kraftfutterproduktion, für einen erheblichen Teil der klimarelevanten Gasemissionen verantwortlich. Durch ihre Verbundenheit mit der Natur spürt sie gleichzeitig die Auswirkungen der steigenden Durchschnittstemperaturen und der stetig abnehmenden Niederschlagsmengen. Dieser Doppelrolle entsprechend müssen zweispurige Lösungen gefunden werden, die einerseits die negativen Auswirkungen der gängigen landwirtschaftlichen Praxis mindern und andererseits die Produktion an die negativen Konsequenzen des Klimawandels anpassen.

Da diese Rollen abhängig voneinander sind, können die damit verbundenen Probleme durch eine gesamtheitliche Betrachtung der landwirtschaftlichen Produktionskette am effektivsten angegangen werden. Anstatt nach systemgebundenen, nachhaltigen Lösungen zu suchen, setzt die Agrarindustrie auf gewinnorientierte Marktprozesse und Technologien wie die Gentechnologie und preist diese als Alleskönner an. Dabei werden lediglich diverse Teilprobleme angegangen und dies auch nur kurzfristig. Langfristige Auswirkungen des Einsatzes dieser Technologien auf das Klima und die Natur werden kaum berücksichtigt, denn die Industrie hat an einer solchen Risikoforschung keinerlei Interesse. Ähnlich wie sie es vor zehn Jahren für die Produkte der klassischen Gentechnik getan hat, wirbt die Gentechlobby nun für genomeditierte Pflanzen und Tiere und stellt diese als Antwort auf die gravierendsten Umweltprobleme der Gegenwart dar. Doch so wie transgene Orga-



nismen sich nicht als Rettungsmassnahme bewährt haben, bieten auch die neuen gentechnischen Verfahren keine nachhaltige Lösung für die Herausforderungen des Klimawandels. Die Genomeditierung ist lediglich eine eingleisige Antwort auf die Probleme, welche die intensive Landwirtschaft verursacht. Das Ziel: den auf Leistung und Ertrag fokussierten Anbau unverändert weitertreiben zu können. Anstatt das Problem an den Wurzeln zu packen, behandelt die Agrarindustrie nur Symptome und fördert eine weitere Intensivierung mit Massentierhaltung und Monokulturen. Dadurch schwindet die Diversität – der angebauten Sorten, der Anbautypen und der Wildarten –, welche die wichtigste Grundlage für anpassungsfähige landwirtschaftliche Systeme ist. Ansätze zur Verlangsamung des Klimawandels, die grosse Landflächen brauchen, sind nach Einschätzung des Klimarates IPCC nicht nachhaltig. Zudem führt die Konkurrenz um Landflächen zur Verdrängung der kleinbäuerlichen Betriebe, die für die Welternährung so wichtig sind.

Agrarökologische Landwirtschaftstechniken sind die bessere Option, um die Ernährungssicherheit der Menschen auch vor dem Hintergrund des Klimawandels zu gewährleisten. Im Gegensatz zur Gentechnologie ist Agrarökologie kein Werkzeugkasten, sondern ein ganzheitlicher, interdisziplinärer Ansatz, welcher auf die praktische Zusammenarbeit von Wissenschaft, Bäuerinnen und Bauern und sozialen Bewegungen basiert. Die meisten der über 500 Millionen Kleinbauernfamilien, welche 80 Prozent aller weltweit konsumierten Lebensmittel produzieren, folgen diesem Ansatz<sup>1</sup>. Weitverbreitet und seit Jahrzehnten auf den Feldern praktiziert, sind



agrarökologische Methoden besonders zukunftsfähig, denn sie erhöhen die Anpassungsfähigkeit an den Klimawandel<sup>2</sup>. Die Grundlage der Agrarökologie bildet die vielfältige, an die regionalen Gegebenheiten angepasste lokale Produktion. Solche Anbausysteme schaffen gute Voraussetzungen, um dem Klimawandel die Stirn zu bieten und effektive Lösungen für die Welternährung zu finden<sup>2</sup>. Eine verbesserte Bodengesundheit trägt durch das Speichern von Wasser und Kohlenstoff zum Klimaschutz bei. Allein durch die Wiederherstellung des vorindustriellen Zustandes der Böden könnten 30 bis 40 Prozent des heutigen CO<sub>2</sub>-Überschusses in der Atmosphäre eingefangen werden<sup>3</sup>. Durch den geringeren Einsatz von synthetischen und organischen Düngemitteln lassen sich klimaschädliche Emissionen weiter reduzieren<sup>4</sup>. Mehr Biodiversität und Diversität in den Landwirtschaftssystemen führen zu einer widerstandsfähigeren Produktion. Auch die Agroforstwirtschaft, welche Elemente des Ackerbaus mit solchen der Forstwirtschaft kombiniert, birgt ein grosses Potenzial für den Klimaschutz, etwa durch die bessere Nutzung der vorhandenen Ressourcen durch das Begünstigen eines ertragssteigernden Mikroklimas.

Die Dringlichkeit der Abkehr von der auf die gesteigerte Produktion von Nahrungsmitteln fokussierten industriellen Landwirtschaft haben nicht nur internationale Initiativen (z.B. die Initiative «4 per 1000»<sup>4</sup> sondern auch die Welternährungsorganisation FAO erkannt. Letztere hat 2018 die wichtigsten agrarökologische Leitlinien<sup>5</sup> sowie ein Umsetzungsprogramm formuliert<sup>6</sup>.



# Kapitel 1

---

## Produktionssysteme

---

## an die Folgen

---

## des Klimawandels

---

## anpassen

---

- S. 13 Ertragseinbussen wegen zunehmender Wetterextreme und der Verbreitung neuer Schädlinge und Krankheiten
- S. 14 Das Problem
- S. 15 Mit Genomeditierung zu stresstoleranten und robusten Pflanzen?
- S. 17 Warum Genomeditierung keine Lösung ist
- S. 20 Zielführendere Alternativen zur Genomeditierung



# Kapitel 2

---

## Klimaschädigende Auswirkungen der Landwirtschaft mindern

---

S. 25      Woher stammen Treibhausgase  
in der Landwirtschaft?

### Methan

S. 26      Das Problem

S. 27      Mit Genomeditierung gegen Methanemissionen

S. 28      Warum Genomeditierung keine Lösung ist

S. 29      Zielführende Alternativen zur Genomeditierung

### Lachgas

S. 31      Das Problem

S. 32      Mit Genomeditierung gegen Lachgasemissionen

S. 33      Warum Genomeditierung keine Lösung ist

S. 35      Zielführende Alternativen zur Genomeditierung

### Kohlendioxid

S. 38      Das Problem

S. 39      Mit Genomeditierung gegen CO<sub>2</sub>-Emissionen

S. 40      Warum Genomeditierung keine Lösung ist

S. 42      Zielführende Alternativen zur Genomeditierung





Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.

Made in Bulgaria  
AMMONIUM NITRATE 34% PERLE  
1000 K.G.







# Kapitel 1

---

## Produktionssysteme an die Folgen des Klimawandels anpassen

---

# Ertragseinbussen wegen zunehmender Wetterextreme und der Verbreitung neuer Schädlinge und Krankheiten

Die Veränderung des Klimas bringt weltweit zahlreiche negative Folgen mit sich. Diese sind auch in den gemässigten Zonen zu spüren. Neben einigen wenigen positiven Auswirkungen, wie längere Vegetationsperioden, welche die Möglichkeit bieten, die Anbauzeiten auszuweiten oder neue Kulturen anzubauen, überwiegen auch hier die negativen Effekte. Es wird beispielsweise prognostiziert, dass Dürresommer in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts auch in Mitteleuropa stark zunehmen und weitere 40 Millionen Hektaren Agrarflächen betroffen werden.<sup>7</sup> Unter anderem bedeutet dies, dass Kulturen wie Kartoffeln, die bisher ohne zusätzliches Wasser auskamen, künftig bewässert werden müssen. Doch besonders schwer treffen die negativen Auswirkungen des Klimawandels, bspw. Ertragseinbussen, südliche Entwicklungsländer, welche über geringe Adaptationsmöglichkeiten verfügen.<sup>8,9</sup>

Die Ertragssicherheit wird durch Faktoren wie einen erhöhten Schädlingsdruck, mildere Winter, extreme Wetterbedingungen oder die Verknappung von Wasser gemindert. Klar ist, dass für die Bewältigung solcher zukünftiger Herausforderungen dringend Lösungen benötigt werden. Diese sieht die Agrarindustrie in erster Linie in der Gentechnik. Gentechnische «Verbesserungen» sollen die Züchtung widerstandsfähiger, krankheitsresistenter und stresstoleranter Pflanzen beschleunigen. Auch sollen sie zur nachhaltigen Erhöhung des Angebots an Lebensmitteln und anderen landwirtschaftlichen Produkten beitragen und dadurch die Ernährungssicherheit verbessern.

Doch die neuen Gentechorganismen werden im Kontext und in der Logik der industrialisierten Landwirtschaft entwickelt. Dies hat Folgen. Denn einerseits lässt diese marktorientierte Denkweise die Abhängigkeit der LandwirtInnen

vom patentierten Saatgut einiger weniger Konzerne weiter wachsen. Andererseits hat sich ein Herumschrauben an einigen für wichtig erachteten Schaltstellen im Genom – unabhängig vom Präzisionsgrad der dazu verwendeten Verfahren – sehr oft als schädlich für den Gesamtorganismus erwiesen. Anstatt wenige genomeditierte Kulturpflanzensorten, die auf grossen Flächen angebaut werden, braucht es einen Systemwechsel, welcher die Widerstandsfähigkeit der Kulturen nachhaltig erhöht.



# Wetterextreme, Schädlinge und Krankheiten

## Das Problem

---

---

Der Klimawandel stellt die Landwirtschaft vor eine beispiellose Herausforderung. Die Anreicherung von Treibhausgasen in der Atmosphäre verursacht vielfältige, stetig fortschreitende Veränderungen im Klimasystem. Der Wissenschaft zufolge ist dadurch eine Zunahme von Wetterextremen zu erwarten. Modellrechnungen zeigen, dass die globale Mitteltemperatur weiter steigen wird.<sup>10,11</sup> Perioden von extremer Hitze und Trockenheit sollen häufiger werden und länger anhalten.<sup>7</sup> In den Entwicklungsländern beliefen sich die von den Dürreperioden zwischen 2005 und 2015 verursachten direkten Verluste in der Landwirtschaft auf 29 Milliarden US-Dollar.<sup>12</sup> Zudem werden mehr als 70 Prozent des weltweit verfügbaren Süßwassers bereits für die Bewässerung von landwirtschaftlichen Flächen verwendet.<sup>13</sup>

Dürre ist jedoch nur eine der negativen Auswirkungen der Veränderungen im Klimasystem. Auch Wetterereignisse wie heftige Stürme, Starkniederschläge und daraus folgende Überschwemmungen sollen mit zunehmender Häufigkeit auftreten – sowohl in den mittleren Breiten als auch in feuchten tropischen Regionen. Des Weiteren wächst die Landfläche, auf welcher nur noch salztolerante Kulturpflanzen gedeihen können. Der Weltklimarat prognostiziert 1 Meter Meeresspiegelanstieg bis 2100.<sup>14</sup> Bereits die Hälfte wird dazu führen, dass etwa 2 Millionen Hektar Land mit Salzwasser überschwemmt werden. Davon ist vor allem der Reisanbau betroffen. In entwickelten Ländern ist es die intensive Landwirtschaft, die den Salzgehalt des Bodens erhöht.

Diese Extremereignisse verursachen Boden-erosion, Wüstenbildung und Versalzung, was zu Ernteeinbußen führt und die globale Nahrungsmittelproduktion gefährdet. Biotechnologiefirmen suggerieren, dass die Nahrungsmittelproduktion nur mit dem Einsatz neuer Gentechnologien effektiv maximiert werden kann, mit dem Ziel, die wachsende

Weltbevölkerung ernähren zu können.<sup>15</sup> Fest steht, dass das gängige Anbausystem den neuen Herausforderungen angepasst werden muss. Zielführender sind allerdings viele andere, systemorientierte Ansätze, die nicht auf gentechnischen Veränderungen basieren. Von den prognostizierten steigenden Durchschnittstemperaturen profitieren Schadinsekten aus wärmeren Gebieten. Diese werden bisherige geografische Barrieren überwinden, sich künftig auch in den gemäßigten Zonen leichter vermehren können und sich somit zu invasiven Arten entwickeln. Es ist auch zu erwarten, dass sich neue Pflanzenkrankheiten rascher ausbreiten und auch dort die Ernte bedrohen, wo sie bisher nicht vorgekommen sind.<sup>16,17,18</sup>

# Wetterextreme, Schädlinge und Krankheiten

---

## Mit Genomeditierung zu stresstoleranten und robusten Pflanzen?

---

Genomeditierung gegen abiotischen Stress  
Eine Antwort auf diese Herausforderungen sieht die Agrarindustrie vor allem in der Herstellung genomeditierter Pflanzensorten, die tolerant gegenüber abiotischen Belastungen sind und auch unter solchen Bedingungen höhere Erträge bringen. Die Genomeditierung soll hier laut ihren Befürwortern Vorteile gegenüber der konventionellen Züchtung bringen – vor allem wegen ihrer schnellen Einsatzbarkeit und der propagierten Genauigkeit.

Die Versprechen sind keineswegs neu. Bereits vor 20 Jahren versprach die klassische Gentechnik der Welt Pflanzen, die Dürreperioden ohne Schäden überstehen und auch bei Trockenheitsstress hohe Erträge sichern. Dass dies keine befriedigenden Ergebnisse brachte, hängt damit zusammen, dass Trockenheitstoleranz ein komplexes Merkmal ist. Pflanzen haben unterschiedliche Strategien entwickelt, um mit der Trockenheit umzugehen. Diese Strategien werden durch ein ineinandergreifendes Netzwerk genetischer Funktionen reguliert. Wird das Wasser knapp, muss sich die Pflanze auf das Überleben fokussieren und alle anderen, nicht überlebenswichtigen Funktionen, wie z.B. Wachstum oder Samenproduktion, pausieren. Wegen dieser Kompromisse zwischen Stressabwehr und Ertrag konnte die klassische Gentechnik keine Erfolge bei der Herstellung trockenheitstoleranter Pflanzen vorweisen. Denn eine gentechnisch eingebrachte Trockenheitstoleranz hatte meistens Ertragseinbußen zur Folge. Folgte auf die niederschlagsarme Periode eine kühle, regnerische Zeit, hat die gentechnische Veränderung den Ertrag zusätzlich negativ beeinflusst.<sup>19</sup>

Biotechniker hoffen nun, diese miteinander verknüpften genetischen Prozesse voneinander trennen zu können und mittels neuer Gentechnikverfahren gleichzeitig an mehreren Stellen in den genetischen Hintergrund der Trockenheitstoleranz eingreifen zu können. In

der Modellpflanze *Arabidopsis* wurden bereits zahlreiche Merkmale identifiziert, die für eine Reaktion bei Wassermangel relevant sind: u.a. eine frühe Blütezeit, die Anzahl und die genetische Regulation der für die Verdunstung verantwortlichen Spaltöffnungen, die Produktion der Cuticula, einer wachsartigen Schutzschicht gegen Wasserverlust, die biochemischen Pfade der Kohlenstoffallokation sowie die Wurzelarchitektur. Mehrere dieser Eigenschaften könnten laut Biotechnikfachleuten mithilfe der Genschere theoretisch auch in den wichtigsten Kulturpflanzen simultan angepasst werden und dies sogar ohne dass dieses Herumschneiden einen Einfluss auf den Ertrag habe.

Bei Maispflanzen wird versucht, die Empfindlichkeit gegenüber dem pflanzlichen Hormon Ethylen zu reduzieren.<sup>20</sup> Ethylen spielt eine wichtige Rolle bei der Reaktionsweise der Pflanzen auf abiotischen Stress, wie Wassermangel oder hohe Temperaturen. Unter anderem hemmt das Hormon die Zellteilung und die Zellexpansion. Ein höherer Ertrag bei Trockenheit kann erreicht werden, indem die Ethylenproduktion gedrosselt oder die Empfindlichkeit der Pflanze auf das Phytohormon verringert wird.

Die reduzierte Sensitivität ist auf die verstärkte Aktivität der sogenannten ARGOS-Gene zurückzuführen. Zeigen diese Gene jedoch eine dauerhaft erhöhte Aktivität, führt dies zu Ertragseinbußen bei optimalen Anbaubedingungen. Deshalb versuchen WissenschaftlerInnen die Regionen des Genoms, welche die Expression der ARGOS-Gene steuern, mittels CRISPR/Cas so zu verändern, dass nur eine mässige Expression erreicht wird. Dadurch soll es auch bei optimalen Bedingungen keine Einbußen geben.<sup>20</sup>

Parallel zu den Forschungen zur Trockenheitstoleranz arbeiten BiotechnikerInnen auch daran, die Salztoleranz der gängigsten



Hochertragssorten bei Reis zu erhöhen.<sup>21</sup> Würde dies gelingen, wäre der kosteneffektivste und umweltfreundlichste Ansatz zur Kontrolle des Salzgehalts des Bodens gefunden, argumentieren sie.

Genomeditierung gegen neue Pathogene und Schädlinge Die Genomeditierung bietet sich auch zur schnellen Einführung von Resistenzgenen in wichtigen Kulturarten an, um diese gegen neu auftretende Krankheiten zu schützen. Die Methode wird an verbreiteten Krankheiten bereits getestet. So wird versucht, die Maniokpflanze – ein stärkehaltiges Wurzelgemüse, das in Südamerika, Afrika und Asien ein Grundnahrungsmittel ist – resistent gegen ein Mosaikvirus zu machen,<sup>22</sup> welches derzeit 20 Prozent der Ernte zerstört.<sup>23</sup>

Um invasiven Schädlingen den Garaus zu machen, wird an einer besonders gefährlichen Anwendung der Genschere getüftelt. Die sogenannten Gene Drives nutzen die Genschere, um eine künstlich zugefügte Eigenschaft bei der Fortpflanzung in alle Nachkommen einzukopieren.<sup>24</sup> Die so veränderten Erbgutabschnitte werden erzwungenermaßen zu 100 Prozent an alle Nachkommen weitervererbt – und dies auch, wenn sie für das Individuum unvorteilhaft sind. Mit Gene Drives wird versucht, die Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) zu bekämpfen, ein aus Asien stammendes Insekt, das neuerdings auch in Europa bei Beeren und Früchte massive Ernteaufschläge verursacht. Neben der Kirschessigfliege stehen über ein Dutzend andere Insektenarten im Visier der Gentechnikforschung.<sup>24</sup>

# Wetterextreme, Schädlinge und Krankheiten

---

## Warum Genomeditierung keine Lösung ist

---

### Grund 1

Der Ertrag auf Kleinparzellen ist nicht  
gleich dem Ertrag im grossflächigen Anbau

Die aufgeführten Beispiele zeigen, dass die Agrarindustrie sich bei der Entwicklung stress-toleranter Pflanzen vor allem auf einen hohen Ertrag fokussiert. Ertrag ist jedoch nur eines der wichtigen Merkmale, die eine Sorte auszeichnen.

Die Eingriffe im Labor sowie die Messungen im Gewächshaus basieren auf stark vereinfachten Modellen. Das Grundprinzip: Den Pflanzen wird meistens das Wasser für eine lange Zeit entzogen, danach werden sie wieder reichlich bewässert. Bei den Erfolgsmessungen steht der Einfluss auf den Ertrag im Vordergrund. Wichtige Faktoren wie die Bodenfeuchtigkeit oder die pflanzliche Biomasse werden oft nicht berücksichtigt.<sup>19</sup> Auch die Feldversuche sind oft oberflächlich und mangelhaft angelegt. Die Anbaupraktiken werden stark standardisiert und die Versuche in einem räumlich und zeitlich begrenzten Rahmen durchgeführt.<sup>25,26</sup> Wie eine Sorte auf Feldern mit unterschiedlichen Boden- und klimatischen Bedingungen reagieren wird, lässt sich daraus nur sehr beschränkt ableiten. Dies kann – wie es die Erfahrung bei der klassischen Gentechnik bereits gezeigt hat – verheerende Folgen für die LandwirtInnen haben, die in das teure Gentechsaatgut und die damit verknüpften Pflanzenschutz- und Düngemittel investieren. Werden die neuen gentechnischen Verfahren aus dem Geltungsbereich des Gentechnikgesetzes herausgenommen, werden die neuen Sorten schnell auf dem Markt landen – ohne dass man weiss, welche Leistung sie unter unterschiedlichen Feldbedingungen erbringen werden oder welche Risiken sie bergen.

### Grund 2

Eine Pflanze ist nicht gleich der Summe  
ihrer Bausteine

Der Erfolg des Unterfangens trockenheits- und salztolerante Pflanzen oder solche mit einem höheren Ertrag mittels Genomeditierung herzustellen, ist fraglich. Denn dies sind polygene Eigenschaften, d.h. sie werden von mehreren – oft weit über hundert – Genen gesteuert.<sup>27</sup> Dabei hat jedes Gen einen kleinen Effekt auf die Ausprägung des Merkmals: Es ist die Summe dieser Effekte, die schlussendlich das Merkmal bestimmt.<sup>28</sup> Zusätzlich ist die Ausprägung des Merkmals auch vom Zusammenspiel von Genom und Umwelt stark abhängig. Dieses komplexe Netzwerk genetischer Funktionen lässt sich mit den punktuellen Eingriffen der Genomeditierung nicht reproduzieren. Auch nicht, wenn gleichzeitig mehrere davon ausgeführt werden (sog. Multiplexing). Beim Multiplexing erhöht sich zudem das Risiko, dass auch andere Prozesse beeinträchtigt werden, um ein Vielfaches. Denn die Merkmale, welche die Stress-toleranz beeinflussen, sind weder voneinander noch von anderen Eigenschaften des Organismus unabhängig. Lebewesen lassen sich nicht nach dem Baukastenprinzip verändern. Mit anderen Worten: Hier und dort etwas an einer Hochleistungssorte herumzuschrauben, um sie trockenheitstoleranter zu machen, geht nicht ohne Folgen. Ein Eingriff ins Genom, sei er noch so klein und präzise, hat praktisch immer Auswirkungen auf weitere grundlegende pflanzenphysiologische Prozesse.<sup>29, 30, 31</sup>

Auch bei einer Ertragssteigerung mittels Genomeditierung sind unerwünschte Veränderungen zu erwarten, welche sich auf andere Eigenschaften auswirken.<sup>30</sup> Diese bleiben jedoch oft unentdeckt. Denn ob der gentechnische Eingriff auf einer anderen Ebene negative Nebeneffekte hervorruft, ist für die Industrie nebensächlich und wird dementsprechend auch kaum untersucht.



Angesichts all dieser Unsicherheiten ist der Fokus auf die Ausstattung der weit verbreiteten, überzüchteten Hochleistungssorten mit zusätzlichen Toleranzgenen grundsätzlich der falsche Weg.

### Grund 3

#### Auf wenigen Genen basierende Resistenzen sind nicht dauerhaft

Praktisch alle Forschungsprojekte, welche die neue Gentechnik einsetzen, um Pflanzen (oder Tiere) krankheitsresistent zu machen, beruhen auf der Veränderung oder dem Hinzufügen einiger weniger Gene. Wie Stresstoleranz oder Ertrag werden dauerhafte Resistenzen aber von vielen Genen bestimmt. Monogene – von einem oder nur wenigen Genen bestimmte – Resistenzen sind in der Regel instabil.<sup>28</sup> Sorten mit einer monogenen Resistenz werden nach einiger Zeit wieder krankheitsanfällig. Der Grund dafür: Den virulentesten Varianten der Erreger wird damit ein ständiger Selektionsvorteil verschafft, weshalb sie mit der Zeit in ihrer Häufigkeit stark zunehmen. Die Resistenz «bricht zusammen». Das Gleiche gilt für Insektengiftproduzierende Pflanzen. Auch hier dauert es nicht lange, bis sich veränderte Schädlinge ausbreiten, denen das von der modifizierten Pflanze erzeugte Toxin nichts mehr anhaben kann. Auch dann nicht, wenn die Pflanze mehrere Toxinvarianten gleichzeitig produziert.<sup>32,33</sup> Bei der klassischen Gentechnik gibt es dafür zahlreiche tragische Beispiele, welche bis heute etliche Agrarbetriebe in den Ruin getrieben haben.<sup>34</sup> Die einzige Neuerung, welche die neue Gentechnik in dieser Hinsicht bringt, besteht darin, dass die gewünschten Gene nun schneller hinzugefügt werden können. Am alten Prinzip ändert sich jedoch nichts, weswegen früher oder später auch hier erhebliche Rückschläge zu erwarten sind.

Ein weiterer Haken besteht darin, dass es sich bei den Pflanzen, welche die BiotechnologInnen

im Auftrag der Agrarindustrie mit einzelnen Resistenzgenen auszustatten versuchen, meistens um hochgezüchtete Sorten handelt, die genetisch verarmt und daher schwach und auf chemische Schutzmittel angewiesen sind.<sup>35</sup> Ein extremes Beispiel dafür ist die bei uns verkaufte Banane. Bei der für den Frischkonsum bestimmten Banane wird weltweit nur eine einzige Sorte angebaut – meist in riesigen Monokulturen.<sup>36</sup> Wird diese Sorte durch einen Pilz bedroht, wie dies aktuell der Fall ist, kann ein Rumbasteln mit CRISPR/Cas zu keiner tragfähigen Lösung führen. Solche fragilen Konstrukte und Systeme lassen sich nicht durch das Einfügen einiger weniger Gene retten. Ein einzelnes, unabhängig vom Kontext der Erbinformation hinzugefügtes Gen kann – egal wie schnell es eingebaut wird – die verlorene genetische Vielfalt nicht kompensieren und bietet folglich nur einen kurzfristigen Schutz. Zu den unerwünschten Nebeneffekten solcher mittels Genshere eingefügten Resistenzen gibt es bislang noch wenige Angaben. Doch der Eingriff ins Erbgut kann durchaus ernsthafte negative Folgen haben, wie das Beispiel einer genomeditierten Manioksorte beweist. Dort führte der Einsatz der CRISPR-Technologie zur Entstehung neuer mutierter Viren, die eine Gefahr für den gesamten Maniokanbau darstellen könnten.<sup>22</sup>

### Grund 4

#### Vorgegebene Reaktionsmuster

Wären die in Folge des Klimawandels auftretenden Wetterereignisse – zum Beispiel Trockenheitsperioden – vorhersehbar, wäre es noch vorstellbar, dass ein schnell eingebrachtes Technofix die Toleranz der Pflanze erhöhen würde. Dem ist jedoch nicht so. Denn gerade die Unkalkulierbarkeit, mit der verschiedene Wetterereignisse auftreten, zeichnet diese aus. Mal folgt auf einen sehr nassen Winter ein langer Dürresommer, mal ist die Wasserversorgung auch in der Winterzeit knapp oder auf eine Trockenheitsperiode folgt eine Überflutung. In

jedem dieser Fälle muss die Pflanze sich anpassen und anders reagieren.<sup>37</sup> Diese Anpassungsfähigkeit kann kein einheitliches, gentechnisch eingebrachtes Programm ermöglichen.

Eine weitere Problematik ist die entstehende Abhängigkeit der LandwirtInnen von Gentechsaatgut. Das patentgeschützte Saatgut muss jedes Jahr neu gekauft werden. Ob und wie lange Trockenperioden zu befürchten sind, ist nicht unvorhersehbar, und der Nutzen der mittels Genschere eingebrachten Veränderung je nach Dauer und Art dieser Perioden ist zweifelhaft. Es stellt sich also die Frage, ob sich angesichts so vieler Unsicherheitsfaktoren der Kauf des teuren Gentechsaatguts lohnt.

#### Grund 5

---

Gene Drives – einmal in die Natur

---

freigesetzt, nicht mehr rückholbar

---

Forschungen mit Gene-Drive-Insekten sind bereits in einem fortgeschrittenen Stadium.<sup>24</sup> Dies ist besorgniserregend, da zurzeit kein international anerkanntes Verfahren zur Prüfung der Risiken einer Freisetzung existiert. Ist ein Gene-Drive-Organismus einmal freigesetzt, ist es beinahe unmöglich, dessen Einflüsse auf das Ökosystem zu kontrollieren oder rückgängig zu machen. Die gentechnische Veränderung könnten auf Wildarten übertragen werden und stellen somit eine erhebliche Gefahr für die Biodiversität dar.<sup>38</sup>

Angesichts dieser Gefahren muss genauestens abgewogen werden, ob der Einsatz der Gene-Drive-Technologie verantwortbar ist, solange unklar ist, ob und wie die Technologie ihre Wirkung in natürlichen Ökosystemen entfaltet. Denn die Effizienz der Technik ist von vielen Faktoren abhängig. Dazu zählen die Populationsdynamik eines Schädlings und die häufig beobachtete Resistenzbildung gegen den Gene-Drive-Mechanismus.<sup>24</sup>

# Wetterextreme, Schädlinge und Krankheiten

## Zielführendere Alternativen zur Genomeditierung

### Alternative 1

#### Breitgestützte Anpassungsfähigkeit dank Vielfalt

Die wichtigste Voraussetzung für eine mögliche Anpassungsfähigkeit der Natur ist Vielfalt: sowohl genetische Vielfalt als auch Sortendiversität und Diversität in den Landwirtschaftssystemen. Die Biodiversität bietet Schutz vor den negativen Folgen der Klimaänderung.<sup>39</sup> Denn Vielfalt ist die Grundlage der Züchtung aber auch resilienten Agrarökosysteme. Längerfristig stabile Erträge sind nur dann möglich, wenn die Agrarökosysteme in einem guten Zustand sind. Mit anderen Worten: Es genügt nicht, isolierte Gensequenzen einer Spezies zu verändern. Für eine erhöhte Widerstandsfähigkeit muss man stattdessen auf die bestehende genetische Vielfalt aufbauen und das gesamte System als Ganzes anpassen.

Für den Sorten- und Artenschwund ist zu einem grossen Teil die intensive Landwirtschaft verantwortlich. Die grossflächigen, mit Herbiziden behandelten Monokulturen, auf denen nur eine Sorte kultiviert wird, bieten keinen Raum für Diversität. Doch Vielfalt wird nicht nur in den Feldern selbst verdrängt, ein vermehrter Artenschwund macht sich auch in den angrenzenden natürlichen Lebensräumen verstärkt bemerkbar.<sup>40</sup> Nimmt diese Vielfalt auch in diesen Pufferzonen mit wichtigen Ökosystemfunktionen weiterhin im gleichen Tempo ab, werden die negativen Folgen der Unberechenbarkeit der Wetterereignissen umso drastischer ausfallen.

Zudem schrumpfte mit dem Aufkommen der Hochleistungssorten seit den 1950er-Jahren die Anzahl der Nutzpflanzen, auf welchen unsere Ernährung basiert von mehreren tausend auf eine gute Handvoll.<sup>41</sup> Denn für die Agrarindustrie lohnte sich ökonomisch bedingt die Entwicklung diverser Sorten nur für diese Hauptkulturen, was zu dem gleichzeitigen Verarmen

der Diversität der angebauten Arten und Sorten führte. Ein beängstigendes Bild. Mit mehr Diversifizierung liessen sich jedoch die Risiken des Klimawandels besser abfedern und genug Nahrung sicherstellen. Die genetische sowie die Arten- und Sortenvielfalt sichert die Anpassungsfähigkeit. In diversen biologischen Systemen ist es wahrscheinlicher, resistente Arten oder Individuen vorzufinden, die dank ihrem genetischen Hintergrund mit den neuen Umweltbedingungen besser klarkommen. Diverse Systeme – sei es dank Sorten- oder Artenreichtum oder genetische Diversität – sind widerstandsfähiger gegenüber Wetterextremen, Krankheiten oder invasiven Arten.

Theoretisch wäre die Auswahl an Nutzpflanzen immer noch gross – es gäbe mehrere zehntausend als Nahrungsmittel geeignete Wildpflanzen und lokal angepasste traditionelle Landsorten.<sup>41</sup>

Toleranz und Resistenz gegenüber Hitze und Trockenheit ebenso wie Schädlingsresistenzen werden bei der Wahl der Kulturen und Sorten in der Zukunft vermehrt eine Rolle spielen. Nutzpflanzen, welche bisher auf dem Weltmarkt und in der Forschung eine untergeordnete Rolle spielten – die sogenannten orphan crops oder Waisenpflanzen – bergen viel Potenzial.<sup>42</sup> Pflanzen wie Hirse, Amarant oder Okra, um nur die bekanntesten zu nennen, bleiben heute im Schatten der wichtigsten vier Kulturen: Weizen, Mais, Reis und Soja – unsere Grundnahrungsmittel. Doch viele Waisenfrüchte sind nicht nur widerstandsfähiger, sondern oft auch reich an gesunden Inhaltsstoffen – und deshalb auch für die Züchtung der Zukunft interessant. Dass sich die Förderung der Züchtung neuer Sorten durchaus lohnt, zeigt das Beispiel von Quinoa – eine vor zehn Jahren in Europa noch völlig unbekannte Pflanze, die mittlerweile auch in Fastfood-Ketten angeboten wird. Von einer sicheren Ernte würden kleine Agrarbetriebe profitieren, und auch das Risiko für Mangelernährung lässt sich senken, wenn eine grössere



Auswahl an Pflanzenarten mit unterschiedlichen Nährstoffen zur Verfügung steht.

Auch der Rückgriff auf den breitgefächerten Genpool der alten Sorten gilt als sinnvolle Grundlage für die Anpassung an den Klimawandel.<sup>42</sup> Ähnlich wie die Waisenfrüchte, bergen alte Landsorten viele wertvolle genetische Eigenschaften, die bei den modernen Hochleistungssorten fehlen, etwa Resistenzen gegen Erreger und Schädlinge oder abiotischen Stress.<sup>44,45</sup> Zudem stellen sie, im Gegensatz zu ihren in Monokulturen angebauten, genetisch uniformen Pendanten, dynamische Populationen mit vielfältigem genetischem Hintergrund dar. Als solche sind sie flexibler und liefern trotz wechselnden Umweltbedingungen auch ohne Chemikalien stabilere Erträge.<sup>46</sup> Es gibt immer mehr Beweise dafür,<sup>47,48,49</sup> dass das mit den alten Landsorten verbundene traditionelle Wissen auch eine wichtige Antwort auf die Herausforderungen des Klimawandels ist.<sup>50</sup> Dieses lokal angepasste Wissen ist auch ein wichtiger Bestandteil der agrarökologischen Lösungsansätze. Dass Landsorten frei vermehrbar sind, ist ein zusätzliches Plus, denn dies ermöglicht die Weiterentwicklung der Pflanze durch die Bauerinnen und Bauern, und sichert deren Unabhängigkeit von den multinationalen Saatgutkonzernen. Für die Entwicklung lokal angepasster, resilienter Sorten sind innovative Züchtungskonzepte gefragt, welche die lokale Bauernschaft miteinbeziehen. Partizipative Projekte wie Citizen Science (Bürgerwissenschaft), bei denen engagierte BürgerInnen einen Teil der wissenschaftlichen Arbeit übernehmen, ermöglichen die Erfassung räumlicher und zeitlicher Umweltvariationen, um klimatische Reaktionen zu charakterisieren und den regionalen Bedürfnissen angepasste Sorten zu entwickeln.<sup>51,52</sup>

gischen Ansätzen oder in der ökologischen Landwirtschaft üblich sind, helfen auf vielfältige Weise den Herausforderungen des Klimawandels standzuhalten.<sup>42,53</sup> Unter anderem lassen sich damit fruchtbare Böden mit einem erhöhten Humusanteil erzeugen. Eine schonende Bodenbearbeitung trägt zur Optimierung des Wasserhaushalts des Bodens bei und bewirkt, dass das Wasser effektiver gespeichert und in trockenen Perioden für die Pflanzen verfügbar gemacht werden kann. Wird der Boden zwischen den Hauptkulturen etwa durch Gründüngung bedeckt, verbessert sich das Bodengefüge. Auch die Verdichtung des Bodens lässt sich so vermeiden. Zudem sind sie für Erosion und Wüstenbildung weniger anfällig.<sup>54</sup>

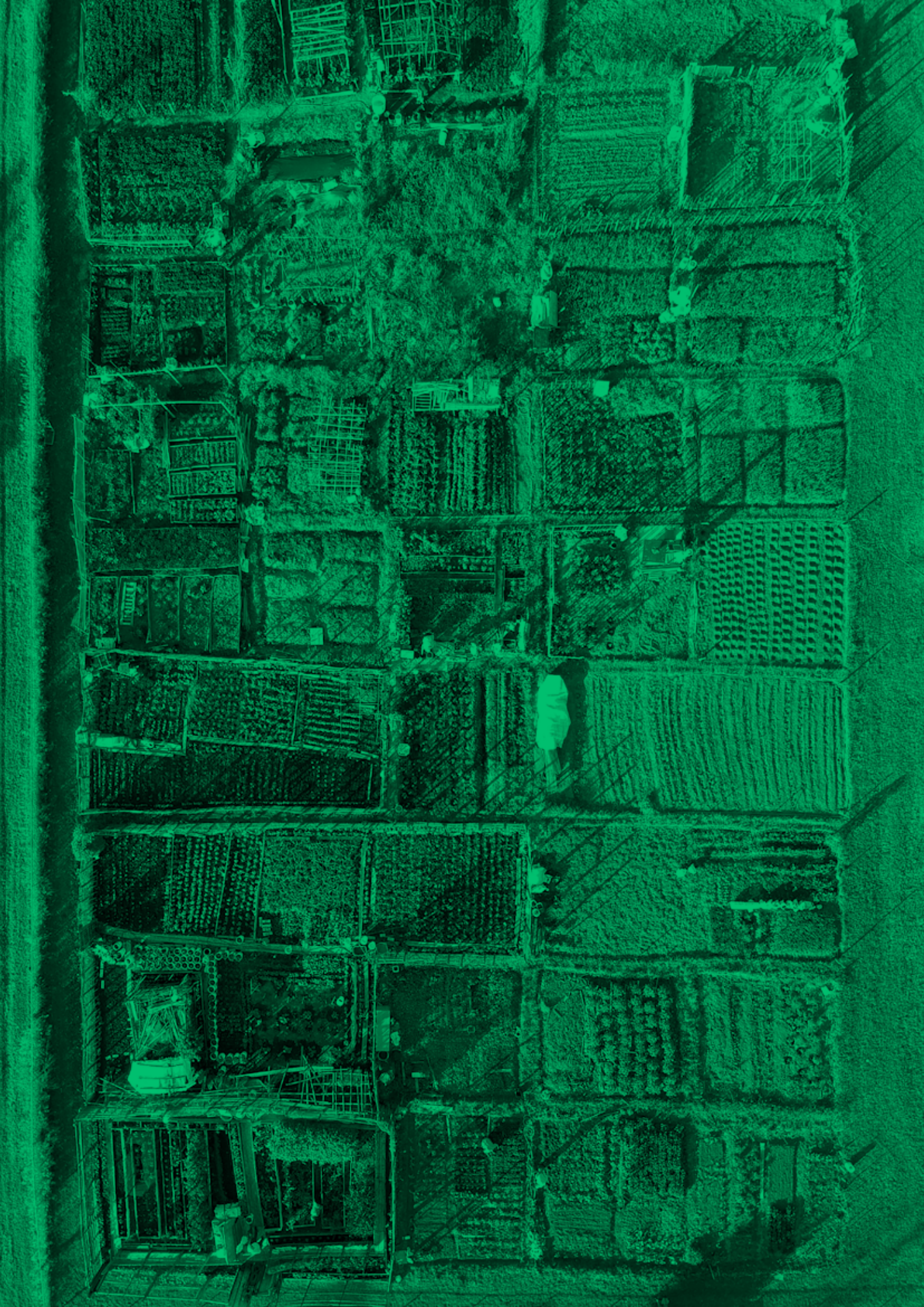
Derartige Massnahmen tragen zur Erhaltung der wichtigen Ökosystemleistungen des Bodens – wie des Nährstoff- und Wasserkreislaufs – bei. Ohne sie kann die Nahrungsmittelproduktion kaum aufrechterhalten geschweige denn gesteigert werden.

## Alternative 2

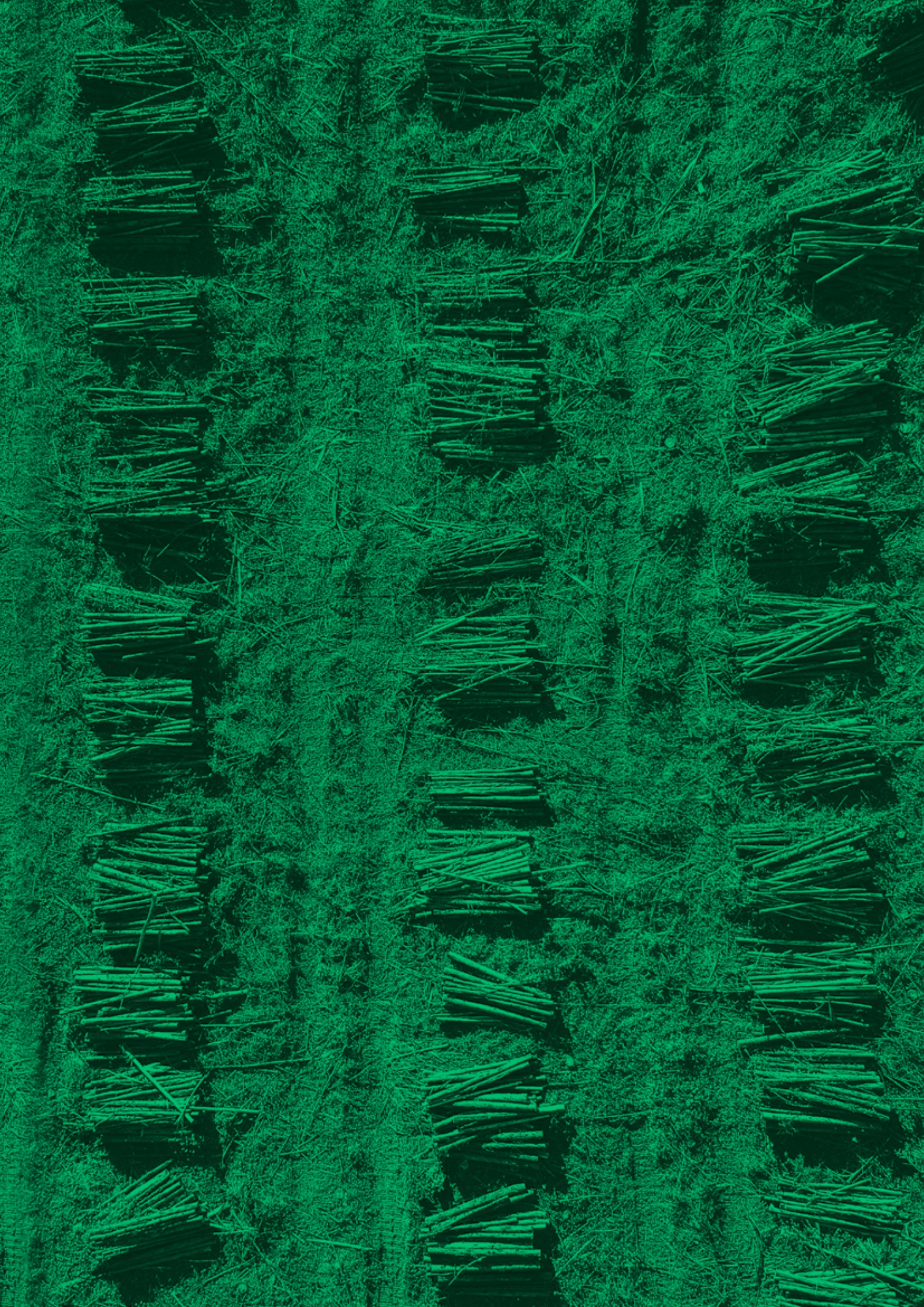
### Bodengesundheit und -bearbeitung

Verbesserte und konservierende Bodenbewirtschaftungspraktiken wie sie bei agrarökolo-











# Kapitel 2

---

Klimaschädigende

---

Auswirkungen

---

der Landwirtschaft

---

mindern

---

# Woher stammen Treibhausgase in der Landwirtschaft?

Weltweit verursachen die Sektoren Land- und Forstwirtschaft 20 bis 25 Prozent der Gesamtheit der klimaschädlichen Emissionen.<sup>55,56,57</sup> In der Schweiz ist die Landwirtschaft für etwa 13 Prozent der gesamten, vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen verantwortlich.<sup>54,58,59</sup> Zu den klimarelevanten Gasen gehören Kohlendioxid, Methan und Lachgas. Moleküle dieser Gase reflektieren die Wärmerückstrahlung der Erdoberfläche, sodass die Wärme auf der Erde festgehalten wird und nicht ins Weltall abgegeben werden kann.

Kohlendioxid ist das bekannteste unter den Treibhausgasen, das durch Energienutzung, Waldzerstörung und durch den Abbau der organischen Bodensubstanz als Folge der Landnutzung freigesetzt wird. Methan und Lachgas haben jedoch einen deutlich höheren Schadeffekt. Der wesentlichste Anteil am Ausstoss dieser beiden Gase ist auf die intensive Tierhaltung und die damit verbundene Kraftfutterproduktion zurückzuführen. So stammt Methan ( $\text{CH}_4$ ) vorwiegend aus der Verdauung der Wiederkäuer, aber zu einem kleineren Teil auch aus der Bewirtschaftung mit Hofdünger.

Bei der Entstehung von Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) spielt die Tierhaltung vor allem indirekt, durch den Anbau von Futterpflanzen eine Rolle, aber auch durch die Ausbringung und Lagerung von Mist und Gülle. Die bedeutendste Quelle der Lachgasemissionen ist die Bodenbewirtschaftung, insbesondere der Abbauprozess bei stickstoffhaltigen Kunstdüngern, die in intensiv bewirtschafteten Monokulturen in grossen Mengen eingesetzt werden. Methan und Lachgas entweichen zudem auch bei der Herstellung von Düngemitteln.<sup>57,60</sup> Die durch die Produktion verursachten klimaschädlichen Emissionen werden jedoch von der Düngerindustrie selbst massiv unterschätzt.<sup>94</sup>

Um eine nachhaltige Antwort auf die klimaschädigenden Auswirkungen des aktuellen

landwirtschaftlichen Systems zu finden, ist es wichtig zu verstehen, dass die verschiedenen Treibhausgase, die bei landwirtschaftlichen Prozessen entstehen, sich gegenseitig beeinflussen und einzelne Elemente miteinander interagieren. Menschliche Eingriffe in dieses System haben folglich komplexe Auswirkungen auf das Klimasystem. So kurbelt beispielsweise die Gabe von Stickstoffdüngern das Wachstum von Pflanzen an, wodurch sie mehr Kohlendioxid aus der Atmosphäre aufnehmen – ein klimaschonender Effekt. Doch die klimaschädliche Wirkung des Lachgases, das aus dem gedüngten Boden freigesetzt wird, übersteigt diesen.<sup>61</sup> Deshalb ist eine gekoppelte Betrachtung der verschiedenen Kreisläufe notwendig, mit anderen Worten, es braucht ein systemorientiertes Denken. Rein technologische Ansätze, die auf extrem vereinfachten Modellen basieren und nur an einzelnen Stellen ins System eingreifen, wie bspw. die Genomeditierung, können dies nicht bieten.

# Methan

---

## Das Problem

---

---

---

---

Eine Kuh produziert jährlich zwischen 70 und 120 Kilogramm Methan.<sup>62,68</sup> Da die negative Auswirkung von Methan auf das Klima ca. 23-mal grösser ist als diejenige von Kohlendioxid, entspricht der Ausstoss von 100 Kilogramm Methan der Menge CO<sub>2</sub>, die durch die Verbrennung von 1000 Litern Benzin entstehen würde, also etwa 2300 Kilogramm. Mit dieser Treibstoffmenge könnte man ungefähr dreimal die Strecke zwischen dem östlichsten zum westlichsten Punkt Europas mit dem Auto befahren. In der Schweiz stammen über 80 Prozent der landesweit freigesetzten Methangase aus der Landwirtschaft, wovon für beinahe 80 Prozent die Tierhaltung, insbesondere die Haltung von Rindvieh, verantwortlich ist.<sup>60</sup>



# Methan

---

## Mit Genomeditierung gegen Methanemissionen?

---

Der Darmtrakt der Rinder beherbergt Tausende verschiedene Mikroorganismen. Nur 3 Prozent davon sind methanbildend.<sup>63,64</sup> Methanbildner sind bakterienähnliche, zellkernlose Winzlinge, die bevorzugt in extremen Umgebungen leben, wie bspw. im Pansen der Wiederkäuer. Diese Mikroorganismen sind in der Lage, aus organischen Substanzen Methan zu erzeugen. Solche Mikroorganismen wollen Forschende gentechnisch so verändern, dass beim Verdauungsprozess weniger Methan produziert wird.<sup>65</sup> Gleichzeitig wird daran geforscht, welche Gene an dem Vererbungsprozess beteiligt sind, der diese Methanbildner begünstigt.<sup>66,67,68</sup> In einem weiteren Schritt sollen auch die Wiederkäuer selbst mit der Genschere «optimiert» werden.<sup>69</sup>

Um die klimaschädigenden Auswirkungen des Fleischkonsums zu reduzieren, ist zudem ein neuer Trend entstanden. Täuschend echt schmeckende Fleischalternativen mit gentechnisch veränderten Zusätzen sollen die Methanemissionen drosseln. So etwa der Impossible Burger, dem Leghämoglobin die fleischtypische rote Farbe verleiht. Dieses Protein stammt ursprünglich aus Sojawurzeln und ähnelt dem menschlichen Hämoglobin. Für die industrielle Verwendung wird es mittels gentechnisch veränderter Hefepilze hergestellt, da dies billiger ist. Laut einer vom international führenden Schweizer Beratungsunternehmen Quantis erstellten Lebenszyklusanalyse (LCA)<sup>70</sup> sollen bei der Herstellung des Impossible Burger 89 Prozent weniger Klimagase (v. a. Methan) produziert werden als bei der Herstellung von konventionellem Rindfleisch.

# Methan

## Warum Genomeditierung keine Lösung ist

### Grund 1

Zusammensetzung der Darmflora beeinflusst die Immunität

An der Bakterienzusammensetzung im Magen der Rinder herumzubasteln, ist nicht ungefährlich. Diese Organismen haben sich mit ihrem Wirt über Jahrtausende gemeinsam entwickelt: Sie haben sich gegenseitig angepasst. Wie eng dieses Verhältnis ist, zeigt der Fakt, dass sich dies auch in der Zusammensetzung des Rindererbgutes widerspiegelt.<sup>71</sup> Denn die Weitergabe der nützlichen Winzlinge an die Nachkommen geschieht nicht zufällig: Sie wird von bestimmten Regionen der Rinder-DNA mitgesteuert.<sup>72,73</sup> Die im Darm lebenden Mikroorganismen spielen beim Abbau von unverdauten Kohlenhydraten eine wichtige Rolle, daneben helfen sie auch, die Darmgesundheit aufrechtzuerhalten. Somit können Änderungen in der Zusammensetzung der Darmflora einen grossen Einfluss auf das allgemeine Wohlbefinden und auf die Gesundheit von Rindern haben.<sup>74</sup> Eine erhöhte Anfälligkeit in Bezug auf Krankheiten beispielsweise ist nicht auszuschliessen.

Es existieren bereits viele andere, nicht biotechnologische Methoden, welche die Methanproduktion reduzieren.<sup>75</sup> Unter anderen können auch durch klassische Selektion Rassen entstehen, die weniger Methan ausstossen – auch wenn dies längere Zeit benötigt. Zudem verhindern ausgewählte Impfstoffe, dass methanbildende Mikroben im Darmtrakt gedeihen. Änderungen in der Fütterung, wie zum Beispiel die Gabe von Meeresalgen oder bestimmten Futtermittelzusatzstoffen drosseln die Methanproduktion ebenfalls. Doch genauso wie bei einer gentechnischen Veränderung sind die Auswirkungen dieser Eingriffe auf das Immunsystem der Tiere nicht bekannt.

### Grund 2

Gentechnik intensiviert die landwirtschaftliche Produktion

Genomeditierung, aber auch die oben erwähnten alternativen Methoden zur Verringerung der Methanproduktion verleiten dazu, dass gleich viel oder noch mehr Rinder in intensiven Produktionssystemen gehalten werden, ohne dass die gesamte Methanemission steigt. Damit lässt sich die Klimaproblematik jedoch nicht lösen. Denn Methan ist – wie erwähnt – nicht das einzige schädliche Treibhausgas, für dessen Entstehung die Tierhaltung verantwortlich ist. Mit der intensiven Tierhaltung mit Hochleistungsrassen steigt auch der Bedarf an Kraftfutter. Der Futteranbau geht aufgrund der reichlich eingesetzten synthetischen Dünger mit hohen Emissionen von Lachgas einher (siehe Kapitel 2 Lachgas), einem über zehnmal stärkeren Treibhausgas als Methan. Zudem werden bei Landnutzungsänderungen, also bei der Umwandlung von Wäldern und Wiesen in Ackerland für die Futtermittelproduktion riesige Mengen an CO<sub>2</sub> freigesetzt. Der Flächenbedarf für den Anbau des Kraftfutters, das in Europa verbraucht wird, ist bereits enorm – und wird oft auf andere Kontinente, bspw. Südamerika ausgelagert. Etwa die Hälfte des in Europa genutzten Kraftfutters wird aus anderen Kontinenten importiert. Die mit dem Transport verbundenen Emissionen sind ebenfalls dementsprechend hoch. Herbizidresistentes GV-Soja wächst bereits auf Millionen Hektar Land<sup>76</sup> und auch die Entwicklung neuer genomeditierter Sorten ist bereits weit fortgeschritten.<sup>77</sup> Davon profitiert aber nicht das Klima, sondern Saatguthersteller, Agrochemiekonzerne und Rinderzüchter, die billiges Fleisch produzieren können.<sup>78</sup>

# Methan

## Zielführende Alternativen zur Genomeditierung

### Alternative 1

#### Gras statt Kraftfutter

Gerade weil Ökobilanzen sehr komplex sind, genügt es nicht, spezifische Aspekte in der Produktionskette anzupassen. Auch wenn die weltweit gehaltenen 1,5 Billionen Kühe erhebliche Mengen an Methan ausstossen, sind sie dazu fähig, eine bedeutende Ressource zu verwerten, die sonst ungenutzt bliebe: Gras. Immerhin sind ca. 70 Prozent der landwirtschaftlichen Nutzflächen der Erde Grasland.<sup>79</sup> Zurzeit werden diese aber nicht optimal genutzt: nur knapp 30 Prozent der Rinder werden in extensiver Beweidung gehalten.<sup>80</sup> Wären jedoch Grasflächen nachhaltig beweidet, nähmen Bodenfruchtbarkeit und Widerstandskraft gegen Erosion zu. Auch das Wurzelwachstum und damit die Speicherung von Kohlendioxid würde gefördert – ein positiver Aspekt für das Klima. Um diesen Prozess zu unterstützen, braucht es eine Umstellung von der Massentierhaltung auf kleinere, ökologisch basierte Betriebe mit extensiv genutzten Weideflächen. Eine graslandbasierte Milch- und Fleischproduktion könnte zudem die Flächen- und Nahrungsmittelkonkurrenz zwischen Menschen und Wiederkäuern verringern, indem wertvolle Ackerflächen für den Anbau von Nutzpflanzen für die menschliche Ernährung frei würden.<sup>81</sup> Angesichts dessen, dass aktuell weltweit über 30 Prozent der Ackerflächen für die Futtermittelproduktion genutzt werden,<sup>82</sup> könnte damit auch der mit hohen CO<sub>2</sub>-Emissionen einhergehenden Zunahme des Landverbrauchs ein Ende gesetzt werden. Methanproduktion im Pansen korreliert ausserdem mit der Intensität des Fütterungssystems: Mehr Kraftfutter (Soja, Mais, Getreide) begünstigt eine Mikroflora, die mehr Methan produziert.<sup>83</sup> Eine auf Raufutter – Gras beispielsweise – basierende Fütterung entspricht den Bedürfnissen der Art am ehesten und reduziert den Methanausstoss. Zudem entfallen auch die Emissionen durch den Futtermitteltransport.<sup>84</sup>

### Alternative 2

#### Fleischkonsum drosseln

Es ist die Intensivierung der Landwirtschaft, die die Verfügbarkeit der tierischen Nahrungsmittel in den letzten Jahrzehnten stark erhöht hat. Damit stieg auch die Nachfrage nach tierischen Produkten wie Fleisch, Eier und Milch im Vergleich zu Lebensmitteln pflanzlichen Ursprungs. Vor allem in Schwellenländern wie China oder Brasilien ist dieser Trend eher auf die Einkommensentwicklung als auf das Bevölkerungswachstum zurückzuführen.<sup>85,86</sup> Ändert sich nichts an den globalen Produktions- und Konsumstrukturen, wird sich dieser Trend weiter fortsetzen.

Doch der Klimafussabdruck von tierischen Erzeugnissen aus kraftfutterintensiver Stallhaltung ist gross. Nahezu 70 Prozent der direkten Treibhausgasemissionen unserer Ernährung sind auf tierische Produkte zurückzuführen.<sup>87</sup> Deshalb liessen sich Treibhausgasemissionen am effektivsten mit einem gedrosselten Konsum von tierischen Lebensmitteln einsparen.<sup>88</sup> Durch eine Umstellung auf weniger Fleischkonsum würden nicht nur Klima und Ressourcen geschont. Auch auf die Gesundheit wirkt sich ein fleischarmer Speiseplan positiv aus. Ernährungsphysiologisch betrachtet ist es sinnvoller, Feldfrüchte direkt zu essen als sie über den Umweg der Umwandlung von Kraftfutter zu Fleisch zu konsumieren. Letzteres führt zu gewaltigem Kalorienverlust.<sup>89</sup> Ein solcher Systemwechsel würde den Bedarf an Kraftfutter deutlich senken.

### Alternative 3

#### Kühe mit längerer Lebensdauer

Die GentechnikerInnen möchten Hochleistungsmilchkühe kreieren, die permanent möglichst viel Milch produzieren. Dadurch werden sie schnell überbelastet und anfällig für Krankheiten. Zusammen mit der unnatürlichen Fütterung mit hohen Kraftfuttergaben führt



dies dazu, dass sie schnell altern und früh geschlachtet werden müssen: durchschnittlich im Alter von 5 Jahren.<sup>83,84</sup> Dies bedeutet, dass während der Hälfte der Lebenszeit einer Milchkuh ein Jungtier für ihren Ersatz aufgezogen werden muss. Die relative Zeitdauer, in der beide gleichzeitig Emissionen verursachen, ist lang. Lokale, an Raufutter angepasste Rassen in nachhaltigen Produktionssystemen verausgaben sich weniger und ihre produktive Lebenszeit ist deshalb länger. Damit lässt sich das Zeitfenster der doppelten Emissionen markant reduzieren.<sup>83,84</sup>

#### Alternative 4

---

##### Regenerative Landwirtschaft statt Gentech-Fleischersatzprodukte

---

Dass es klimafreundlichere Alternativen als Gentech-Fleischersatzprodukte gibt, zeigt eine umfassende Lebenszyklusanalyse der Firma Quantis.<sup>90</sup> Laut dieser Studie zeichnet sich Rindfleisch aus regenerativer Landwirtschaft durch eine negative CO<sub>2</sub>-Bilanz aus: Pro Kilogramm Rindfleisch werden der Atmosphäre 3,5 Kilogramm CO<sub>2</sub> entzogen. Bei der regenerativen Landwirtschaft, wie sie der untersuchte Familienbetrieb White Oaks Pasture (Georgia, USA) praktiziert, wird die zur Verfügung stehende Weidefläche entsprechend der Herdengrösse so unterteilt, dass sich jede Weidefläche während einer längeren Rastzeit regenerieren kann (Umtriebsweide). Dadurch bilden die Gräser genügend Blattfläche aus, um viel Kohlenstoff in ihren Wurzelwerken und über die Bodenlebewesen in den Boden einzulagern. Diese Rastperioden kompensieren die Methanausstösse der grasenden Wiederkäuer effektiv.

# Lachgas

## Das Problem

---

---

---

---

Lachgas ist das schädlichste unter den Treibhausgasen.<sup>91</sup> Es ist beinahe 300-mal so schädlich wie Kohlendioxid und verbleibt mehr als 100 Jahre in der Atmosphäre, wo es zur Erderwärmung beiträgt. Lachgas entsteht, wenn Mikroorganismen stickstoffhaltige Verbindungen im Boden abbauen. Gemäss Schätzungen des Weltklimarates emittiert die Landwirtschaft ca. 60 Prozent dieses Gases.<sup>46</sup> In der Schweiz ist die Landwirtschaft gar für 80 Prozent der Emissionen verantwortlich.<sup>60</sup> Die Problematik der Lachgasemission ist komplex, denn die Landwirtschaft trägt auf mindestens drei verschiedenen Produktionsebenen – Bodenbewirtschaftung, Tierhaltung, Düngemittelherstellung – dazu bei.

### Lachgas aus Bodenbewirtschaftung

Böden sind die Hauptquelle der landwirtschaftlichen Lachgasemissionen (z. B. stammen in der Schweiz über 80 Prozent der landwirtschaftlichen Lachgasemissionen aus der Bodenbewirtschaftung).<sup>60</sup> Diese entstehen bei der Ausbringung von organischen und synthetischen Düngemitteln, durch die biologische Fixierung von Luftstickstoff in gewissen Kulturpflanzen (Hülsenfrüchtler) und beim Einarbeiten von Ernterückständen in den Boden. Besonders aus feuchten, überdüngten Böden entweicht viel Lachgas.<sup>60</sup> Pflanzen brauchen Stickstoff, um zu gedeihen. Doch den in der Luft reichlich in der elementaren Form vorkommenden Stickstoff ( $N_2$ ) können sie nicht direkt, sondern nur in chemisch gebundener Form (Ammonium, aber vor allem als Nitrat) nutzen. Für die Umwandlung des elementaren Stickstoffs in diese, auch für Pflanzen verwertbaren Verbindungen sind Bakterien verantwortlich. Damit die Pflanzen genügend Stickstoff aufnehmen können, muss dem Boden bei intensiver Landnutzung, wie es bei Monokulturen mit Gentechpflanzen der Fall ist, grossflächig Stickstoffkünstdünger zugefügt werden. Nur so kann ein permanent hoher Ertrag in diesem intensiven Landwirtschaftssystem gesichert werden. Das im Labor entwickelte

Gentechsaatgut ist nicht an die unterschiedlichen Bodenbedingungen in der Natur angepasst und braucht daher eine konstant verfügbare Stickstoffquelle. Doch nehmen die Pflanzen die ausgebrachten Stickstoffdünger nicht gänzlich auf, gelangt der Überschuss als Lachgas in die Luft.<sup>84</sup>

### Lachgas aus der Tierhaltung

In grossflächigen Monokulturen wachsen überwiegend Pflanzen für die Kraftfutterproduktion: etwa Soja, der weltweit auf ca. 125 Millionen Hektar angebaut wird.<sup>92</sup> So trägt die Massentierhaltung indirekt erheblich zu den globalen Stickstoffemissionen bei.<sup>84</sup> Etwa ein Viertel der synthetischen Düngemittel wird für den Anbau von Futterpflanzen gebraucht.<sup>46</sup> Auch stickstoffbindende Futterpflanzen, die kaum Dünger brauchen, wie das weltweit auf ca. 125 Millionen Hektar angebaute Soja,<sup>92</sup> sind keine Lösung, weil sie an den zahlreichen anderen negativen Auswirkungen des intensiven Anbausystems nichts ändern. Für die Bildung von Lachgas ist schliesslich auch der natürliche Abbau des bei der Tierhaltung anfallenden Festmist verantwortlich.<sup>60</sup>

### Lachgas aus Düngemittelherstellung

Der Preis für die hohe Produktivität auf den Feldern ist ein hoher Ressourceneinsatz. Kunstdünger tragen nicht nur durch das Ausbringen auf den Feldern zur Treibhausgasproduktion bei, sondern bereits durch ihre energieaufwändige Herstellung. Die Düngemittelherstellung benötigt immense Mengen an Erdgas – ein nicht erneuerbarer fossiler Brennstoff – und ist für rund die Hälfte des Gesamtenergieverbrauches in der Landwirtschaft verantwortlich.<sup>93</sup> Die immer knapper werdenden Erdgasressourcen, welche die Preise der Düngemittel steigen lassen, sind ein weiteres gewichtiges Argument gegen eine kunstdüngerabhängige Landwirtschaft mit GV-Pflanzen.

# Lachgas

---

## Mit Genomeditierung gegen Lachgasemissionen?

---

---

Die Agrarbranche propagiert genomeditierte Pflanzen gerne als zukünftige Lösung: Mit Gentechnik wird versucht, eine hohe Produktivität mit weniger synthetischen Düngemitteln zu erreichen. Dabei werden unterschiedliche Wege aufgeführt. Zum einen sollen genomeditierte Pflanzen Dünger einsparen, weil sie aufgrund ihrer mit Gentechnik veränderten Wuchsform noch dichter aneinander gepflanzt werden können und daher Düngemittel auf eine geringere Fläche ausgebracht werden müssen. Zum anderen sollen genomeditierte Pflanzen Stickstoffverbindungen aus dem Boden besser aufnehmen und effektiver verwerten. Aus der Sicht der Agrarindustrie wären auch genomeditierte Pflanzen interessant, welche ähnlich wie Hülsenfrüchtler Stickstoff mithilfe von Bakterien direkt aus der Luft binden können. Noch waghalsiger sind Projekte, die darauf abzielen, die Fotosynthese gewisser Kulturpflanzen wie des Reises so zu verändern, dass sie viel effektiver funktioniert und den Ertrag ohne zusätzlichen Dünger verdoppelt.



# Lachgas

## Warum Genomeditierung keine Lösung ist

Den Stoffwechsel von Pflanzen mit Gentechnik zu unterbinden, ist kaum machbar, da er von Gennetzwerken reguliert wird, deren Aktivität stark von den Feldbedingungen abhängig ist. Die meisten Eigenschaften, die die Gentechnik zu verändern versucht, werden von komplexen Systemen, die von vielen Genen beeinflusst werden, bestimmt. Deshalb ist die Entwicklung von genomeditierten Pflanzen, die solche Eigenschaften besitzen, durch das Hinzufügen oder Verändern einzelner Gene trotz enormen Investitionen kaum machbar. Dementsprechend konnten die Biotechnologen und -technologInnen bis heute keine einzige derartige Pflanze auf den Markt bringen. Zudem fehlt das Systemdenken: Anstatt die Wurzeln der Probleme anzugehen, die genau durch dieses System der interessengeleiteten industrialisierten Nahrungsmittelerzeugung verursacht werden, und darauf basierend einen globalen Wechsel auf Nachhaltigkeit hin zu erzielen, liegt der Fokus weiterhin auf einer gesteigerten Produktivität und auf Intensivierung.

### Grund 1

«Düngersparende» genomeditierte Pflanzen halten ressourcenintensive Massenproduktion aufrecht – mitsamt der Kollateralschäden

Genomeditierte Pflanzen, die mit weniger Dünger höhere Erträge bringen, ändern am Anbausystem selbst nichts. Sie tragen sogar zur Stärkung dieses industriellen Anbaus bei, der darauf ausgerichtet ist, hohe Erträge zu erzielen, während Umweltaspekte eine untergeordnete Rolle spielen. Derart veränderte Pflanzen bieten eine monokausale Antwort auf eines der vielen Problemen, die durch die einseitige Monokultur-Landwirtschaft hervorgerufen wurden: Ein System, das nur 30 Prozent der Welternährung sichert,<sup>95</sup> jedoch einen erheblichen Teil der Emissionen aus fossilen Brennstoffen verursacht und für einen hohen Anteil des landwirtschaftlichen Wasserverbrauchs

verantwortlich ist. Genomeditierte Halbzwerge-Obst- und Nussbäume sollen zum Beispiel Land und damit auch Dünger sparen, weil sie eine höhere Bepflanzungsdichte erlauben.<sup>96</sup> Doch genau dies kann die Anfälligkeit auf Krankheiten und Schädlinge erhöhen. Zudem reduziert ein solches System die Biodiversität: Auch nützliche Insekten und Vögel finden darin keine Nischen und Nahrung.

### Grund 2

Stickstoffbindende Symbiose mittels Genomeditierung – eine Utopie

Der Agrarindustrie kämen auch genomeditierte Pflanzen entgegen, die ähnlich wie Klee, Erbse oder andere Hülsenfrüchtler mit Bakterien zusammenarbeiten, um Stickstoff aus der Luft zu binden und sich so selbst zu versorgen. Damit könnte auf eine Umstellung auf extensive, traditionelle Methoden des Anbaus ohne Kunstdünger verzichtet werden. Die Idee ist bald vierzig Jahre alt,<sup>97</sup> verwirklicht wurde sie jedoch bis heute nicht. Dies werden auch die neuen gentechnischen Verfahren kaum ändern können. Denn die Fähigkeit, Stickstoff zu binden, hängt von einer komplexen symbiotischen Beziehung zwischen der Pflanze und den in ihren Wurzelknollen lebenden Bakterien ab, die sich vor 100 Millionen Jahren entwickelt hat.<sup>98</sup> Die Gene und Stoffwechselwege, die eine Pflanze für die Symbiose prädisponieren, sind bisher nur teilweise entschlüsselt worden. Manche Pflanzen, wie die Nutzholzart Hainbuche oder die als Nahrungspflanze in Asien beliebte Verdrehte Blockbohne sind zwar genetisch für eine Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien gerüstet, nutzen dies aber nicht.<sup>98</sup> Theoretisch könnten sie mithilfe der Gentechnik dazu gebracht werden, eine solche Beziehung einzugehen. Die wichtigsten Getreidearten gehören jedoch nicht zu den Pflanzen mit dieser Prädisposition. Experten der Max-Planck-Gesellschaft halten es für äusserst unwahrscheinlich, dass die Forschung diese befähigen könnte,

mithilfe von Knöllchenbakterien Stickstoff zu fixieren.<sup>98</sup> Forschungsprojekte zur Entschlüsselung des genetischen Hintergrundes dieser Symbiose dienen daher vielmehr dazu, den globalen Stickstoffkreislauf und seine Veränderung mit dem Klimawandel besser zu verstehen.<sup>99</sup>

der Baumwolle.<sup>101</sup> Entgegen den Beteuerungen der Industrie würden genomeditierte Pflanzen auch nur ihre Abhängigkeit von den Agrarkonzernen erhöhen. Die Ernährungssouveränität hingegen bleibt auf der Strecke.

### Grund 3

#### C4-Reis: Evolutionsbeschleunigung für eine effektivere Fotosynthese - grosser Ressourcenaufwand mit wenig Ertrag

Auch am Erfolg eines von Bill Gates finanzierten internationalen Forschungsprojektes sind Zweifel angebracht. Das Projekt erzielt die Erhöhung des Reisertrags ohne Dünger, allein durch die gentechnische Anpassung der Fotosynthese. Im Rahmen eines von der University of Oxford geleiteten Projekts (C4 Rice Project) wollen Wissenschaftler eine effektivere Form der Fotosynthese, wie sie bei den sogenannten C4-Pflanzen, u.a. Mais, Amarant oder Hirse, funktioniert, mittels Genschere in die Reispflanze einführen.<sup>100</sup>

C4-Pflanzen bilden als Anpassung an trockene, warme Standorte mit hoher Sonneneinstrahlung auch mit weniger Wasser und Nährstoffen viel mehr Biomasse und Ertrag als solche mit einer herkömmlichen C3-Photosynthese. Um eine C3-Pflanze in eine C4-Pflanze zu verwandeln, müsste allerdings nicht nur in die komplexen Prozesse der Fotosynthese eingegriffen, sondern auch die ganze Blattanatomie verändert werden. Diese sind das Ergebnis langer Evolutionsprozesse, die nicht so schnell nachgeahmt werden können. Der genomeditierte Reis soll vor allem Landwirten in Entwicklungsländern helfen, ihre Erträge zu steigern, um sich selbst und die wachsende Weltbevölkerung zu ernähren. Doch Kleinbauern sind finanziell nicht in der Lage, das patentierte teure Gentechsaatgut der Agrarmultis jedes Jahr neu zu kaufen. Das zeigt das Beispiel

# Lachgas

---

## Zielführende Alternativen zur Genomeditierung

---

---

### Alternative 1

#### Sortenwahl und agrarökologische Anbausysteme

Die konventionelle Züchtung hat bereits gute Ergebnisse bei der Erhöhung der Stickstoffeffizienz verschiedener Pflanzensorten erzielt.<sup>102</sup> Zudem zeigen diverse Studien, dass die Stickstoffeffizienz bei biologischer Bewirtschaftung generell höher ist als bei konventionellen Anbausystemen.<sup>103</sup> Stickstoffbindende Hülsenfrüchte in der Fruchtfolge, sowohl als Haupt-, Zwischen- oder Deckfrucht, stellen eine ergiebige Primärquelle für Stickstoff dar. Mithilfe der Bakterien in ihren Wurzelknollen können sie genügend Stickstoff binden, um die Menge an synthetischen Düngern zu ersetzen, die derzeit verwendet wird.<sup>104,105</sup> Agrarökologische Ansätze bringen einen zusätzlichen Vorteil mit sich, indem sie die Auswaschung von Nitraten aus überschüssigem Stickstoffdünger, der nicht durch die Pflanzen aufgenommen wurde, in Gewässer effektiv reduzieren. Extensive, nachhaltige, ökologische Anbausysteme mit geringem Produktionsmitteleinsatz bilden deshalb den Schlüssel zur Lösung der Stickstoffproblematik.<sup>105</sup>

### Alternative 2

#### Reduzierter Konsum von tierischen Produkten

Die Reduktion des Konsums tierischer Produkte und ein entsprechender Rückgang der Tierbestände führt, ähnlich wie bei den landwirtschaftlichen Methanemissionen, auch zur Verringerung des Lachgasausstosses. Denn weniger Tiere brauchen weniger Kraftfutter, dementsprechend werden weniger intensiv bewirtschaftete Flächen benötigt.<sup>106</sup>

### Alternative 3

#### Gesunde Böden

Stickstoffüberschüsse können durch die Bestimmung des Düngebedarfs von Pflanzen,

den Einbezug der Humusbilanz und die Analyse des Nährstoffgehaltes der organischen Dünger vermieden werden. Alternative Mittel können durchaus wirksam zur Verringerung der Lachgasemissionen aus landwirtschaftlich genutzten Böden eingesetzt werden. So etwa aus organischen Abfällen mittels Pyrolyse hergestellte Pflanzenkohle, die den Stickstoffkreislauf im Boden positiv beeinflusst und zudem aufgrund ihrer hohen Stabilität im Boden auch als CO<sub>2</sub>-Senke dient.<sup>107</sup> Forschungsprojekte, die dazu dienen, Faktoren wie Klima, Temperatur und im Boden ablaufende Prozesse, die die Entstehung von Lachgas begünstigen,<sup>108</sup> besser zu verstehen, wie sie beispielsweise von der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) durchgeführt werden,<sup>109</sup> sind eine wichtige Grundlage für die Entwicklung eines nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktionssystems und sollten daher mehr Unterstützung bekommen.









# Kohlendioxid

---

## Das Problem

---

---

---

---

Das Problem: Im Vergleich zu Methan oder Lachgas ist der Anteil der Landwirtschaft an den Emissionen des bekanntesten Klimagases sehr gering.<sup>110</sup> Landwirtschaftlich genutzte Böden dienen je nach Bodenbewirtschaftung entweder als Emissionsquellen oder als Senken von Kohlendioxid. Emission und Bindung gleichen sich aus, was für die niedrige Nettobilanz von Kohlendioxid sorgt: Der Netto-CO<sub>2</sub>-Ausstoss landwirtschaftlicher Böden wird auf weniger als 1 Prozent der globalen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen geschätzt.<sup>111</sup> Auch in der Schweiz verursachen Forst- und Landwirtschaft lediglich 1,2 Prozent der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen.<sup>112</sup> In diesen Erhebungen sind jedoch die Emissionen, die durch Transporte, die Herstellung von Düngemitteln, die Heizung von landwirtschaftlichen Gebäuden und durch die mechanische Bodenbewirtschaftung – etwa durch Traktorfahrten – entstehen, nicht enthalten. Diese werden zu den Emissionen im Bereich Energie gezählt. Würden diese indirekten Emissionen auch mitgezählt, läge der Anteil der Landwirtschaft an der Gesamtbilanz des CO<sub>2</sub> zwischen 10 und 20 Prozent.

Als grösste Quelle des CO<sub>2</sub>-Ausstosses in der Landwirtschaft gilt der Abbau der organischen Bodensubstanz als Folge der Landnutzung: Ein gewichtiger Anteil entsteht durch die Umwandlung von neuen Flächen für die landwirtschaftliche Nutzung, so etwa durch den Umbruch von Grünland oder die Entwässerung von Moorgebieten.<sup>113,114,115,116</sup> Auch bei der Abholzung oder Brandrodung der Regenwälder werden grosse Mengen an CO<sub>2</sub> freigesetzt. Die Anwendung von Harnstoffdünger und die Kalkung von Böden führen ebenfalls zu einer erhöhten CO<sub>2</sub>-Freisetzung. Als Speicher für CO<sub>2</sub> dienen hingegen humusreiche Böden, grüne Landflächen wie Grasland und Naturweiden sowie Wälder.

Wie sich das Ausmass der landwirtschaftlichen Kohlendioxidemissionen in der Zukunft weiterentwickeln wird, ist ungewiss. Einerseits soll

die Abholzungsrate laut IPCC stabil bleiben oder sogar rückläufig sein. Auch die zunehmende Einführung schonender Bodenbearbeitungspraktiken könnte dazu führen, dass die Emissionen abnehmen oder auf niedrigem Niveau bleiben. Doch andererseits könnte der mit dem Transport verbundene CO<sub>2</sub>-Ausstoss wegen des wachsenden internationalen Handels landwirtschaftlicher Produkte zunehmen.<sup>117</sup>



# Kohlendioxid

---

## Mit Genomeditierung gegen CO<sub>2</sub>-Emissionen?

---

---

Die Umwandlung des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) in organische Verbindungen ist ein Schlüsselprozess im globalen Kohlenstoffkreislauf. Forscher versuchen die negativen Auswirkungen der erhöhten landwirtschaftlichen CO<sub>2</sub>-Produktion zu mildern, indem sie in den Stoffwechsel der Nutzpflanzen eingreifen. Bäume sollen mehr Kohlenstoff in ihren Wurzeln speichern können,<sup>118</sup> bei Ackerpflanzen sollen Stoffwechselwege so gestaltet werden, dass sie CO<sub>2</sub> effektiver binden können.<sup>119,120</sup>

Mit diesen Lösungsansätzen mit Gentechnik sind nicht nur neue, bisher unbekannte Umwelt Risiken verbunden, sie sind teilweise schwer realisierbar und sie lenken von der Hauptursache des Problems ab – nämlich von den Strategien zur Verringerung der CO<sub>2</sub>-Produktion. Naturbasierte, systemorientierte Strategien – wie die oben beschriebene agrarökologischen Ansätze – welche sich schon lange bewährt haben, stellen langfristig eine einfachere und sicherere Art dar, ein durch den Menschen verursachtes Problem zu lösen als schnelle «Technofixes». Sie sind jedoch nicht im wirtschaftlichen Interesse der entwickelten Welt und ihrer Industriekonzerne.

# Kohlendioxid

## Warum Genomeditierung keine Lösung ist

### Grund 1

#### Gentechbäume als CO<sub>2</sub>-Fressmaschinen – Symptombehandlung mit nicht abschätzbaren Risiken

Durch die Photosynthese nehmen Bäume CO<sub>2</sub> aus der Luft auf, und zwar mehr, als sie durch die Atmung wieder abgeben. Der aufgenommene Kohlenstoff wird in Sauerstoff und Biomasse umgewandelt. Da im Holz das der Atmosphäre entzogene CO<sub>2</sub> langfristig gespeichert wird, können Wälder effektiv zur Begrenzung der Klimaerwärmung beitragen. Doch der Prozess der CO<sub>2</sub>-Speicherung ist sehr langsam: Bis ein Baum ausgewachsen ist, braucht es Jahrzehnte. Deshalb wollen BiotechnologInnen diesen Effekt mithilfe neuer Gentechsuperbäume verstärken. So wird im Rahmen des Projektes *Harnessing Plants* am Salk Institute for Biological Studies in Kalifornien an der «idealen Pflanze» getüftelt: ein Baum, der mittels Genschere so verändert wird, dass er dichtere und tiefere Wurzeln schlägt.<sup>118</sup> Das robustere Wurzelwerk soll mehr CO<sub>2</sub> aus der Luft einlagern, die Pflanzen widerstandsfähiger machen und die Erosion verringern. Zudem soll ein weiterer gentechnischer Eingriff dafür sorgen, dass das absorbierte CO<sub>2</sub> bei der Verrottung nicht schnell freigegeben wird. Um dies zu erreichen, wird die Pflanze so umprogrammiert, dass sie mehr Suberin produziert. Dieser Stoff, auch bekannt als Kork, wird nur sehr langsam zersetzt, das gebundene CO<sub>2</sub> bleibt daher länger im Boden.

Die Umsetzbarkeit dieser Idee steht trotz grossen Investitionen auf wackeligen Beinen. Vorerst wurde die gentechnische Veränderung nur an der Acker-Schmalwand, einer krautigen Pflanze getestet. Bis die Methode an Bäumen angewendet werden kann und ein solcher Gentechbaum reif für das Leben ausserhalb des Labors ist, könnte noch viel Zeit vergehen. Zudem weiss niemand genau, wie viel CO<sub>2</sub> ein Baum unter verschiedenen Umweltbedingungen fixiert. Mit dem immer stärker werdenden

Klimawandel ist sogar eine Nettozunahme des CO<sub>2</sub>-Ausstosses von Bäumen möglich, da sich ihr Stoffwechsel verändern könnte. Angesichts des langen und oft komplexen Lebenszyklus von Bäumen und ihren vielfältigen Interaktionen mit der Umwelt, sind die Umweltrisiken bei der Freisetzung von genomeditierten Bäumen um ein Vielfaches grösser als bei genomeditierten Ackerpflanzen, die am Ende der Vegetationsperiode geerntet werden. Bei den letzteren werden die Risiken über mehrere Pflanzengenerationen unter unterschiedlichen Umweltbedingungen getestet. Eine solche Risikoprüfung für die langsam wachsenden, langlebigen genomeditierten Bäume würde Jahrzehnte dauern.

### Grund 2

#### Neue synthetische Wege der CO<sub>2</sub>-Fixierung – zu viele Unsicherheiten

Der sogenannte Calvin-Zyklus, den die Pflanzen zur Fixierung von CO<sub>2</sub> verwenden, ist nur einer der vielen natürlichen Stoffwechselwege zur CO<sub>2</sub>-Bindung. Auch wenn der grösste Teil des im globalen Kohlenstoffkreislauf fixierten CO<sub>2</sub> über diesen Weg gebunden wird, ist er nicht der effektivste. Neulich in Bakterien entdeckte Enzyme binden das CO<sub>2</sub> viel schneller und zuverlässiger. Nun sollen diese mithilfe der synthetischen Biologie massgeschneidert werden, um daraus künstliche Stoffwechselwege, die ihren natürlichen Mechanismen überlegen sind, von Grund auf neu zusammenzusetzen.<sup>119, 120</sup>

Der Fakt, dass dabei die Enzyme, die in einem gemeinsamen Stoffwechselweg kombiniert werden, teils synthetisch hergestellt werden, teils aus neuen völlig verschiedenen Organismen stammen, stellt bei der Realisierung ein kaum überwindbares Hindernis dar. Unerwünschte Seitenreaktionen mit Stoffwechselprodukten, mit denen die neu kombinierten Enzyme im Laufe der Evolution nie in Berührung kamen, sind vorprogrammiert und können nur durch eine weitere gentechnische Manipulation

vermieden werden – mit vermutlich noch mehr Nebeneffekten. Zudem fehlt das Wissen, wie sich der künstliche Zyklus in den komplexen Stoffwechsel der Wirtszelle einfügt. Deshalb ist es fraglich, ob der neue Stoffwechselweg, der im Reagenzglas zwar funktioniert, jemals direkt in lebende Organismen eingesetzt werden kann.

### Grund 3

#### Mit GE-Bäumen gegen Abholzung – intensive Produktion mit Umweltrisiken

Die Abholzung von Regenwäldern ist für einen Viertel des menschengemachten CO<sub>2</sub>-Ausstosses verantwortlich.<sup>46,121</sup> Ein Grund für die Abholzung liegt in der Herstellung holzbasierter Produkte, u.a. Papier. Die Biotechnologen und -technologininnen, die im Dienste der Papierindustrie stehen, wollen natürliche Waldflächen schonen, indem sie die Produktivität der Baumplantagen erhöhen. Damit könnte mehr Papierzellstoff pro Fläche gewonnen werden. Je schneller die Bäume wachsen, desto weniger Fläche braucht es, um die gleiche Menge an Papier zu produzieren – so die Grundidee.<sup>122,123</sup> Dazu wird beispielsweise in den Hormonhaushalt der wichtigsten Papierlieferanten wie Eukalyptus oder Pappel eingegriffen, um jene Gene zu verändern, die für die Ausscheidung von Wachstumshormonen zuständig sind.<sup>124,125,126</sup>

Doch mit diesem Ansatz ist die Industrie auf dem falschen Pfad. Denn dieser lenkt von alternativen Lösungen für den Schutz natürlicher Waldbestände ab: etwa davon, wie der Verbrauch holzbasierter Produkte reduziert und die Wiederverwendung von bereits verarbeitetem Holzmaterial gefördert werden könnte. In der Realität besteht ein starkes kommerzielles Interesse an der vermehrten Herstellung neuer Produkte auf Holzbasis und deren Verwendung: Genomeditierte Bäume kommen in erster Linie der Plantagen-, Zellstoff- und Papierindustrie zugute. Die negativen Auswirkungen von genomeditierten Plantagen werden

verschwiegen: Eine solche Intensivierung bedeutet einen Anstieg der bereits bekannten negativen Auswirkungen auf Land, Wasser und Biodiversität. Denn genomeditierte Bäume führen zu einem gesteigerten Wasserverbrauch und zu einem erhöhten Einsatz von Agrotocinen. Die weit fliegenden Samen und Pollen von Bäumen stellen ein weiteres Risiko dar: Die Verbreitung des künstlich beigefügten genetischen Materials kann kaum begrenzt werden.

# Kohlendioxid

---

## Zielführende Alternativen zur Genomeditierung

---

### Alternative 1

Klimaschonende Bodenbewirtschaftung – CO<sub>2</sub>-Speicherung im Boden auf natürliche Weise fördern, vorhandene CO<sub>2</sub>-Speicher im Boden schützen

Der Weltagrarbericht betont das enorme Potenzial einer klimaschonenderen Bodenbewirtschaftung.<sup>89</sup> In der EU nehmen Anbauflächen mehr als die Hälfte des gesamten Territoriums ein. Die Intensivierung der Landwirtschaft hat zur Zerstörung von 30–75 Prozent der organischen Substanz der Böden auf Acker- und von 50 Prozent auf Weideflächen geführt.<sup>127</sup> Mit agrarökologischen Massnahmen, die sich seit Jahrhunderten bewährt haben,<sup>5,6</sup> könnte der Humusgehalt wieder erhöht und bis zu zwei Drittel des derzeitigen CO<sub>2</sub>-Überschusses in der Atmosphäre wieder in den Boden zurückgeführt werden.<sup>127,128</sup> Humusreiche Böden speichern nicht nur mehr Kohlenstoff, auch Wasser können sie länger zurückhalten. Sie sind weniger durch Erosion gefährdet und fruchtbarer als humusarme Böden.<sup>128</sup> Der Humusgehalt der Böden kann verbessert werden, indem Ackerflächen stetig begrünt werden und nicht unbedeckt liegen.<sup>129</sup> Bei der Bodenbearbeitung hilft ein Verzicht auf das Pflügen beziehungsweise soll darauf geachtet werden, dass nicht tiefer gepflügt wird als nötig.<sup>127</sup> Dies verringert auch die mit den Feldüberfahrten verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen und damit auch die Produktionskosten.<sup>130,131,132</sup> Deshalb gewinnt die konservierende Bodenbearbeitung an Attraktivität: Weltweit stellen immer mehr Landwirte auf diese Methode um.<sup>108</sup> Werden zudem Erntereste in den Boden eingearbeitet, reduziert dies auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die beispielsweise bei deren Verbrennung entstehen würden.

Dem Anbau von Ackerfrüchten, die oft der Produktion von Kraftfutter dienen, sind erhebliche Flächen an Dauergrünland geopfert worden. Bei der Umwandlung von Grünland in Acker geht ein erheblicher Anteil des

Kohlenstoffspeichers im Boden in Form von CO<sub>2</sub> verloren.<sup>133</sup> Da Grünlandflächen doppelt so viel Kohlenstoffvorräte wie Ackerböden enthalten, ist die Renaturierung von degradierten Böden und kultivierten Torfböden eine zusätzliche effektive Massnahme.<sup>46</sup>

Auch auf Weideflächen kann ein verbessertes Management die Kohlenstoffspeicherung fördern. Umtriebsweiden, welche der Vegetation erlauben, sich nach dem Weiden zu regenerieren, helfen organische Stoffe und Kohlenstoff länger im Boden zu halten.<sup>129</sup>

### Alternative 2

Aufforstung und Agroforstwirtschaft statt GE-Bäume

Ohne die vom Menschen anderweitig gebrauchten Flächen (landwirtschaftliche Flächen und Wohnbauflächen) miteinzuberechnen, wäre die Wiederherstellung ehemaliger Waldflächen auf 0,9 Milliarden Hektaren möglich. Wie eine Studie der ETH Zürich zeigt, könnten damit zwei Drittel der vom Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen neutralisiert werden.<sup>121</sup>

Auch mit Agroforstwirtschaft lassen sich die landwirtschaftlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen kompensieren. Agroforstwirtschaft ist ein systemorientierter Ansatz, bei dem Bäume mit Ackerkultur, Grünland und/oder Tierhaltung auf derselben Fläche kombiniert werden. Agroforstwirtschaft trägt dazu bei, dass bereits vorhandene landwirtschaftliche Flächen optimal und klimaschonend genutzt werden. Solche Systeme sequestrieren grosse Mengen an CO<sub>2</sub>, welches im Holz sowie als Humus im Boden gespeichert wird.<sup>134</sup> Weitere Vorteile des Systems sind dessen positive Auswirkungen auf die Bodenerosion, Nitratverluste und die Biodiversität.<sup>135,136,137</sup> Wird das dabei anfallende Holz als Bau- und Möbelholz oder zur Substituierung fossiler Energieträger genutzt, lässt sich damit der Ausstoss von Treibhausgasen eindämmen.



Agroforstwirtschaft funktioniert nicht nur in Entwicklungsländern, wo sie ursprünglich dazu verwendet wurde, Waldflächen landwirtschaftlich zu nutzen. Würde Agroforstwirtschaft auf 9 Prozent der europäischen Landwirtschaftsfläche etabliert, liessen sich bis zu 43 Prozent der landwirtschaftlichen Treibhausgase kompensieren, zeigt eine Agroscope-Studie.<sup>134</sup> Auch in der Schweiz könnten regionale Umweltdefizite mittels moderner Agroforstsysteme gemindert werden. Zudem könnten die Emissionen eines landwirtschaftlichen Betriebes in der Schweiz durch Agroforstwirtschaft kompensiert werden, um so Milch und Fleisch klimaneutral zu produzieren.<sup>135</sup>



## Agrarökologie

Agrarökologische Ansätze basieren auf der Vielfalt der landwirtschaftlichen Systeme. Durch das Kombinieren von wissenschaftlichem Denken, traditionellem Wissen und modernen Managementsystemen erstreben sie einen Wandel zu einer sowohl nachhaltigen als auch produktiven Landwirtschaft. Z.B. Agroforstwirtschaft, Permakultur.

## Bodenerosion

Wind- oder wasserbedingter Abtrag von festen Bodenbestandteilen, der die Böden schädigt. Mechanische Einwirkungen, wie bestimmte landwirtschaftliche Kulturmassnahmen (z.B. Pflügen oder Überbeweidung) fördern die Erosion des Bodens.

## Gen

Ein Abschnitt des Erbguts der zusammen mit anderen Erbgutsabschnitten und Umwelteinflüssen zur Bildung von Proteinen und zur Ausbildung der Merkmale eines Organismus beiträgt.

## Genom

Die Gesamtheit der genetischen Information einer Zelle, auch Erbgut genannt.

## Genomeditierung

Neue Verfahren der Gentechnik, die eine rasche und tiefgreifende Veränderung des Erbguts ermöglichen (z.B. die Genschere CRISPR/Cas9). Die Risiken der Anwendung dieser Methoden in der Landwirtschaft sind weitgehend unerforscht.

## Genpool

Die Gesamtheit aller genetischen Variationen in einer Population. Jahrzehntelange Selektion führt zur Verkleinerung des Genpools einer Art, während neu auftretende Mutationen und Kreuzungen mit anderen Populationen ihn vergrössern.

## Genschere CRISPR/Cas9

Neues gentechnisches Verfahren, welches die Veränderung des Erbguts vereinfacht und beschleunigt. Ursprünglich aus Bakterien, welche sich der Genschere bedienen, um Viren abzuwehren.

## Invasive Art

Gebietsfremde Arten, welche über ihre natürlichen Verbreitungsgrenzen transportiert werden und sich in neuen Gebieten etablieren. Dort können sie eine Bedrohung für Biodiversität und Landwirtschaft darstellen, indem sie heimische Arten verdrängen oder Krankheiten einschleppen.

## Klassische Gentechnologie

Auch alte Gentechnik genannt. Veränderung des (Pflanzen)Genoms durch die Einführung von einzelnen Genen, meist von anderen Arten stammend, welche an zufälligen Stellen im Genom eingebaut werden.

## Klimafussabdruck

Einfluss des Menschen auf die Klimaerwärmung (Ausmass an Treibhausgasemissionen durch verschiedene menschliche Tätigkeiten).

## Flächenkonkurrenz

Die Konkurrenz um Fläche durch verschiedene Nutzungsformen in der Landwirtschaft. z.B. Konkurrenz zwischen dem Anbau von Nahrungs- und Futtermittelpflanzen.

## Patente auf Saatgut

Mit der Patentierung von gentechnisch verändertem Saatgut versuchen die wenigen Grosskonzerne der monopolisierenden Agrarindustrie ihren Einfluss auf die weltweite Nahrungsmittelproduktion auszuweiten, um ihre Marktvorteile aufrechtzuerhalten. Landwirtschaftliche Kleinbetriebe geraten dadurch in die Abhängigkeit, da sie das Saatgut jedes Jahr neu kaufen müssen.

## Resilienz

Fähigkeit eines Ökosystems, nach einer Störung zum Ausgangszustand zurückzukehren. z.B. Fähigkeit zur plastischen Reaktion auf klimabedingten Stress von Agrarökosystemen, Kraft zur Regeneration nach Stresseinflüssen.

## Synthetische Düngemittel

Düngemittel, die durch eine technische Aufbereitung natürlicher Rohstoffe entstehen. Die Herstellung synthetischer Düngemittel ist sehr energieaufwendig und geht mit einem hohen Ressourcenverbrauch sowie mit der Emission von Treibhausgasen einher.



Bildverzeichnis	Titelseite	Literaturverzeichnis	PDF
	Pflügen untersagt – eine schonende Bodenbewirtschaftung schützt vor Erosion und Austrocknung.		In der digitalen Version sind die Angaben im Quellenverzeichnis mit den entsprechenden URLs verknüpft. Hier geht es zum PDF: <a href="http://gentechfrei.ch/de/klimadossier">gentechfrei.ch/de/klimadossier</a>
	Seite 2		1
	Als Folge des Klimawandels werden Dürresommer auch in Europa stark zunehmen.		FAO 2014 The state of food and agriculture – innovation in family farming. Rome.
	Seite 3		2
	Die Augenbohne ist eine der – zu Unrecht – vernachlässigten Waisenpflanze mit viel Potenzial.		Leippert F, Darmaun M, Bernoux M and Mpheshea M 2020 The potential of agroecology to build climate-resilient livelihoods and food systems. Rome. FAO and Biovision.
	Seite 10		3
	Synthetische Düngemittel bereit für den Transport.		GRAIN 2009 Earth matters – Tackling the climate crisis from the ground up. In: Climate crisis special issue. S. 9-17.
	Seite 11		4
	Die intensive Massentierhaltung ist für einen erheblichen Teil der landwirtschaftlichen Treibhausgasemissionen verantwortlich.		«4 per 1000» Initiative
	Seite 22		5
	Urban Farming (städtische Landwirtschaft) – ein agrarökologischer Ansatz.		FAO 2018 The 10 Elements of Agroecology. Guiding the Transition to Sustainable Food and Agricultural Systems. Rome
	Seite 23		6
	Eukalyptusplantagen gefährden den Grundwasserspiegel und benötigen grosse Mengen an Agro-Chemikalien.		FAO 2018 Scaling up Agroecology Initiative. Rome
	Seite 36		7
	Die widerstandsfähige Quinoa-Pflanze war in Europa vor zehn Jahren noch unbekannt, heute sind ihre Samen sogar in Fast-food-Ketten zu finden.		Hari V, Rakovec O, Markonis Y, Hanel M, Rohini K 2020 Increased future occurrences of the exceptional 2018–2019 Central European drought under global warming. Scientific Reports 10, 12207.
	Seite 37		8
	Beim Ausbringen von Gülle entsteht Lachgas.		Lobell DB, Schenkler W, Costa-Roberts J 2011 Climate Trends and Global Crop Production Since 1980. Science 29, 333 (6042): 616-620.
	Seite 50		9
	Soja-Monokulturen sind auf Kunstdünger und Herbizide angewiesen.		Jones N 2011 Climate change curbs crops. Nature News: doi:10.1038/news.2011.268
	Seite 51		10
	Die Vielfalt ist die Grundlage der Agrarökologie. Alte Kartoffelsorten auf dem Markt.		Collins M, Knutti R, Arblaster JM et al. 2013 Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D, Plattner G-K et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- 11  
IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte V, Zhai P, Pörtner HO et al. (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp.
- 12  
FAO 2017 The impact of disasters and crises on agriculture and food security. Rome
- 13  
OECD 2017 Water Risk Hotspots in Agriculture.
- 14  
Oppenheimer M, Glavovic BC, Hinkel J et al. 2019 Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [Pörtner H-O, Roberts DC, Masson-Delmotte V et al. (eds.)].
- 15  
Haque E, Taniguchi H, Hassan MM, et al. 2018 Application of CRISPR/Cas9 Genome Editing Technology for the Improvement of Crops Cultivated in Tropical Climates: Recent Progress, Prospects, and Challenges. *Frontiers in Plant Science* 9: 617. doi: 10.3389/fpls.2018.00617
- 16  
Juroszek P, Racca, P, Link S, Farhumand J, Kleinhenz B 2019 Overview on the review articles published during the past 30 years relating to the potential climate change effects on plant pathogens and crop disease risks. *Plant Pathology* 69 (2): 179-193.
- 17  
Hunjan MS, Lore JS 2020 Climate Change: Impact on Plant Pathogens, Diseases, and Their Management. In: Jabran K, Florentine S, Chauhan B (eds) *Crop Protection Under Changing Climate*. Springer, Cham.
- 18  
Trebicki, Finlay K 2019 Pests and Diseases under Climate Change; Its Threat to Food Security. In: *Food Security and Climate Change* Shyam Singh Yadav, Robert J. Redden, Jerry L. Hatfield, Andreas W. Ebert, Danny Hunter (eds) *Food Security and Climate Change* John Wiley & Sons.
- 19  
Martignago D, Rico-Medina A, Blasco-Escámez D, Fontanet-Manzanque JB and Caño-Delgado AI 2020 Drought Resistance by Engineering Plant Tissue-Specific Responses. *Frontiers in Plant Science*. 10:1676. doi: 10.3389/fpls.2019.01676
- 20  
Shi J, Gao H, Wang H, Lafitte HR, Archibald RL, Yang M, Hakimi SM, Mo H, Habben JE 2016 ARGOS8 variants generated by CRISPR-Cas9 improve maize grain yield under field drought stress conditions. *Plant Biotechnology Journal* 15 (2): 207-216.
- 21  
Zhang A, Liu Y, Wang F, et al. 2019 Enhanced rice salinity tolerance via CRISPR/Cas9-targeted mutagenesis of the OsRR22 gene. *Molecular Breeding* 39: 47.
- 22  
Mehta D, Stürchler A, Anjanappa RB Hirsch-Hoffmann M, Gruijssem W, Vernderschuren H 2019 Linking CRISPR-Cas9 interference in cassava to the evolution of editing-resistant geminiviruses. *Genome Biology* 20: 80.
- 23  
Rey C, Vanderschuren H 2017 Cassava Mosaic and Brown Streak Diseases: Current Perspectives and Beyond. *Annual Review of Virology* 4:429-452.
- 24  
CSS, ENSSER, VDW 2019 Gene Drives. A report on their science, applications, social aspects, ethics and regulation.
- 25  
Bauer-Panskus A, Bohn, T, Cotter J, Hilbeck A, Millstone E, Then C, Wallace H, Wynne B 2020 Zusammenfassender Abschlussbericht des Projektes RAGES, 2016-2019.
- 26  
Gurian-Sherman D 2019 Drought-tolerant CRISPR maize? Not yet – maybe not ever. *GMWatch*.
- 27  
Varoquaux N, Cole B, Gao C, et al. 2019 Transcriptomic analysis of field-droughted sorghum from seedling to maturity reveals biotic and metabolic responses. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 116 (52): 27124-27132.
- 28  
Becker H 2011 Pflanzenzüchtung. Ulmer, Stuttgart.
- 29  
Bundesamt für Naturschutz Deutschland (BfN) 2017 Neue Verfahren in der Gentechnik: Chancen und Risiken aus Sicht des Naturschutzes. Stand Juli 2017.
- 30  
Kawall K 2019 New Possibilities on the Horizon: Genome Editing Makes the Whole Genome Accessible for Changes. *Front. Plant Sci.* 10:525. doi: 10.3389/fpls.2019.00525
- 31  
Katharina Kawall 2019 Die neuen Gentechnikverfahren. Eine Bewertung aus naturwissenschaftlicher Sicht. In: *Kritischer Agrarbericht*
- 32  
Fabrick JA, LeRoy DM, Unnithan GC, Yelich AJ, Carrière Y, Li X, Tabashnik BE 2020 Shared and independent genetic basis of resistance to Bt Toxin Cry2Ab in two strains of pink bollworm. *Scientific Reports* 10: 7988.
- 33  
Strydom E, Erasmus A, du Plessis H, Van den Berg J 2018 Resistance status of *Busseola fusca* (Lepidoptera: Noctuidae) populations to single- and stacked-gene Bt maize in South Africa *Journal of Economic Entomology* 112 (1): 305-315.
- 34  
Robinson C 2020 Push for GM cotton in Africa is «cause for alarm», says nonprofit. *GMWatch*.
- 35  
Banner HJ 2019 Langfristig vitale Pflanzen gibt es nur mit genetischer Vielfalt! In: Moldenhauer H, Brockmann K, Bannier H-J, Häusling M (eds) 2019 Zukunft oder Zeitbombe? Designerpflanzen als Allheilmittel sind nicht die Lösung! Die Grünen/EFA
- 36  
Garcia-Bastidas FA 2019 Panama disease in banana: spread, screen and genes. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands
- 37  
Wember Q 2018 Der Dürresommer 2018 – Brennende Argumente der Gentechniklobby. *Dreschflegel e.V.*
- 38  
Evans BR, Kotskiozi P, Costa-da-Silva AL et al. 2019 Transgenic *Aedes aegypti* mosquitoes transfer genes into a natural population. *Scientific Reports* 9: 13047.
- 39  
Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT) 2020 Vielfalt ist die Quelle des Lebens: Herausforderungen und Handlungsbedarf für die Förderung der Agrobiodiversität. Faktenblatt.
- 40  
Seibold S, Gossner MM, Simons NK, et al. 2019 Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature* 574: 671-674.
- 41  
Jörgen Beckmann 2014 Biodiversität von Kulturpflanzen. Über die Entstehung und heutige Bedeutung der Kulturpflanzenvielfalt. *ProSpecieRara Deutschland*.
- 42  
Mbow C, Rosenzweig C, Barioni LG, et al. 2019 Food Security. In: *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems* [Shukla PR, Skea J, Calvo Buendia E, et al. (eds.)].
- 43  
Mukerjee P, Sogani R, Gurung N, Rastogi A, Swiderska K 2018 Smallholder farming systems in the Indian Himalayas: Key trends and innovations for resilience. IIED Country Report. IIED, London.
- 44  
Hammer K, Diederichen A 2009 Evolution, status and perspectives for landraces in Europe. In: Veteläinen M, Negri V, Maxted N, editors. *European landraces on-farm conservation, management and use*. Bioversity Technical Bulletin No. 15. Rome, Italy: Bioversity International, 23-44.
- 45  
Mercer KL, Perales HR 2010 Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary Applications* 3 (5-6): 480-493.
- 46  
Smith P, Bustamante M, Ahammad H, Clark H, Dong H, Elsiddig EA et al. 2014 Agriculture, forestry and other land use (AFOLU). In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the intergovernmental Panel on Climate Change*. Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y et al. (eds.) Cambridge University Press, UK and NY USA 811-922.
- 47  
Galloway MacLean, K. (2010). *Advance Guard: Climate change impacts, adaptation, mitigation and indigenous peoples*. A compendium of case studies. UNU-IAS.
- 48  
Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ and Hanson CE (eds) 2007 Indigenous knowledge for adaptation to climate change. In: *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- 49  
Swiderska K, Reid H, Song Y, Li J, Mutta D, Ongugo P, Pakia M, Oros R, Barriga S 2011 The Role of Traditional Knowledge and Crop Varieties in Adaptation to Climate Change and Food Security in SW China, Bolivian Andes and coastal Kenya September. Paper prepared for the UNU-IAS workshop on Indigenous Peoples, Marginalised Populations and Climate Change: Vulnerability, Adaptation and Traditional Knowledge, Mexico.
- 50  
Shukla PR, Skea J, Calvo Buendia E, Masson-Delmotte V et al. (eds.) 2019 *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*.

van Etten, de Sousa K, Aguilar A et al. 2019 Crop variety management for climate adaptation supported by citizen science. PNAS 116 (10): 4194-4199.

Aktion Agrar 2020 Saatgutinitiative 7: Mit vereinten Gärten.

FAO 2015 Soils help to combat and adapt to climate change by playing a key role in the carbon cycle. Viale delle Terme die Caracalla 00153

Thomas F, Baeriswyl A, Ellenberger F, Gothuey N, Hauser C, Helfenstein S, Meier A 2019 Schweizer Landwirtschaft im (Klima)wandel. Schweizer Bauernverband, Brugg.

FAO Shares of emissions

Smith P, Bustamante M, Ahammad et al. 2014: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer O, Pichs-Madruga R, Sokona Y et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY.

Shukla PR, Skea J, Slade et al. 2019 Technical Summary. Shukla PR, Skea J, Calvo Buendia E, et al. (eds.) 2019 Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.

FOEN 2020 Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990–2018: National Inventory Report and reporting tables (CRF). Submission of April 2020 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment, Bern.

Agroscope Swiss Agricultural Greenhouse Gas Inventory

Bundesamt für Umwelt BAFU 2019 Landwirtschaft als Luftschadstoffquelle.

Zaehle S, Ciais P, Friend AD, Prieur V 2011 Carbon benefits of anthropogenic reactive nitrogen offset by nitrous oxide emissions. Nature Geoscience 4: 601-605.

Bannink A 2011 Methane emissions from enteric fermentation in dairy cows, 1990-2008. Bericht. Wageningen UR, Animal Sciences Group, Wageningen.

Kong Y, Xia Y, Seviour R, Forster R, McAllister TA 2013 Biodiversity and composition of methanogenic populations in the rumen of cows fed alfalfa hay or triticale straw. 2013 FEMS Microbiology Ecology 84 (2): 302-315.

Kim M, Morrison M, Yu Z 2011 Status of the phylogenetic diversity census of ruminal microbiomes. FEMS Microbiology Ecology 76 (1): 49-63.

Climate Technology Centre and Network. Methane Emission mitigation of ruminants.

Roehe R, Dewhurst RJ, Duthie C-A et al. 2016 Bovine host genetic variation influences rumen microbial methane production with best selection criterion for low methane emitting and efficiently feed converting hosts based on metagenomic gene abundance. PLoS Genetics 12 (2)

Difford GF, Plichta DR, Løvendahl P et al. 2018 Host genetics and the rumen microbiome jointly associate with methane emissions in dairy cows. PLoS Genetics 14 (10)

Wallace RJ, Sasson G, Garnsworthy PC et al. 2019 A heritable subset of the core rumen microbiome dictates dairy cow productivity and emissions. Science Advances 5 (7)

Giddings LV, Rozansky R, Hart DM 2020 Gene editing for the climate: Biological solutions for curbing greenhouse emissions. Information Technology and Innovation Foundation. Bericht.

Khan S, Loyola C, Dettling J, Hester J, Moses R 2019 Comparative environmental LCA of the Impossible Burger with conventional ground beef burger. Quantis/Impossible Foods.

Li F, Li C, Chen Y et al. 2019 Host genetics influence the rumen microbiota and heritable rumen microbial features associate with feed efficiency in cattle. Microbiome 7:92

Gonzalez-Recio O, Zubiria I, Garcia-Rodriguez A, Hurtado A, Atxaerandio R 2017 Sings of host genetic regulation in the microbiome composition in cattle. Journal of Dairy Science 101 (3) 2285-2292.

Roehe R, Dewhurst RJ, Duthie CA et al. 2016 Bovine host genetic variation influences rumen microbial methane production with best selection criterion for Low methane emitting and efficiently feed converting hosts based on metagenomic gene abundance. PLoS Genetics 2016;12 (2): e1005846.

Cammack KM, Austin KJ, Lamberon WR, Conant G, Cunningham HC 2018 Ruminant Nutrition Symposium: Tiny but mighty: the role of rumen microbes in livestock production. Journal of Animal Science 96: 752-770

Martin C, Morgavi DP, Doreau M 2010 Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. Animal 4 (3): 351-365

Myazaki J, Bauer-Panskus A, Böhn T, Reichenbecher W, Then C 2019 Insufficient risk assessment of herbicide-tolerant genetically engineered soybeans intended for import into the EU. Environmental Sciences Europe 31: 92.

Application of CRISPR/Cas9-mediated gene editing for the development of herbicide-resistant plants. Plant Biotechnology Reports 13 (5)

Cotter J, Perls D 2019 Genetically engineered animals. From Lab to factory farm. Report. Friends of the Earth U.S.

FAO 2005 Grasslands: developments, opportunities, perspectives Ed. Reynolds SG, Frame J. Enfield (NH): FAO, Rome and Science Publishers, Inc.

Nori M, Switzer J, Crawford A 2005 Herding on the brink: towards a global survey of pastoral communities and conflict—an occasional paper from the IUCN commission on environmental, economic and social policy. International Institute for Sustainable Development

Stolze M, Weissshaidinger R, Bartel A, Schwank O, Müller A, Biedermann R 2019 Chancen der Landwirtschaft in den Alpenländern. Wege zu einer raufutterbasierten Milch- und Fleischproduktion in Österreich und der Schweiz. pp 173. Haupt Verlag, Bern.

FAO 2017 Global database of GHG emissions related to feed crops: Methodology. Version 1. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy.

Idel A 2009 Von Hirtennomaden und Hochleistungszucht. Nutztiere in Zeiten des Klimawandels – Konsequenzen aus dem Weltagrarrbericht IAASTD. Statement, Tagung der Allianz für Tiere. Berlin.

Idel A, Beste A 2018 Technikgläubigkeit und Big-Data. Vom Mythos der klimasmarten Landwirtschaft – oder warum weniger vom Schlechten nicht gut ist. Die Grünen/Europäische Freie Allianz. Martin Häusling, MdEP, Wiesbaden

Thornton PK 2010 Livestock production: recent trends, future prospects. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences 365: (1554): 2853-2867

OECD/FAO (2018), OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027, OECD Publishing, Paris/FAO, Rome.

Noleppa S 2012 Klimawandel auf dem Teller. WWF Deutschland, Berlin

Poore J, Nemecek T 2018 Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science 360 (6392): 987-992.

IAASTD synthesis report 2009 Agriculture at a Crossroads. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD). Library of Congress, ISBN 978-1-59726-550-8, 106 pp.

Thorbecke M, Dettling J 2019 Carbon footprint evaluation of regenerative grazing at white oak pastures. Quantis.

FAO 2017 World fertilizer trends and outlook to 2020. Summary Report. FAO, Rome.

USDA 2020 World Agricultural Production. United States Department of Agriculture.

Woods J, Williams A, Hughes JK, Black M, Murphy R 2010 Energy and the food system. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences 365 (1554): 2991-3006.

Zhou X, Passow FH, Rudek J. 2019 Estimation of methane emissions from the U.S. ammonia fertilizer industry using a mobile sensing approach. Elementa 7 (1): 19.

GRAIN 2014 Hungry for Land. Small farmers feed the world with less than a quarter of all farmland. Report, pp. 22.

Hollender AC, Dardick C 2015 Molecular basis of angiosperm tree architecture. New Phytologist 206 (2): 541-556.



97	Shanmugam KT, Morandi C, Andersen K, Valentine RC 1978 Genetic Engineering with Nitrogen Fixation. In: Pye EK, Weetall HH (eds) Enzyme Engineering. Springer, Boston, MA.	109	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt 2019 Erste Feldmessungen von Lachgasisotopen. Medienmitteilung	120	Erb, T 2016 Synthetische Kohlenstoffdioxid-Fixierung. Forschungsbericht 2016 – Max-Planck-Institut für terrestrische Mikrobiologie.	133	Poeplau C, Don A, Vesterdal L et al. 2011 Temporal dynamics of soil organic carbon after land-use change in the temperate zone – carbon response functions as a model approach. <i>Global Change Biology</i> 17 (7): 2415-2427.
98	Werner GDA, Cornwell WK, Sprent JI, Kattge J, Kiers ET 2014 A single evolutionary innovation drives the deep evolution of symbiotic N <sub>2</sub> fixation in angiosperms. <i>Nature Communications</i> 5: 4087.	110	Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) 2011 Klimastrategie Landwirtschaft. Klimaschutz und Anpassung an den Klimawandel für eine nachhaltige Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft.	121	Bastin JF, Finegold Y, Garcia C et al. 2019 The global tree restoration potential. <i>Science</i> 365 (6448): 76-79.	134	Kay S, Rega C, Moreno G et al. 2019 Agroforestry creates carbon sinks whilst enhancing the environment in agricultural landscapes in Europe. <i>Land Use Policy</i> 83: 581-593.
99	Godfray HCJ, Beddington JR, Crute IR et al. 2010 Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. <i>Science</i> 2010 327 (5967): 812-818.	111	Smith P, Martino D, Cai Z et al. 2007: Agriculture. In <i>Climate Change 2007 Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change</i> Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.	122	Mizrachi E, Mansfield SD, Myburg AA 2012 Cellulose factories: Advancing bioenergy production from forest trees. <i>New Phytologist</i> 194 (1): 54-62.	135	Briner S, Hartmann M, Lehmann B 2011 Sind Agroforstsysteme eine Ökonomische Möglichkeit zur CO <sub>2</sub> -neutralen Tierproduktion? <i>Agroforstsch Schweiz</i> 2 (1): 12-19.
100	Batista-Silva W, Fonseca-Pereira P, Martins A et al. 2020 Engineering improved photosynthesis in the era of synthetic biology. <i>Plant Communications</i> 1 (2)	112	Henzen C, Angele H-C, Maerki A et al. 2012 Ressourcen- und Klimaeffizienz in der Landwirtschaft: Potenzialanalyse. <i>AgroCleanTech</i> , Brugg.	123	Fenning TM, Walter C, Gartland KMA 2008 Forest biotech and climate change. <i>Nature Biotechnology</i> 26: 615-617.	136	Jose S 2009 Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. <i>Agroforestry Systems</i> 76: 1-10.
101	GRAIN 2007 Bt cotton – the facts behind the hype. Seedling: 18-24.	113	Wüst-Galley C, Grüning A, Leifeld J 2015 Locating organic soils for the Swiss greenhouse gas inventory. <i>Agroscopy Science</i> 26: 1-100.	124	Busov VB 2018 Manipulation of growth and architectural characteristics in trees for increased woody biomass production. <i>Frontiers in Plant Sciences</i> 9: 1505.	137	Malézieux E, Crozat Y, Dupraz C et al. 2009 Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. <i>Agronomy for Sustainable Development</i> 29: 43-62.
102	Lammerts van Bueren ET, Struik PC 2017 Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. <i>Agronomy for Sustainable Development</i> 37: 50.	114	Bader C, Müller M, Schulin R, Leifeld J 2018 Peat decomposability in managed organic soils in relation to land use, organic matter composition and temperature. <i>Biogeosciences</i> 15: 703-719.	125	Chang S, Mahon EL, MacKay HA et al. Genetic engineering of trees: progress and new horizons. In <i>Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant</i> 54: 341-376.		
103	Lin H, Huber JA, Gerl G, Hülsbergen K-J 2016 Nitrogen balances and nitrogen-use efficiency of different organic and conventional farming systems. <i>Nutrient Cycling in Agroecosystems</i> . 105: 1-23.	115	Smith P 2004 Engineered biological sinks on land. In: <i>The Global Carbon Cycle. Integrating humans, climate, and the natural world</i> . Field CB, Raupach MR (eds.). SCOPE 62, Island Press, Washington D.C., 479-491.	126	Oles V, Panchenko A, Smertenko A 2017 Modeling hormonal control of cambium proliferation. <i>PLOS ONE</i> 12 (2): e0171927 10.1371/journal.pone.0171927		
104	Arncken C, Schmack A-K, Spiegel K et al. 2014 Leguminosen Nutzen. Naturverträgliche Anbaumethoden aus der Praxis. Bundesamt für Naturschutz (BfN), Bonn.	116	Janzen HH 2004 Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. <i>Agriculture, Ecosystems and Environment</i> 104: 399-417.	127	Milgroom J, Florin, GRAIN 2017 Agroecology getting to the root causes of climate change. <i>Editorial. Farming Matters</i> 33.1.		
105	HLPE 2019 Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome	117	Metz B Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA (eds) 2007 Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge UK and NY, USA. (Chapter 8).	128	Nicholls CI, Altieri MA 2016 Agroecology: Principles for the conversion and redesign of farming systems. <i>Journal of Ecosystem and Ecography</i> S5:1.		
106	Uwizeye A, de Boer IJM, Opio CI et al. 2020 Nitrogen emissions along global livestock supply chains. <i>Nature Food</i> 1: 437-446.	118	Salk Power of Plants	129	Schaffnit-Chatterjee C 2011 Minderung des Klimawandels durch Landwirtschaft. Ein ungenutztes Potenzial. <i>Trendforschung, Aktuelle Themen</i> 529, Deutsche Bank Research, Frankfurt am Main.		
107	Hüppi R, Felber R, Neftel A, Six J, Leifeld J 2015 Effect of biochar and liming on soil nitrous oxide emissions from a temperate maize cropping system. <i>Soil</i> 1: 707-717	119	Naseem M, Osmanoglu Ö, Dandekar T 2020 Synthetic rewiring of plant CO <sub>2</sub> sequestration galvanizes plant biomass production. <i>Trends in Biotechnology</i> 38 (4): 354-359.	130	Rodale Institute 2011 The Farming systems trial. Celebrating 30 years. Rodale Institute, USA.		
108	FAO 2017. Global database of GHG emissions related to feed crops: Methodology. Version 1. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy.			131	Huang Y 2018 Greenhouse gas emissions and crop yield in no-tillage systems: A meta-analysis. <i>Agriculture, Ecosystems and Environment</i> . 268: 144-153.		
				132	Mangalassery S, Sjögersten S, Sparkes DL, Sturrock CJ, Craigon J, Mooney SJ 2014 To what extent can zero tillage lead to a reduction in greenhouse gas emissions from temperate soils? <i>Scientific Reports</i> 4: 4586.		









#### Herausgeberin

SAG Schweizer Allianz Gentechfrei  
Hottingerstrasse 32  
8032 Zürich  
044 262 25 63  
info@gentechfrei.ch  
gentechfrei.ch

#### Autorin

Zsafia Hock

#### Korrektorat

Kathrin Graffe

#### Gestaltung

studio bergerberg

#### Druck

Kalt Medien AG

Eine gentechfreie, klimafreundliche,  
zukunftsfähige Landwirtschaft unterstützen.  
Die SAG setzt sich seit 30 Jahren dafür ein,  
dass auch künftige Generationen in einer  
Schweiz mit einer gentechnikfreien Land- und  
Ernährungswirtschaft aufwachsen können.  
Denn nur eine natürliche Landwirtschaft kann  
gerecht, vielfältig und nachhaltig klimafreund-  
lich sein.

#### Spenden

Postkonto-Nummer 80-150-6  
Einzahlung für SAG, 8032 Zürich  
IBAN CH07 0900 0000 8000 0150 6  
BIC POFICHBEXXX  
Neu: Spenden per SMS  
SMS an Nr. 488 mit «sag Betrag»  
Beispiel: «sag35»

