

Oliver Maaß, Hella Kehlenbeck

Sozioökonomische Aspekte von Genome Editing in Nutzpflanzen am Beispiel der Wertschöpfungsketten von Weizen

Socioeconomic aspects of genome editing in crops:
The case of the value chains of wheat

203

Zusammenfassung

Genom Editing (GE) bietet zahlreiche Möglichkeiten, Nutzpflanzen mit hoher Präzision und Geschwindigkeit zu verbessern. Das Verständnis der sozioökonomischen Folgen von GE für die Agrarwirtschaft ist jedoch unzureichend. Ziel dieser qualitativen Studie ist es, zu analysieren wie sich GE auf landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten auswirken könnte. Basierend auf den hypothetischen Fallbeispielen der Nutzung von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen in Deutschland, wurde eine Wertschöpfungsketten-Analyse durchgeführt, um Kosten und Nutzen von GE entlang der Wertschöpfungsketten von Weizen zu bewerten. Die Primärdaten wurden durch semi-strukturierte Experteninterviews mit Verbänden und Unternehmen in den Wertschöpfungsketten von Weizen erhoben. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nutzung von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen in jeder der untersuchten Wertschöpfungsstufen Nutzen generiert. Die Ergebnisse verdeutlichen aber auch, dass eine geringe Akzeptanz von GE in der Gesellschaft und im Lebensmitteleinzelhandel ein signifikantes Hemmnis für die Nutzung von genomeditierten Pflanzen in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten darstellt.

Stichwörter: Genom Editierung, Kosten, Nutzen, Wertschöpfungskettenanalyse, Weizen, Pilzresistenz, Zöliakie

Abstract

Genome editing (GE) offers numerous opportunities to improve crops with high accuracy and speed. However, the understanding of the socioeconomic impact of GE on agribusiness is insufficient. The objective of this qualitative study is to analyze how GE could affect agricultural value chains. A value chain analysis based on the hypothetical cases of using fungal-resistant and coeliac-safe wheat in Germany was conducted in order to assess the costs and benefits of the analyzed crops along the value chains of wheat. Primary data was collected by semi-structured expert interviews with associations and companies operating in the value chains of wheat. The results show that the use of fungal-resistant and coeliac-safe wheat leads to benefits at each step of the value chains. However, the results also show that low acceptance of genome editing by society and food retailers poses a significant barrier for the adoption of genome-edited crops in agricultural value chains.

Key words: genome editing, costs, benefits, value chain analysis, wheat, fungal resistance, coeliac disease

1 Einleitung

Die sichere und ausreichende Versorgung der wachsenden Weltbevölkerung mit Nahrungsmitteln ist eine der

Affiliation

Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Kleinmachnow

Kontaktanschriften

Dr. Oliver Maaß, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: oliver.maass@julius-kuehn.de

Dr. Hella Kehlenbeck, Julius Kühn-Institut (JKI) – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Strategien und Folgenabschätzung, Stahnsdorfer Damm 81, 14532 Kleinmachnow, E-Mail: hella.kehlenbeck@julius-kuehn.de

Zur Veröffentlichung angenommen

23. März 2020

wichtigsten Herausforderungen für die Agrarwirtschaft (GODFRAY et al., 2010). Bis 2050 wird die Weltbevölkerung voraussichtlich auf 9,7 Milliarden Menschen anwachsen (UNITED NATIONS, 2019). Die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO) schätzt, dass bis 2050 im Vergleich zu 2005/2007 etwa 60% mehr Lebensmittel benötigt werden, was erhebliche Folgen für die Landwirtschaft und die Lebensmittelproduktion haben wird (ALEXANDRATOS und BRUINSMA, 2012). Gleichzeitig ist die Agrarwirtschaft durch die begrenzte Verfügbarkeit natürlicher Ressourcen (z.B. Wasser und Land), den Klimawandel, biotische und abiotische Stressfaktoren sowie durch gesellschaftliche Forderungen nach sozial, ökonomisch und ökologisch nachhaltigen Produktionsmethoden herausgefordert. Eine Strategie, die zur Bewältigung dieser Herausforderungen beitragen könnte, ist die Entwicklung verbesserter Nutzpflanzen durch Genome Editing (GE) (MA et al., 2018).

GE ist ein Sammelbegriff für eine Reihe von neuen molekularbiologischen Züchtungstechniken, die zur gezielten Modifikation von DNA-Sequenzen von Nutzpflanzen, Tieren und Menschen genutzt werden können (GAJ et al., 2013). Im Gegensatz zu konventionellen Züchtungstechniken und klassischer Gentechnik, die auf zufälligen Mutationen vieler Gene bzw. auf dem zufälligen Einschleusen neuer, meist artfremder Gene basieren, ermöglicht GE die selektive Mutation eines oder einiger weniger Gene. Darüber hinaus ermöglicht GE die präzise Modifikation und den Austausch kompletter Gene von eng oder entfernt verwandten Organismen (BUJNICKI et al., 2017). Der Ursprung der Technologie geht zurück bis in die 1970er und 1980er Jahre, als erstmals gezielte Genomveränderungen bei Hefe und Mäusen erzeugt wurden (CARROLL, 2017). Seitdem wurde eine Vielzahl von Techniken zur gezielten Modifikation von Genomen entwickelt. Bestehende GE-Techniken können in drei Ansätze unterteilt werden: (1) *Site-directed nucleases (SDN)*, inklusive *Meganucleases (MN)*, *Zinc-Finger Nucleases (ZFNs)*, *Transcription Activator-like Effector Nucleases (TALENs)* und *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats/CRISPR associated protein (CRISPR/Cas)*; (2) *Oligonucleotide-directed Mutagenesis (ODM)* und (3) *Base Editing (BE)* (MODRZEJEWSKI et al., 2019). Von diesen Techniken werden CRISPR-Systeme und TALENs am häufigsten für Genomveränderungen bei Nutzpflanzen angewendet (METJE-SPRINK et al., 2018). Eine detaillierte Beschreibung existierender GE-Techniken findet sich in den Studien von KAMBUROVA et al. (2017) und MODRZEJEWSKI et al. (2019). Ein Vergleich von GE-Techniken, konventionellen Züchtungsmethoden (z.B. Mutationszüchtung durch Bestrahlung) und klassischer Gentechnik wird in der Studie von BUJNICKI et al. (2017) vorgenommen.

Mehrere Studien heben das Potenzial von GE für die Verbesserung von Nutzpflanzen und die Sicherung der weltweiten Nahrungsmittelversorgung hervor (ABDALLAH et al., 2015; GEORGES und RAY, 2017; MA et al., 2018). Der wesentliche Vorteil von GE gegenüber klassischen Mutationszüchtungsverfahren und der klassischen Gentech-

nik ist die Möglichkeit, Nutzpflanzen mit höherer Präzision und Geschwindigkeit zu modifizieren (VOYTAS und GAO, 2014; ABDALLAH et al., 2015; MODRZEJEWSKI et al., 2019). Darüber hinaus sind sich Experten einig, dass GE-Techniken mehr Möglichkeiten als konventionelle Züchtungstechniken bieten, um Nutzpflanzen mit höherer agronomischer Leistung (z.B. Krankheitsresistenz, Trockenheitstoleranz, Ertragssteigerung), Produktqualität (z.B. verbesserter Nährwert, bessere Lagerfähigkeit, entfernte Allergene) und Widerstandsfähigkeit gegen die Folgen des Klimawandels zu entwickeln (ABDALLAH et al., 2015; VAN DE WIEL et al., 2017; LASSOUED et al., 2019). Zu den Bedenken bezüglich GE in Nutzpflanzen gehört das mögliche Auftreten von unbeabsichtigten Mutationen an Positionen des Genoms, die nicht der Zielposition entsprechen (MODRZEJEWSKI et al., 2019). Obwohl Off-Target-Effekte bei der Anwendung von GE selten auftreten (MODRZEJEWSKI et al., 2019), können sie Züchter vor Herausforderungen stellen, da sie genetische Instabilität, Zytotoxizität und Zelltod auslösen können (WIKMARK und AGAPITO-TENFEN, 2015; ZHANG et al., 2015; KANCHISWAMY et al., 2016; ZHAO und WOLT, 2017).

In den letzten Jahren wurden GE-Techniken zunehmend bei einer Vielzahl von Nutzpflanzen eingesetzt, um Genfunktionen zu untersuchen und Pflanzeigenschaften zu verbessern (JAGANATHAN et al., 2018; MODRZEJEWSKI et al., 2019). In einigen Ländern wie den Vereinigten Staaten und Kanada, wurden genomeditierte Pflanzen bereits in Verkehr gebracht (CALYXT, 2019) oder stehen kurz vor der Markteinführung (DUPONT PIONEER, 2016; U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE–ANIMAL AND PLANT HEALTH, 2016, 2017; WALTZ, 2018). Im Gegensatz dazu sind genomeditierte Pflanzen in Europa noch weit von einer Kommerzialisierung entfernt.

Der Europäische Gerichtshof (EuGH) hat im Juli 2018 entschieden, dass Organismen, die durch neue molekularbiologische Techniken wie CRISPR/Cas erzeugt wurden genetisch veränderte Organismen (GVO) darstellen und grundsätzlich in den Anwendungsbereich der GVO-Freisetzungsrichtlinie 2001/18/EG fallen (GERICHTSHOF DER EUROPÄISCHEN UNION, 2018). Die Vorschriften der Freisetzungsrichtlinie schreiben vor, dass GVO und die daraus erzeugten Produkte vor dem Inverkehrbringen einer umfassenden Sicherheitsbewertung unterzogen werden müssen. Darüber hinaus müssen sie rückverfolgbar sein und gekennzeichnet werden. Diese strenge Regulierung von GE wird als ein wesentliches Hemmnis für die Nutzung genomeditierter Pflanzen in Europa angesehen (SCHEBEN und EDWARDS, 2018).

Aufgrund der vielfältigen Potenziale von GE ist das gesellschaftliche Interesse an einem besseren Verständnis der sozioökonomischen Folgen von GE für die Agrarwirtschaft groß. Die Literatur über sozioökonomische Aspekte von GE in Nutzpflanzen ist jedoch begrenzt und besteht hauptsächlich aus Review- und Diskussionsartikeln über die gesellschaftlichen Chancen und Herausforderungen durch GE (CARROLL und CHARO, 2015; SCHAART et al., 2016; GEORGES und RAY, 2017; MA et al., 2018; HUA et al., 2019; LASSOUED et al., 2019). Einige Studien haben rechtliche (HARTUNG und SCHIEMANN, 2014; RICOCH et al.,

2016; SPRINK et al., 2016; WASMER, 2019) und ethische Fragen diskutiert (CAPLAN et al., 2015; RODRIGUEZ, 2016; BECHTOLD, 2018; BRAUN und DABROCK, 2018). Darüber hinaus haben verschiedene Studien die gesellschaftliche Akzeptanz von GE untersucht (ARAKI und ISHII, 2015; ISHII und ARAKI, 2016; HOPP et al., 2017; SHEW et al., 2018). Ein Forschungsprogramm für die Analyse der sozioökonomischen Auswirkungen der Regulierung von GE wurde von WHELAN und LEMA (2017) vorgeschlagen. Allerdings wurden bis heute noch keine empirischen Studien über die sozioökonomischen Folgen von GE durchgeführt. Das Verständnis der sozioökonomischen Folgen von GE für landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten ist daher unzureichend. Insbesondere ist wenig über die potenziellen Kosten und Nutzen, die ökonomischen Risiken sowie die Treiber und Hemmnisse für die Nutzung genomeditierter Pflanzen in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten bekannt. Darüber hinaus fehlt fundiertes Wissen über die Voraussetzungen und die Motive der Akteure, genomeditierte Pflanzen zu produzieren und zu nutzen.

Die vorliegende Studie soll dazu beitragen, diese Wissenslücken zu füllen. Ziel ist es – ausgehend von einem hypothetischen Fall der Nutzung genomeditierter Pflanzen in Deutschland – empirisch zu analysieren, welche Folgen GE für landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten haben könnte. Insbesondere sollen folgende Forschungsfragen beantwortet werden:

- (1) Welche Voraussetzungen müssen für die Nutzung von genomeditierten Pflanzen in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten erfüllt sein?
- (2) Welche Motive haben Akteure in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten genomeditierte Pflanzen zu nutzen?
- (3) Welche Kosten und Nutzen resultieren aus der Nutzung von genomeditierten Pflanzen?
- (4) Welche ökonomischen Risiken sind mit der Nutzung von genomeditierten Pflanzen verbunden?
- (5) Welche Faktoren fördern bzw. behindern die Nutzung von genomeditierten Pflanzen in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten?

Die Kapitel der vorliegenden Arbeit basieren im Wesentlichen auf Übersetzungen von ausgewählten Textabschnitten der Studie „*Socioeconomic Impact of Genome Editing on Agricultural Value Chains: The Case of Fungal-Resistant and Coeliac-Safe Wheat*“, von MAAß et al. (2019), die unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) in der Zeitschrift *Sustainability* online veröffentlicht wurde (<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/22/6421>). Die Struktur einzelner Kapitel und Textabschnitte wurde verändert.

2 Material und Methoden

Die sozioökonomischen Folgen von GE für landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten wurden mit Hilfe eines

auf Fallstudien- und Szenariomethoden basierenden qualitativen Ansatzes untersucht. Die untersuchten Fallstudien sind die Wertschöpfungsketten von Weizen. Weizen ist eine der am häufigsten angebauten Nutzpflanzen der Welt und ein elementarer Bestandteil der Ernährung von Mensch und Tier in klimatisch gemäßigten Regionen (SHEWRY und HEY, 2015). Im Jahr 2018 ernteten die Landwirte in Deutschland 20,3 Millionen Tonnen Weizen, der auf mehr als 3,0 Millionen Hektar angebaut wurde. Diese Fläche machte 49% der gesamten Getreideanbaufläche und 26% der Gesamtanbaufläche in Deutschland im Jahr 2018 aus (KEMPER et al., 2019). Der folgende Abschnitt enthält Informationen über die Wertschöpfungsketten von Weizen, die für die Analyse ausgewählten Züchtungsziele und die für die Erhebung und Analyse der Daten verwendeten Methoden.

2.1 Fallstudie

2.1.1 Wertschöpfungskette Weizen. Abbildung 1 zeigt die Wertschöpfungsketten, die an der Produktion und Verarbeitung von Weizen beteiligt sind und wie diese durch verschiedene Input- und Output-Beziehungen miteinander verbunden sind.

Die Wertschöpfungsketten von Weizen bestehen aus mehreren Wertschöpfungsstufen, zu denen neben der Pflanzenproduktion und der Verarbeitung von Weizen, auch verschiedene Vorleistungs- und Handelsstufen gehören. Zu den Vorleistungsstufen der Weizenproduktion gehören die Entwicklung innovativer Züchtungsmethoden (z.B. GE), die Züchtung neuer Weizensorten und die Produktion von Saatgut. Zu den Handelsstufen gehören der Agrarhandel sowie der Groß- und Einzelhandel im Nahrungsmittel- und Nichtnahrungsmittelbereich.

Die Verarbeitung von Weizen beginnt in der Mühlenindustrie, die Weizen zur Herstellung verschiedener Inputs für die Nahrungsmittelproduktion (z.B. Mehl, Grieß), die Stärkeproduktion (z.B. Mehl), die Futtermittelproduktion (z.B. Kleie) und die Bioethanolproduktion (z.B. Mehl) nutzt. In der Lebensmittelproduktion werden diese Inputs zur Herstellung von Lebensmitteln wie Brot und Backwaren, Fertiggerichten (z.B. Pasta, Tiefkühlkost) oder Frühstückszerealien verwendet. In der Stärkeproduktion dienen diese Inputs der Produktion verschiedener Arten von Stärke, die wiederum in nachgelagerten Wertschöpfungsstufen als Input für die Herstellung von Lebensmitteln und Industrieprodukten (z.B. Papier, Bioplastik, Klebstoffe) verwendet werden.

Weitere Wertschöpfungsketten, in denen Weizen genutzt wird, sind die Wertschöpfungsketten der Futtermittel- und der Bioethanolproduktion. Die Wertschöpfungskette der Futtermittelproduktion produziert aus Weizen Futtermittel, die in der Milchproduktion sowie in der Rinder-, Schweine-, Geflügel- und Aquakulturproduktion genutzt werden. Die Wertschöpfungskette der Bioethanolproduktion nutzt Weizen als Rohstoff für die Herstellung von Bioethanol.

Zwischen den Wertschöpfungsketten der Lebensmittel-, Stärke-, Futtermittel- und Bioethanolproduktion

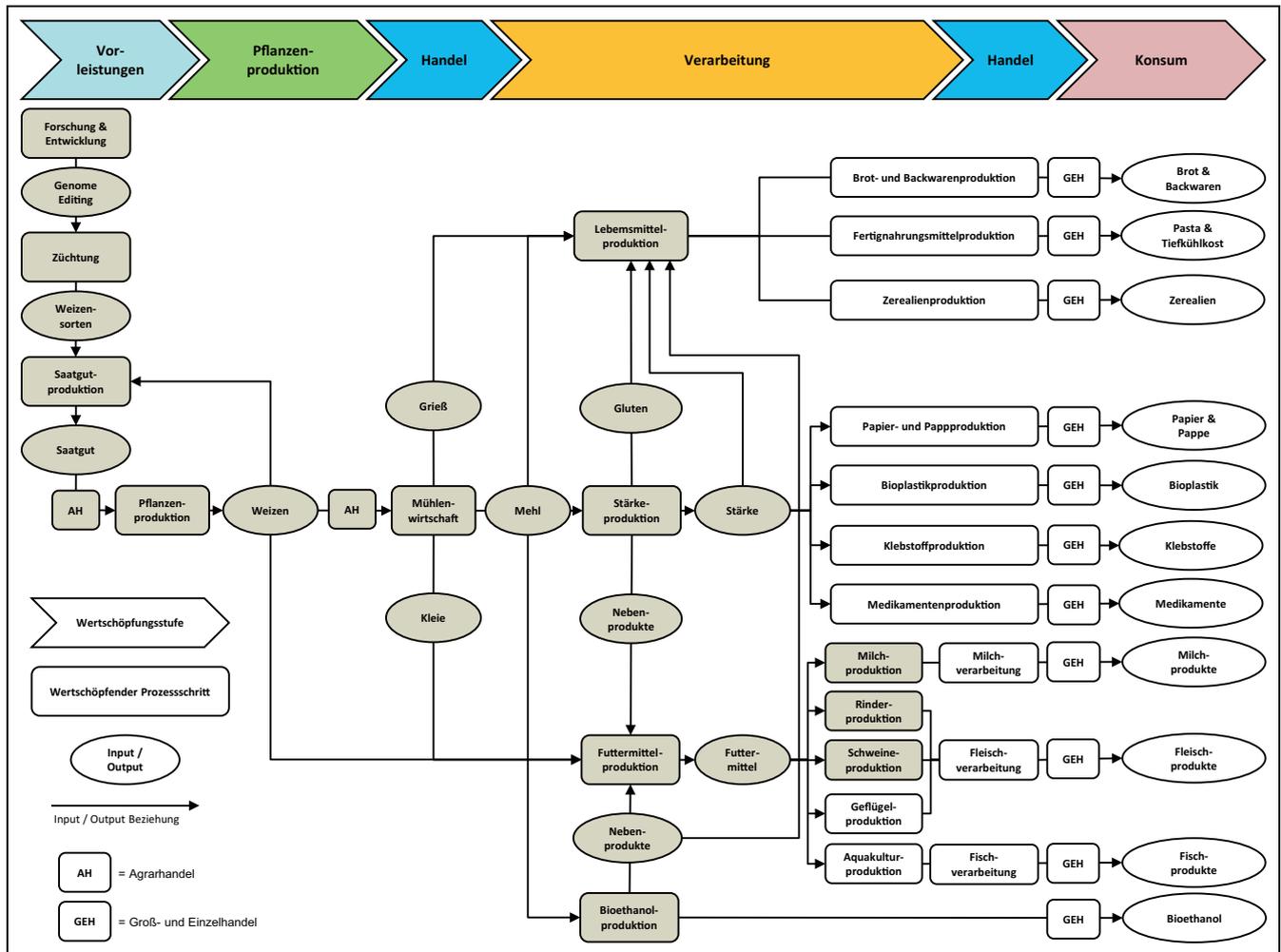


Abb. 1. Übersicht über die an der Produktion und Verarbeitung von Weizen beteiligten Wertschöpfungsketten (in Anlehnung an MAAß et al., 2019: S. 5)

bestehen mehrere Verbindungen. Die Wertschöpfungskette der Futtermittelproduktion ist mit den Wertschöpfungsketten der Stärke- und Bioethanolproduktion verbunden, indem Nebenprodukte der Stärkeproduktion (z.B. Gluten und Flüssigstoffe) und der Bioethanolproduktion (z.B. Trockenschlempe) als Input für die Produktion von Futtermitteln verwendet werden. Die Wertschöpfungskette der Bioethanolproduktion ist mit der Wertschöpfungskette der Lebensmittelproduktion verbunden, indem Nebenprodukte der Bioethanolproduktion (z.B. Gluten) als Input für die Herstellung von Lebensmitteln genutzt werden.

2.1.2 Züchtungsziele. Für die Analyse wurden zwei hypothetische Züchtungsziele ausgewählt, die für die Wertschöpfungsketten von Weizen relevant sind: (1) Pilzresistenter Weizen und (2) Zöliakie-sicherer Weizen.

Pilzresistenter Weizen ist in dieser Studie als eine Sorte definiert, die durch eine multiple Resistenz gegen verschiedene Pilzkrankheiten gekennzeichnet ist, darunter Mehltau (*Blumeria graminis* sp. *tritici*), Gelbrost (*Puccinia striiformis*), Braunrost (*Puccinia triticina*), Septoria-Blattflecken (*Septoria tritici*) und Fusarium (*Fusarium*

spp.). Die Kontrolle von Pilzkrankheiten ist eine der größten Herausforderungen für die Pflanzenproduktion auf der ganzen Welt. Pilzkrankheiten können die Erträge und die Qualität von Nutzpflanzen erheblich vermindern (OERKE, 2006; SAVARY et al., 2019). Darüber hinaus können sie die Kosten für den Anbau und die Verarbeitung von Pflanzen aufgrund von Fungizidanwendungen und zusätzlichen Behandlungen der Ernteware (z.B. Sortierung, Reinigung) erhöhen (LOPEZ et al., 2015; LUO et al., 2018). Ein weiteres mit Pilzkrankheiten verbundenes Problem ist die Bildung von Mykotoxinen (TOLA und KEBEDE, 2016; STEIN und BULBOACĂ, 2017). Insbesondere die durch *Fusarium* produzierten Mykotoxine – Deoxynivalenol (DON) und Zearalenon (ZEA) – stellen ein Risiko für Mensch und Tier dar, da sie zu Vergiftungen sowie zu Gesundheits- und Leistungsdepressionen führen können (ZAIN, 2011; BRYDEN, 2012). Die Nutzung von Weizensorten, die eine Resistenz gegen *Fusarium* und andere Pilzkrankheiten aufweisen, kann möglicherweise dazu beitragen, diese Probleme in den Wertschöpfungsketten von Weizen zu reduzieren.

Zöliakie-sicherer Weizen ist in dieser Studie als eine Sorte definiert, die von Verbrauchern mit Zöliakie ohne

gesundheitliche Risiken konsumiert werden kann. Zöliakie ist eine Autoimmunkrankheit des Dünndarms, die durch eine chronische Unverträglichkeit gegenüber Gluten – ein in Weizen, Gerste und Roggen vorkommendes Protein – verursacht wird. Zöliakie ist eine der wichtigsten Nahrungsmittelunverträglichkeiten weltweit und ihre Prävalenz ist steigend (GOBBETTI et al., 2018). Studien zeigen, dass in Europa etwa 1% der Bevölkerung von Zöliakie betroffen ist (MUSTALAHTI et al., 2010). Zu den typischen Symptomen der Zöliakie gehören Magen-Darm-Probleme wie Durchfall, Gewichtsverlust, Blähungen und Bauchschmerzen sowie nicht-magendarmtypische Anomalien wie Eisenmangelanämie, Knochenerkrankungen und Hautkrankheiten (RUBIO-TAPIA et al., 2013). Derzeit ist die einzige wirksame Behandlung der Zöliakie eine lebenslange glutenfreie Ernährung (KUPPER, 2005; RUBIO-TAPIA et al., 2013). Die Einhaltung einer glutenfreien Diät ist für Konsumenten jedoch schwierig, da Gluten vielen Lebensmitteln aufgrund seiner viskoelastischen Eigenschaften zugesetzt wird (JOUANIN et al., 2018a; JOUANIN et al., 2018b). Darüber hinaus sind glutenfreie Produkte oft weniger gesund und teurer als glutenhaltige Produkte (JNAWALI et al., 2016; GOBBETTI et al., 2018; JOUANIN et al., 2018a). Weizensorten, die keine Zöliakie verursachen, können für die Betroffenen eine Alternative zu einer glutenfreien Ernährung darstellen.

Die Entwicklung von Weizensorten, die sich durch eine multiple und langfristige Resistenz gegen Pilzkrankheiten auszeichnen, stellt für Pflanzenzüchter eine Herausforderung dar. Ebenso konnten bisher noch keine Weizensorten gezüchtet werden, die ohne Risiken von Personen mit Zöliakie konsumiert werden können. Basierend auf den jüngsten Fortschritten in der Weizenzüchtung mit GE wurde angenommen, dass GE dazu beitragen kann, Weizensorten zu entwickeln, die eine multiple und langfristige Resistenz gegen Pilzkrankheiten aufweisen (MUÑOZ et al., 2019). Darüber hinaus wurde angenommen, dass GE zur Entwicklung von Weizensorten beitragen kann, die auch für Konsumenten mit Zöliakie geeignet sind (GIL-HUMANES et al., 2017; JOUANIN et al., 2018b; SÁNCHEZ-LEÓN et al., 2018).

2.2 Datenerhebung

Die für die qualitative Analyse benötigten Daten wurden im Zeitraum Februar 2018 – Februar 2019 durch Experteninterviews erhoben. Die Interviews wurden hauptsächlich mit Verbänden geführt, welche Unternehmen vertreten, die in den Wertschöpfungsketten von Weizen in Deutschland tätig sind. Die befragten Verbände wurden durch Literaturrecherchen identifiziert und nach ihrer Bedeutung ausgewählt, d.h. es wurden solche Verbände ausgewählt, die die Mehrheit der in einer bestimmten Branche tätigen Unternehmen vertreten. Alle ausgewählten Verbände wurden telefonisch oder per E-Mail kontaktiert. Diejenigen, die bereit waren, Informationen bereitzustellen, wurden befragt.

Alle befragten Verbandsmitarbeiter waren Experten, die aufgrund ihrer Fachkenntnisse und Erfahrungen in der Züchtung, dem Anbau, der Verarbeitung oder der

Vermarktung von Weizen und Weizenprodukten ausgewählt wurden. Insgesamt wurden siebzehn Experten aus zwölf verschiedenen Verbänden befragt. Von diesen Verbänden waren drei in der Züchtung und Saatgutproduktion tätig, drei vertraten Landwirte und Agrarhändler und sechs repräsentierten verschiedene Industriezweige, die an der Verarbeitung von Weizen beteiligt sind (d.h. Mühlenwirtschaft, Nahrungsmittelproduktion, Stärkeproduktion, Futtermittelproduktion, Tierproduktion). Darüber hinaus wurden sieben Experten von vier Unternehmen befragt, die in der Züchtung und Saatgutproduktion, der Stärkeproduktion und in der Bioethanolproduktion tätig sind. Diese Interviews dienten dazu, zusätzliche Informationen über die Folgen der Nutzung genomeditierter Pflanzen aus betrieblicher Sicht zu sammeln.

In den Interviews ging es zum einen um die Akteure, deren ökonomische Aktivitäten sowie um die Input- und Output-Beziehungen zwischen den Wertschöpfungsketten, die an der Produktion und Verarbeitung von Weizen beteiligt sind. Zum anderen wurden in den Interviews die Voraussetzungen und die Motive für die Produktion und Nutzung von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen thematisiert. Weitere Themen waren mögliche Kosten und Nutzen, ökonomische Risiken sowie Treiber und Hemmnisse für die Produktion und Nutzung von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen.

Die Interviews wurden durch Leitfäden gestützt, die eine Balance zwischen der Flexibilität eines offenen Interviews und dem Fokus einer strukturierten Befragung ermöglichen (MCCAMMON, 2019). Die Leitfäden enthielten dieselben Themen und Fragen für alle Interviews, jedoch wurden einzelne Fragen an die befragten Experten und die von ihnen vertretenen Wertschöpfungsstufen angepasst. Die Interviews dauerten zwischen 40 und 160 Minuten und fanden hauptsächlich in den Geschäftsräumen der befragten Verbände und Unternehmen statt. Alle Interviews wurden digital aufgenommen und transkribiert. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die entlang der einzelnen Wertschöpfungsstufen durchgeführten Interviews mit Informationen über die Interviewten (d.h. Verband oder Unternehmen), das Datum und die Dauer der Interviews sowie über die Anzahl der jeweils befragten Experten.

2.3 Datenanalyse

2.3.1 Analyseschwerpunkt. Die Studie konzentriert sich auf die inländische Produktion und Nutzung von Weizen in Deutschland und vernachlässigt mögliche Folgen von GE für den Import und Export von Weizen und Weizenprodukten. Die in der Analyse betrachteten Wertschöpfungsstufen sind (1) die Züchtung, (2) die Saatgutproduktion, (3) die Pflanzenproduktion, (4) der Agrarhandel, (5) die Mühlenwirtschaft, (6) die Nahrungsmittelproduktion, (7) die Stärkeproduktion, (8) die Futtermittelproduktion, (9) die Tierproduktion (d.h. Rinder-, Schweine- und Milchproduktion) und (10) die Bioethanolproduktion. Weitere Wertschöpfungsstufen, wie z.B. die Brot- und Backwarenproduktion oder die Geflügel-

Tab. 1. Durchgeführte Experteninterviews

Wertschöpfungsstufe	Interviewte	Datum	Dauer	Anzahl der interviewten Experten
Züchtung und Saatgutproduktion	Verband	26.02.2018	137 Min	1
	Unternehmen	15.03.2018	124 Min	2
	Verband	23.03.2018	106 Min	3
	Verband	17.04.2018	130 Min	1
Pflanzenproduktion	Verband	22.02.2018	157 Min	1
	Verband	23.06.2018	132 Min	3
Agrarhandel	Verband	11.02.2019	69 Min	1
Mühlenwirtschaft	Verband	28.02.2018	110 Min	1
Lebensmittelproduktion	Verband	04.12.2018	144 Min	2
	Verband	28.02.2018	38 Min	1
Stärkeproduktion	Unternehmen	08.05.2018	156 Min	1
	Unternehmen	14.05.2018	125 Min	1
	Verband	18.04.2018	131 Min	1
Futtermittelproduktion	Verband	18.04.2018	131 Min	1
Tierproduktion	Verband	26.06.2018	163 Min	1
	Verband	28.06.2018	115 Min	1
Bioethanolproduktion	Unternehmen	29.06.2018	106 Min	3

produktion, wurden in der Analyse nicht berücksichtigt, da keine geeigneten Experten für Interviews zur Verfügung standen. Abbildung 1 zeigt den Schwerpunkt der Analyse durch die grau unterlegten Felder.

2.3.2 Szenarios. Die sozioökonomischen Folgen von GE für die Wertschöpfungsketten von Weizen wurden analysiert, indem die Produktion und Nutzung von Weizen und weizenbasierten Produkten entlang der untersuchten Wertschöpfungsstufen in zwei verschiedenen Szenarien verglichen wurden.

Das Szenario „ohne Genome Editing“, ist das Basisszenario, das die aktuellen Wertschöpfungsketten von Weizen repräsentiert. In diesem Szenario wurde angenommen, dass GE als Methode zur Entwicklung verbesserter Weizensorten nicht verfügbar ist. Darüber hinaus wurde angenommen, dass die Akteure in den Wertschöpfungsketten von Weizen Sorten verwenden, die keine multiple Resistenz gegen Pilzkrankheiten aufweisen und nicht für Konsumenten mit Zöliakie geeignet sind.

Das Szenario „mit Genome Editing“, ist ein Szenario, das die innovativen Wertschöpfungsketten von Weizen darstellt. In diesem Szenario wurde angenommen, dass GE den Züchtern hilft, zum einen Weizensorten zu entwickeln, die gegen multiple Pilzkrankheiten resistent sind und zum anderen Weizensorten, die von Zöliakiepatienten ohne gesundheitliche Risiken konsumiert werden können. Darüber hinaus wurde angenommen, dass mit GE entwickelte Pflanzen nicht als gentechnisch veränderte Organismen (GVO) gelten, d.h. dass diese Pflanzen und die daraus hergestellten Produkte nicht den Regeln der europäischen GVO-Gesetzgebung unterliegen. Diese Annahme wurde getroffen, bevor der Europäische Gerichtshof im Juli 2018 entschieden hat, dass die durch

neue molekularbiologische Techniken erzeugten Pflanzen GVO sind. Aus diesem Grund wurden die Auswirkungen der europäischen GVO-Gesetzgebung bei der Analyse der Kosten von genomeditierten Pflanzen nicht berücksichtigt.

2.3.3 Qualitative Inhaltsanalyse. Die mit den Interviews gesammelten Informationen wurden durch eine qualitative Inhaltsanalyse (MAYRING, 2010; SCHREIER, 2012) mit der Software MAXQDA ausgewertet. Wesentliche Analyseschritte bildeten hierbei die deduktive Entwicklung eines Kategoriensystems und eines Kodierleitfadens, die Erprobung des Kategoriensystems und des Kodierleitfadens, die Kodierung des gesamten Interviewmaterials (d.h. die systematische Zuordnung von Textsequenzen zu den Kategorien), die Durchführung eines Inter-coder-Reliabilitäts-Tests und die Zusammenfassung der Kodierungen hinsichtlich der Forschungsfragen. Detaillierte Informationen zur methodischen Vorgehensweise bei der Analyse der Interviews sind in der Studie von MAAß et al. (2019) dargestellt.

2.4 Stakeholderworkshop

Die vorläufigen Ergebnisse der Analyse wurden in einem Workshop mit achtzehn Stakeholdern präsentiert und diskutiert. Zu den teilnehmenden Stakeholdern gehörten u.a. Experten aus Züchtung, Saatgutproduktion, Pflanzenproduktion, Agrarhandel, Lebensmittelproduktion, Futtermittelproduktion und Wissenschaft sowie behördliche Vertreter. Vier der im Rahmen der Interviews befragten Experten nahmen ebenfalls an dem Workshop teil. Detaillierte Informationen über den Workshop und die Stakeholderdiskussion sind im Bericht von DAYÉ und SPÖK (2019) aufgeführt.

3 Ergebnisse

Die Darstellung der Ergebnisse ist nach den analysierten Züchtungszielen und Wertschöpfungsstufen gegliedert. Zunächst werden die Ergebnisse bezüglich der Nutzung von durch GE entwickelten pilzresistentem Weizen vorgestellt. Basierend auf der Analyse der Experteninterviews werden die Motive und die Voraussetzungen für die Nutzung von pilzresistentem Weizen beschrieben. Danach werden der erwartete Nutzen, die zusätzlichen Kosten und die mit der Nutzung von pilzresistentem Weizen verbundenen ökonomischen Risiken dargestellt. Dies geschieht für jede der analysierten Wertschöpfungsstufen. Anschließend werden die Ergebnisse bezüglich der Nutzung von Zöliakie-sicherem Weizen auf die gleiche Weise präsentiert. Das Kapitel schließt mit einer Beschreibung der potenziellen Treiber und Hemmnisse für die Nutzung von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen.

3.1 Pilzresistenter Weizen

3.1.1 Züchtung. Für die Anwendung von GE zur Entwicklung verbesserter Nutzpflanzen, wie z.B. pilzresistenter oder Zöliakie-sicherer Weizen, sind biotechnologische Labore sowie genaue Kenntnisse über das zu editierende Pflanzengenom erforderlich. Eine weitere Voraussetzung aus der Sicht der Züchter ist es, dass der Züchternvorbehalt – der es Züchtern erlaubt, geschützte Sorten als Ausgangsmaterial für die Züchtung neuer Sorten zu verwenden – nicht durch potenzielle Patente auf genomeditierte Pflanzen beeinträchtigt wird. Darüber hinaus ist es wichtig, dass GE als Züchtungsmethode von der Gesellschaft akzeptiert wird.

Die Befragten sehen in GE ein neues Instrument, das existierende Züchtungsmethoden ergänzt, anstatt sie zu ersetzen. Das Hauptmotiv der Züchter, GE anzuwenden, ist die Erwartung Züchtungsprozesse zu beschleunigen und den Absatz von Sorten durch verbesserte Eigenschaften zu steigern.

Ein Nutzen der Anwendung von GE zur Verbesserung von Nutzpflanzen ist das geringere Risiko negativer Korrelationen zwischen den gewünschten Sorteneigenschaften (z.B. Resistenz gegen Pilzkrankheiten) und anderen positiven Eigenschaften (z.B. hohes Ertragspotenzial). Darüber hinaus ist die Einkreuzung unerwünschter Eigenschaften weniger wahrscheinlich und die Anzahl der notwendigen Rückkreuzungen kann im Vergleich zu anderen Züchtungsmethoden reduziert werden. Dies kann aus Sicht der Befragten zu einer schnelleren Lösungsfindung für agronomische Probleme (z.B. Pilzkrankheiten) beitragen.

Unter der Annahme, dass genomeditierte Pflanzen nicht den Regeln der GVO-Gesetzgebung unterliegen, ist die Nutzung von pilzresistentem Weizen aus Sicht der Befragten mit keinen zusätzlichen Kosten und ökonomischen Risiken verbunden.

3.1.2 Saatgutproduktion. Für Saatgutproduzenten ist es wichtig, dass pilzresistente Weizensorten die Erwartun-

gen der Landwirte bezüglich des Ertragspotenzials und anderer erwünschter Eigenschaften des Weizens (z.B. Standfestigkeit, Winterhärte) erfüllen. Darüber hinaus ist es erforderlich, dass GE gesellschaftlich akzeptiert ist und dass mögliche Patentfragen geklärt sind. Zu den Motiven von Saatgutproduzenten, pilzresistente Weizensorten zu vermehren, gehört die Erwartung den Absatz von Saatgut zu steigern, insbesondere den Absatz von zertifiziertem Saatgut.

Ein Nutzen der Vermehrung von pilzresistentem Weizen ist die Erweiterung des Sortenportfolios und die Verbesserung der Absatzchancen von Saatgut. Darüber hinaus können Saatgutproduzenten das Risiko von Ertragsverlusten durch Pilzkrankheiten vermindern und von der Reduzierung des Fungizideinsatzes profitieren. Höhere Kosten können entstehen, wenn Saatgutproduzenten an die Züchter höhere Lizenzgebühren für die Vermehrung von pilzresistentem Weizen zahlen müssen.

Ökonomische Risiken können sich aus Sicht der Befragten aus der negativen Wahrnehmung von GE in der Gesellschaft ergeben. Darüber hinaus können Saatgutproduzenten Schwierigkeiten bei der Vermarktung von pilzresistentem Weizen haben, wenn der Befallsdruck durch pilzliche Schaderreger in bestimmten Jahren gering ist und Landwirte Saatgut von pilzresistenten Sorten weniger nachfragen.

3.1.3 Pflanzenproduktion. Um pilzresistente Weizensorten in der Wertschöpfungsstufe der Pflanzenproduktion nutzen zu können, müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein. Als erstes müssen die Sorten für den Anbau zugelassen sein. Zweitens müssen die Sorten mit den existierenden Anbaumethoden von Weizen kompatibel sein und hohe Erträge mit einer hohen Qualität erwirtschaften. Drittens müssen die Sorten den Landwirten zur Verfügung stehen, d.h. Saatgutproduzenten müssen sie in ausreichenden Mengen produzieren und vermarkten. Idealerweise sollten die Sorten von einer Vielzahl von Saatgutlieferanten angeboten werden, da viele Landwirte es bevorzugen, unter den Angeboten verschiedener Anbieter auszuwählen. Viertens müssen potenzielle Abnehmer (d.h. Händler und Verarbeitungsbetriebe) diese Sorten signifikant nachfragen. Fünftens muss eine breite gesellschaftliche Akzeptanz für GE vorhanden sein. Insbesondere ist es für Landwirte wichtig, dass lokale Akteure, wie Gemeinden, Einwohner und Landbesitzer, den Anbau von genomeditierten Pflanzen akzeptieren.

Das Hauptmotiv für Landwirte pilzresistenten Weizen anzubauen, ist die Erwartung, die Weizenproduktion durch die Reduzierung des Risikos von Pilzkrankheiten zu vereinfachen. Darüber hinaus erwarten Landwirte die Wirtschaftlichkeit der Weizenproduktion durch die Senkung der Kosten für Pflanzenschutzmaßnahmen zu erhöhen. Weitere Motive sind das individuelle Interesse einzelner Landwirte innovative Sorten auszuprobieren sowie Produktionsmethoden nachhaltiger und umweltfreundlicher zu gestalten.

Die Verfügbarkeit von pilzresistentem Weizen kann zu erheblichen Veränderungen in der Wertschöpfungsstufe

der Pflanzenproduktion führen. Die Befragten erwarten eine Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der Weizenproduktion, die langfristig zu einer Ausweitung der Weizenproduktion zu Lasten anderer Kulturen und vielfältiger Fruchtfolgen führen kann. Darüber hinaus halten die Befragten einen Rückgang der behördlichen Zulassungen von chemischen Pflanzenschutzmitteln für denkbar, da pilzresistenter Weizen eine umweltfreundliche Alternative darstellt.

Der Hauptnutzen der Produktion von pilzresistentem Weizen ist die Möglichkeit, das Risiko von Ertragsverlusten durch Pilzkrankheiten zu vermindern und die Anwendung von Fungiziden zu reduzieren. Durch die Reduzierung von Fungizidapplikationen können Fungizidrückstände in der Ernteware verringert und Kosten für Fungizide, Arbeit und Maschinen eingespart werden. Darüber hinaus können die umweltfreundlichere Gestaltung der Produktionsmethode und die Verringerung von Fungizidrückständen dazu beitragen, das Image der Landwirte und die Absatzchancen für ihre Produkte zu verbessern.

Höhere Kosten können entstehen, wenn die Landwirte für pilzresistenten Weizen einen höheren Saatgutpreis zahlen müssen. Die Befragten erwarten keine ökonomischen Risiken im Zusammenhang mit dem Anbau von pilzresistentem Weizen, solange die Resistenz nicht mit geringeren Erträgen korreliert ist.

3.1.4 Agrarhandel. Für die Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Wertschöpfungsstufe des Agrarhandels müssen nach Ansicht der Befragten keine spezifischen Voraussetzungen erfüllt sein. Das Hauptmotiv von Agrarhändlern pilzresistenten Weizen zu nutzen, ist die Erwartung, das Risiko von Mykotoxinen in Weizen zu vermindern. Darüber hinaus wird erwartet, den Aufwand für die Reinigung und Entsorgung von Mykotoxin-belasteten Weizenpartien zu reduzieren.

Die Befragten gaben an, dass die Nutzung von pilzresistentem Weizen wahrscheinlich zu keiner Reduzierung der Häufigkeit von Rohstoffanalysen führt, da sowohl gesetzliche Vorgaben als auch geschäftliche Vereinbarungen Agrarhändler zur Analyse der Mykotoxinbelastung in ihren Produkten verpflichten. Mykotoxine erschweren den flexiblen Handel mit Weizen, da Agrarhändler unterschiedliche Höchstgehalte und Richtwerte für Mykotoxine berücksichtigen müssen, wenn sie Weizen an Produzenten von Lebensmitteln, Futtermitteln und Industrieprodukten verkaufen.

Ein Nutzen der Verwendung von pilzresistentem Weizen im Agrarhandel ist die Möglichkeit, Weizen mit einer größeren Flexibilität an verschiedene Nutzer (z.B. Lebensmittelproduzenten, Futtermittelproduzenten, Bioethanolproduzenten) zu vermarkten. Ein weiterer Nutzen ist das geringere Risiko von Rohstoff- und Ertragsverlusten durch Mykotoxine. Darüber hinaus kann die Nutzung von pilzresistentem Weizen zu Einsparungen bei den Kosten für die Reinigung und Entsorgung von Mykotoxin-belasteten Weizenpartien führen.

Die Befragten erwarten keine zusätzlichen Prozessschritte und ökonomischen Risiken durch die Nutzung

von pilzresistentem Weizen im Agrarhandel. Zusätzliche Kosten können entstehen, wenn Agrarhändler höhere Erzeugerpreise für pilzresistenten Weizen zahlen müssen.

3.1.5 Mühlenwirtschaft. Gesellschaftliche Akzeptanz und insbesondere die Akzeptanz von GE durch den Lebensmitteleinzelhandel sind wesentliche Voraussetzungen für die Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Wertschöpfungsstufe der Mühlenwirtschaft. Das Motiv für Mühlenbetriebe, pilzresistenten Weizen zu nutzen, ist die Möglichkeit Rohstoffe zu nutzen, die keine Pilzkrankheiten und Rückstände von Fungiziden aufweisen.

Ein Nutzen von pilzresistentem Weizen ist, dass Mühlenbetriebe die Häufigkeit der Rohstoffanalysen hinsichtlich Mykotoxinen reduzieren können. Des Weiteren können Mühlenbetriebe den Aufwand für die Behandlung von Mykotoxin-belasteten Weizenpartien (z.B. Reinigung und Sortierung) vermindern. Dies kann zu Einsparungen bei den Kosten für Laboranalysen, Management und Energie führen. Pilzresistenter Weizen kann auch das Risiko von Rohstoffverlusten durch Mykotoxine vermindern. Darüber hinaus kann pilzresistenter Weizen dazu beitragen, die Kosten für die Entsorgung und alternative Verwendung von Mykotoxin-belasteten Weizenpartien (z.B. als Rohstoff für die Energieproduktion) zu reduzieren. Ein weiterer Nutzen ist die Möglichkeit, die Kundenzufriedenheit und -bindung aufgrund der höheren Sicherheit der Mahlprodukte zu verbessern. Die Befragten erwarten jedoch nicht, dass die Käufer von Mahlprodukten bereit sind, einen Preisaufschlag für die Qualitätsverbesserung zu zahlen.

Nach Angaben der Befragten sind mit der Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Wertschöpfungsstufe der Mühlenwirtschaft keine zusätzlichen Kosten und ökonomischen Risiken verbunden.

3.1.6 Lebensmittelproduktion. Für die Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Lebensmittelproduktion müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein. Erstens dürfen sich die Qualitätsparameter (z.B. Proteingehalt) und die Verarbeitungseigenschaften von Weizen durch GE nicht verschlechtern. Zweitens muss sich pilzresistenter Weizen problemlos in die existierenden Verarbeitungsprozesse der Lebensmittelproduktion integrieren lassen. Drittens sollte GE eine positive Konnotation in der Gesellschaft haben und nicht mit klassischer Gentechnik in Verbindung gebracht werden.

Das Hauptmotiv von Lebensmittelproduzenten pilzresistenten Weizen zu nutzen, ist die Erwartung, die Verschwendung von Lebensmitteln zu reduzieren und einen störungsfreien Ablauf der Prozessschritte innerhalb der gesamten Wertschöpfungskette zu erreichen. Darüber hinaus erwarten Lebensmittelproduzenten eine Reduzierung der durch Mykotoxine in Lebensmitteln ausgelösten Konflikte mit Behörden und Kunden.

Der Nutzen für die Lebensmittelproduktion beinhaltet die Reduzierung der Lebensmittelverschwendung, eine sicherere Rohstoffversorgung und eine höhere Stabilität

der Prozessschritte entlang der Wertschöpfungskette. Darüber hinaus kann pilzresistenter Weizen zu Kosteneinsparungen führen, wenn Lebensmittelproduzenten die Häufigkeit der Rohstoffanalysen hinsichtlich Mykotoxine reduzieren. Ein weiterer Vorteil ist das geringere Risiko von zusätzlichen Kosten und Wertschöpfungsverlusten durch die Entsorgung oder Nutzung von Mykotoxin-belasteten Weizenpartien für weniger profitable Zwecke (z.B. als Rohstoff für die Futtermittelproduktion). Die Befragten erwarten nicht, dass Lebensmittelproduzenten von höheren Produktpreisen profitieren können, da Lebensmittel immer den Vorschriften bezüglich der Höchstgehalte von Mykotoxinen entsprechen müssen.

Zusätzliche Kosten können entstehen, wenn Lebensmittelproduzenten die Maßnahmen der Qualitätskontrolle an pilzresistenten Weizen anpassen müssen. Die Befragten schätzen mögliche Anpassungskosten jedoch als gering ein. Ein Nachfrageüberschuss nach pilzresistentem Weizen kann zu Beschaffungsproblemen und höheren Rohstoffpreisen führen, was von den Befragten als ökonomisches Risiko wahrgenommen wird.

3.1.7 Stärkeproduktion. Aus Sicht der Befragten gibt es außer der gesellschaftlichen Akzeptanz von GE keine spezifischen Voraussetzungen für die Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Wertschöpfungsstufe der Stärkeproduktion.

Ein Motiv von Stärkeproduzenten, pilzresistenten Weizen zu nutzen, ist die Erwartung, von einem größeren regionalen Angebot an qualitativ hochwertigem (d.h. Mykotoxin-freiem) Weizen zu profitieren. Ein weiteres Motiv ist die Möglichkeit, die Häufigkeit der Rohstoffanalysen auf Mykotoxine zu reduzieren.

Ein wesentlicher Nutzen der Verwendung von pilzresistentem Weizen in der Stärkeproduktion ist die höhere Stabilität der Rohstoffversorgung. Ein weiterer Nutzen ist die Vermeidung von Vermarktungsschwierigkeiten aufgrund von Mykotoxinen und Fungizidrückständen in den Nebenprodukten der Stärkeproduktion (z.B. Kleie und Gluten). Nach Ansicht der Befragten können Stärkeproduzenten jedoch keine zusätzlichen Einnahmen durch die Einhaltung der Lebens- und Futtermittelrechtlichen Vorschriften erzielen. Die Bereitschaft der Stärkeproduzenten, einen höheren Rohstoffpreis für pilzresistenten Weizen zu zahlen ist gering, da die Käufer von Stärkeprodukten auch keinen Preisaufschlag für die Einhaltung der Höchstgehalte für Mykotoxine zahlen würden.

Nach Ansicht der Befragten sind keine zusätzlichen Kosten und ökonomischen Risiken mit der Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Stärkeproduktion verbunden.

3.1.8 Futtermittelproduktion. Die Grundvoraussetzung für die Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Wertschöpfungsstufe der Futtermittelproduktion ist aus Sicht der Befragten die gesellschaftliche Akzeptanz von GE. Eine weitere Voraussetzung ist, dass die Resistenz gegen Pilzkrankheiten verlässlich ist und dass entsprechende Sorten ganzjährig in großen Mengen für Futtermittelpro-

duzenten verfügbar sind. Darüber hinaus ist es für Futtermittelproduzenten wichtig, dass die Verfügbarkeit von pilzresistentem Weizen zu keinem signifikanten Anstieg der Rohstoffpreise für Weizen führt.

Das Hauptmotiv von Futtermittelproduzenten, pilzresistenten Weizen zu nutzen, ist die Erwartung, die durch Mykotoxine verursachten Kosten zu reduzieren. Diese Kosten umfassen die Kosten für die Analyse der Rohstoffe auf Mykotoxine und die Kosten für die Sortierung von belasteten Rohstoffpartien nach unterschiedlichen Verwendungszecken (z.B. als Futtermittel für die Rinder-, Schweine- oder Geflügelproduktion).

Der Nutzen von pilzresistentem Weizen als Rohstoff für die Futtermittelproduktion besteht darin, dass Futtermittelhersteller die Häufigkeit der Rohstoffanalysen auf Mykotoxine und den Aufwand für das Sortieren von belasteten Rohstoffpartien reduzieren können. Die daraus resultierenden Kosteneinsparungen werden von den Befragten jedoch als gering eingeschätzt.

Nach Ansicht der Befragten entstehen durch die Nutzung von pilzresistentem Weizen keine zusätzlichen Kosten in der Futtermittelproduktion, solange die Rohstoffpreise für Weizen nicht steigen. Darüber hinaus sind aus Sicht der Befragten keine spezifischen ökonomischen Risiken mit der Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Futtermittelproduktion verbunden.

3.1.9 Tierproduktion. Zu den wichtigsten Voraussetzungen für die Nutzung von pilzresistentem Weizen als Futtermittel in der Tierproduktion (d.h. Zucht, Milchproduktion, Schweine- und Rindermast) gehören die gesellschaftliche Akzeptanz von GE und die Zulassung von pilzresistentem Weizen als Futtermittel. Darüber hinaus ist es aus Sicht der Befragten wichtig, dass mögliche Preissteigerungen für Futtermittel aus pilzresistentem Weizen nur moderat ausfallen.

Die Motive für die Nutzung von pilzresistentem Weizen in der Tierproduktion sind die Verbesserung des Tierwohls, die Verringerung des Antibiotikaeinsatzes und die Erwartung, Kosten einzusparen.

Die Verfütterung von pilzresistentem Weizen kann nach Ansicht der Befragten zu einer Verbesserung des Tierwohls beitragen und das Risiko von Leistungsdepressionen durch Mykotoxine (z.B. geringe Milchproduktion, geringe Gewichtszunahme) reduzieren. Darüber hinaus können Tierproduzenten das Risiko von Produktionsverzögerungen (z.B. längere Mastzeiten) und Tierverlusten (z.B. Ferkel, Jungsauen) reduzieren. Potenzielle Einsparungen können sich bei den Kosten für die Behandlung erkrankter Tiere ergeben. Hierzu gehören die Kosten für die Beobachtung und Separation von Tieren sowie die Kosten für Antibiotika, Vitamine und Mykotoxinbinder. Aus Sicht der Befragten kann pilzresistenter Weizen auch zur Reduzierung von Arzneimittelrückständen in der Gülle sowie zur Verringerung von CO₂-Emissionen durch eine bessere Futtermittelverwertung beitragen.

Zusätzliche Kosten können entstehen, wenn Tierproduzenten für Futtermittel, die pilzresistenten Weizen enthalten, höhere Preise zahlen müssen als für konventio-

3.2 Zöliakie-sicherer Weizen

3.2.1 Züchtung. Die Voraussetzungen und Motive der Züchter, GE für die Entwicklung von Zöliakie-sicheren Weizensorten zu nutzen sowie die damit verbundenen Kosten, Nutzen und ökonomischen Risiken stimmen weitestgehend mit denjenigen von pilzresistenten Weizensorten überein (siehe Kapitel 3.1.1).

3.2.2 Saatgutproduktion. Die Voraussetzungen für die Vermehrung von Zöliakie-sicherem Weizen ähneln denjenigen für die Vermehrung von pilzresistentem Weizen und umfassen die gesellschaftliche Akzeptanz von GE, die Klärung potenzieller Patentfragen sowie die Erfüllung der Erwartungen von Saatgutproduzenten und Landwirten hinsichtlich des Ertragspotenzials und anderer erwünschter Eigenschaften von Weizen. Darüber hinaus muss die Vermehrung von Zöliakie-sicherem Weizen strikt von der Vermehrung anderer Weizensorten getrennt werden, um Vermischungen der Sorten zu vermeiden.

Das Hauptmotiv von Saatgutproduzenten, Zöliakie-sicheren Weizen zu vermehren, ist die Erwartung, den Absatz von Saatgut zu steigern. Der Nutzen ist die Möglichkeit, das Portfolio an Sorten und die Basis an Kunden zu erweitern sowie die Absatzchancen von Saatgut durch die besondere Qualität von Zöliakie-sicherem Weizen zu verbessern.

Höhere Kosten können entstehen, wenn die Saatgutproduzenten für die Vermehrung von Zöliakie-sicherem Weizen höhere Lizenzgebühren zahlen müssen. Darüber hinaus können zusätzliche Kosten durch die separate Vermehrung und Lagerung sowie durch den separaten Transport von Zöliakie-sicherem Weizen entstehen.

Das wichtigste ökonomische Risiko ist die versehentliche Vermischung von Zöliakie-sicherem Weizen mit anderen Weizensorten, die dazu führt, dass das Saatgut nicht mehr als Zöliakie-sicherer Weizen vermarktet werden kann.

3.2.3 Pflanzenproduktion. Die Voraussetzungen für den Anbau von Zöliakie-sicherem Weizen entsprechen in vielen Punkten den Voraussetzungen für den Anbau von pilzresistentem Weizen (siehe Kapitel 3.1.3). Eine spezifische Voraussetzung für den Anbau von Zöliakie-sicherem Weizen ist die sortenreine Produktion. Hierzu müssen Landwirte ihre gesamte Fruchtfolge auf den Anbau von Zöliakie-sicherem Weizen ausrichten. Darüber hinaus müssen sie Maßnahmen ergreifen, um Beimischungen anderer Weizensorten während der Ernte, dem Transport und der Lagerung von Zöliakie-sicherem Weizen zu vermeiden. Solche Maßnahmen können die gründliche Reinigung von Ernte- und Transportmaschinen sowie die Einrichtung separater Lagerkapazitäten beinhalten. Eine weitere mögliche Voraussetzung ist der Abschluss einer vertraglichen Vereinbarung zwischen Landwirten und Verarbeitungsbetrieben, in der sich die Verarbeitungsbetriebe verpflichten, die Ernte der Landwirte zu fixen Preisen abzunehmen.

Das Hauptmotiv für Landwirte, Zöliakie-sicheren Weizen anzubauen, ist die Erwartung von der Produktion für

einen Nischenmarkt und von festen Abnahmeverträgen mit Verarbeitungsbetrieben zu profitieren. Ein weiteres mögliches Motiv ist das individuelle Interesse einzelner Landwirte die Lebensqualität von Konsumenten mit Zöliakie zu verbessern.

Der Hauptnutzen für Landwirte resultiert aus den Vorteilen des Vertragsanbaus und beinhaltet die vertraglich garantierte Abnahme der Produktion zu fixen und hohen Preisen durch die Vertragspartner. Darüber hinaus bietet der Vertragsanbau Landwirten die Möglichkeit ihren Anteil an der Wertschöpfung gegenüber dem Handel zu erhöhen.

Zusätzliche Kosten können durch höhere Saatgutpreise sowie durch die separate Ernte, den separaten Transport und die separate Lagerung von Zöliakie-sicherem Weizen entstehen. Darüber hinaus können zusätzliche Kosten aus der Bekämpfung von potenziellen Durchwuchspflanzen von anderen Weizensorten resultieren. Durchwuchspflanzen und die Beimischung anderer Weizensorten bei der Ernte, dem Transport und der Lagerung von Zöliakie-sicherem Weizen sind aus Sicht der Befragten die wichtigsten ökonomischen Risiken beim Anbau von Zöliakie-sicherem Weizen.

3.2.4 Agrarhandel. Agrarhändler, die mit Zöliakie-sicherem Weizen handeln, müssen die Sortenreinheit ihrer Produkte garantieren können. Der separate Einkauf, die separate Lagerung und der separate Transport sind daher Grundvoraussetzungen für den Handel mit Zöliakie-sicherem Weizen. Darüber hinaus sollten aus Sicht der Befragten zwischen den Handelspartnern Vereinbarungen zur Regelung von Haftungsfragen im Fall von Beimischungen anderer Weizensorten getroffen werden.

Das Motiv von Agrarhändlern, Zöliakie-sicheren Weizen zu handeln, ist die Bedienung der Rohstoffnachfrage von Verarbeitungsbetrieben, die spezielle Lebensmittel für Konsumenten mit Zöliakie produzieren.

Der wesentliche Nutzen von Zöliakie-sicherem Weizen für Agrarhändler ist die Möglichkeit, einen höheren Verkaufspreis aufgrund der besonderen Eigenschaft des Weizens zu erzielen.

Zusätzliche Kosten können durch Investitionen in separate Lagerkapazitäten, die Reinigung vorhandener Lager sowie durch den separaten Einkauf und Transport von Zöliakie-sicherem Weizen entstehen.

Das wichtigste ökonomische Risiko ist die Unverkäuflichkeit von Weizen als Zöliakie-sicherem Weizen aufgrund von versehentlichen Beimischungen anderer Weizensorten.

3.2.5 Mühlenwirtschaft. Für die Nutzung von Zöliakie-sicherem Weizen in der Wertschöpfungsstufe der Mühlenwirtschaft müssen mehrere Voraussetzungen erfüllt sein. Erstens muss eine hohe Nachfrage nach Mahlprodukten aus Zöliakie-sicherem Weizen bestehen. Zweitens benötigen die Mühlenbetriebe Lieferanten, die zuverlässig sortenreinen Zöliakie-sicheren Weizen liefern können. Darüber hinaus sollten die Mühlenbetriebe die Sortenreinheit der gelieferten Rohstoffe überprüfen können.

Drittens müssen die Sorten den spezifischen Qualitätsparametern der Vermahlung und den Erwartungen der Käufer bezüglich der Backeigenschaften von Weizen entsprechen. Viertens sollte die Vermahlung von Zöliakiesicherem Weizen streng von der Vermahlung anderer Sorten getrennt werden, um Vermischungen zu vermeiden. Fünftens sollte GE als Züchtungsmethode gesellschaftlich akzeptiert sein.

Das Hauptmotiv von Mühlenbetriebe Zöliakiesicheren Weizen zu verarbeiten ist die Befriedigung der Nachfrage nach Produkten, die von Zöliakiepatienten ohne Risiko konsumiert werden können.

Der Nutzen liegt in der Erweiterung des Portfolios solcher Produkte, die an Zöliakiepatienten und andere Konsumenten verkauft werden können. Darüber hinaus kann aus Sicht der Befragten mit diesen Produkten eine höhere Wertschöpfung erzielt werden.

Zusätzliche Kosten können durch höhere Rohstoffpreise für Zöliakiesicheren Weizen und durch Investitionen in separate Produktionsanlagen oder aufwendige Reinigungsprozesse zwischen der Vermahlung von Zöliakiesicherem Weizen und anderen Weizensorten entstehen.

Das wichtigste ökonomische Risiko, dass mit der Nutzung von Zöliakiesicherem Weizen in der Mühlenwirtschaft verbunden ist, ist die Beimischung von anderen Weizensorten während der Vermahlung. Des Weiteren besteht das Risiko, dass Änderungen im Konsumentenverhalten zu einem Rückgang der Nachfrage nach Zöliakiesicheren Produkten führen.

3.2.6 Lebensmittelproduktion. Für die Nutzung in der Lebensmittelproduktion sollte Zöliakiesicherer Weizen dieselben Qualitäts- und Verarbeitungseigenschaften aufweisen wie konventioneller Weizen. Darüber hinaus ist es wichtig, dass GE von der Gesellschaft akzeptiert wird und dass Zöliakiesicherer Weizen zu den existierenden Verarbeitungsprozessen in der Lebensmittelproduktion passt.

Das Hauptmotiv von Lebensmittelproduzenten Zöliakiesicheren Weizen zu nutzen, ist die Erwartung, von höheren Marktpreisen für Zöliakiesichere Lebensmittel zu profitieren. Ein weiteres Motiv ist das individuelle Interesse einzelner Lebensmittelproduzenten, die Lebensqualität von Zöliakiepatienten zu verbessern.

Ein ökonomischer und sozialer Nutzen der Verwendung von Zöliakiesicherem Weizen als Rohstoff für die Lebensmittelproduktion ist die Erweiterung des Portfolios an Produkten, das an Zöliakiepatienten verkauft werden kann.

Zusätzliche Kosten können durch die separate Verarbeitung von Zöliakiesicherem Weizen entstehen. Eine Überschussnachfrage nach Zöliakiesicherem Weizen kann zu Beschaffungsproblemen und höheren Rohstoffpreisen führen, was von den Befragten als ökonomisches Risiko wahrgenommen wird.

3.2.7 Stärkeproduktion. Für die Nutzung von Zöliakiesicherem Weizen in der Wertschöpfungsstufe der Stärkeproduktion müssen verschiedene Voraussetzungen

erfüllt sein. Erstens muss eine Nachfrage nach Zöliakiesicherer Weizenstärke bestehen. Zweitens müssen die zur Produktion benötigten Zöliakiesicheren Weizensorten in ausreichender Menge und in einheitlicher Qualität verfügbar sein. Drittens ist es aus Sicht der Befragten wichtig, dass die besonderen Eigenschaften von Zöliakiesicherem Weizen zu keinem signifikanten Anstieg der Rohstoffpreise für Weizen führen. Steigende Rohstoffpreise stellen ein Risiko für die Produzenten von Weizenstärke dar, da sie die Wettbewerbsfähigkeit von Weizenstärke gegenüber anderen Stärkearten, insbesondere Maisstärke verschlechtern. Viertens muss das Nebenprodukt Gluten marktfähig bleiben, da die Erlöse aus dem Verkauf von Gluten für die Profitabilität der Stärkeproduktion aus Weizen unerlässlich sind. Dazu gehört auch, dass die Backqualität des Glutens hoch bleibt. Fünftens müssen Vermischungen von Zöliakiesicherem Weizen und anderen Weizensorten durch eine getrennte Verarbeitung verhindert werden.

Die Nutzung von Zöliakiesicherem Weizen ist nur eine Option für spezialisierte Stärkeproduzenten, die Zöliakiesichere Lebensmittel produzieren. Das Motiv von Stärkeproduzenten Zöliakiesicheren Weizen zu nutzen, ist die Erweiterung des Produktportfolios und die Bedienung der Nachfrage nach Zöliakiesicheren Produkten.

Der Nutzen für Stärkeproduzenten ist die Möglichkeit, die Kosten für die Anwendung spezieller Techniken zur Herstellung von glutenfreier Weizenstärke einzusparen. Die Einsparungen bei den Produktionskosten können zudem die Wettbewerbsfähigkeit von Weizenstärke gegenüber natürlich glutenfreien Stärken (z.B. Mais- und Kartoffelstärke) erhöhen.

Zusätzliche Kosten können sich aus dem potenziellen Anstieg der Rohstoffpreise von Weizen ergeben. Darüber hinaus können zusätzliche Kosten durch Investitionen in getrennte Produktionslinien und durch komplexe Reinigungsprozesse zwischen der Verarbeitung von Zöliakiesicherem Weizen und anderen Weizensorten entstehen. Nach Angaben der Befragten können die Kosten der Separation prohibitiv sein.

Ein wichtiges ökonomisches Risiko, das mit der Nutzung von Zöliakiesicherem Weizen verbunden ist, ist die potenzielle Reduzierung der Nachfrage nach glutenfreier Weizenstärke als bisherigem Rohstoff für die Produktion glutenfreier Backwaren. Glutenfreie Weizenstärke wird in der glutenfreien Backwarenproduktion aufgrund ihrer positiven Backeigenschaften als Substitut für Mehl verwendet. Die Notwendigkeit Mehl durch glutenfreie Weizenstärke zu ersetzen besteht jedoch nicht, wenn durch Zöliakiesicheren Weizen Weizenmehle verfügbar sind, die auch von Zöliakiepatienten ohne Risiken konsumiert werden können. Ein weiteres Risiko ist der Wertverlust des erworbenen Wissens über die Herstellung von glutenfreier Weizenstärke.

3.2.8 Überblick. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die wichtigsten Kosten und Nutzen von GE und Zöliakiesicheren Weizen in den Wertschöpfungsstufen Züch-

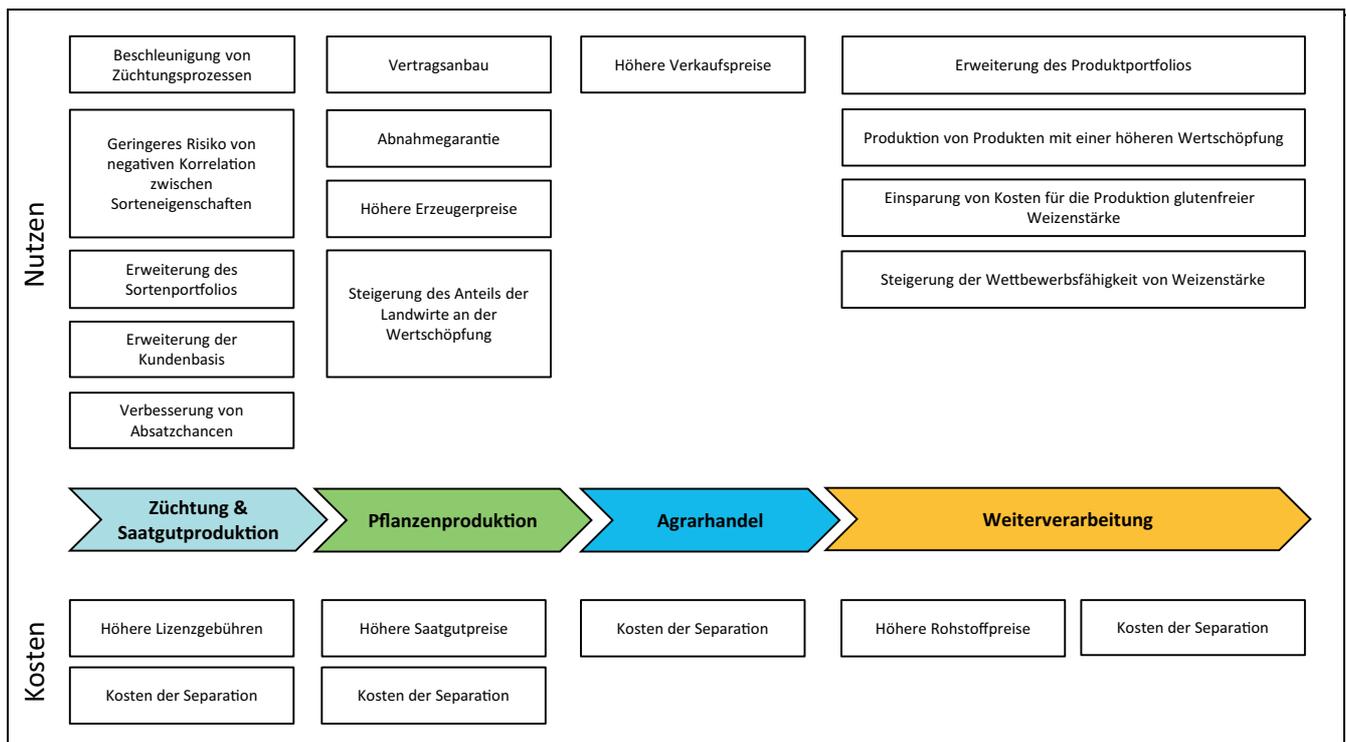


Abb. 3. Überblick über die Kosten und Nutzen von Genome Editing und Zöliakie-sicheren Weizen (in Anlehnung an MAAß et al., 2019; S. 17).

zung, Saatgutproduktion, Pflanzenproduktion, Agrarhandel und Weiterverarbeitung.

3.3 Treiber und Hemmnisse

Aus Sicht der befragten Experten existiert eine Vielzahl von Treibern und Hemmnissen für die Nutzung von genomeditierten Pflanzen in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten.

Viele der Befragten sehen einen allgemeinen Treiber für GE im ökonomischen Interesse von Landwirten und industriellen Verarbeitern, Sorten mit verbesserten Eigenschaften nutzen zu wollen. Darüber hinaus betrachten einige der Befragten Patente als Treiber, solange sie fairen Zugang zu Innovationen ermöglichen und den existierenden Sortenschutz mit dem Züchtervorbehalt nicht negativ beeinträchtigen.

Das zentrale Hemmnis für die Nutzung von genomeditierten Pflanzen ist aus Sicht der Befragten die geringe Akzeptanz von GE in der Gesellschaft und im Lebensmitteleinzelhandel. Landwirte und Verarbeiter befürchten einen Imageverlust für ihre Betriebe, wenn sie genomeditierte Pflanzen produzieren und verarbeiten würden. Aus Sicht von Saatgutproduzenten entstehen Hemmnisse durch bestehende Unsicherheiten bezüglich der Patentierbarkeit genomeditierter Pflanzen. Landwirte befürchten, dass potenzielle Patente auf Pflanzen Monopolsituationen fördern und ihre Möglichkeiten für den Nachbau von geschütztem Saatgut einschränken könnten. Darüber hinaus könnten eine fehlende Bereitschaft von Landeigentümern, den Anbau von genomeditierten Pflanzen auf Pachtflächen zu erlauben sowie die geringe Bereitschaft von Verarbeitern, Landwirte für erhöhte Saatgut-

kosten durch höhere Erzeugerpreise zu kompensieren, die Nutzung von genomeditierten Pflanzen erschweren. Auch der hohe Zeitbedarf für wissenschaftliche Analysen und Bewertungen sowie die Marktmacht des Lebensmitteleinzelhandels, eigene Kennzeichnungen für Produkte aus genomeditierten Pflanzen zu etablieren, können aus Sicht der Befragten wichtige Hemmnisse für die Nutzung von genomeditierten Pflanzen darstellen.

Spezifische Treiber für die Nutzung von pilzresistentem Weizen sind die durch Pilzkrankheiten und Mykotoxine verursachten Probleme und Kosten. Darüber hinaus können die zunehmenden Restriktionen für die Anwendung von Fungiziden sowie die gesellschaftlichen Forderungen nach einer Verbesserung des Tierwohls und umweltfreundlicheren Produktionsmethoden wichtige Treiber für die Nutzung von pilzresistentem Weizen sein. Ein Hemmnis für die Nutzung von pilzresistentem Weizen ist die Existenz von bewährten alternativen Strategien zur Kontrolle von Pilzkrankheiten und Mykotoxinen (z.B. Fungizide, Reinigung, Sortierung). Ein weiteres Hemmnis ist die fehlende Wahrnehmung eines persönlichen Nutzens seitens der Konsumenten sowie deren geringes Interesse an einer Reduzierung der durch Pilzkrankheiten verursachten Probleme.

Ein potenzieller Treiber für die Nutzung von Zöliakie-sicherem Weizen ist der aktuelle gesellschaftliche Trend, glutenfreie Produkte zu konsumieren. Mögliche Hemmnisse sind die hohen Kosten für die separate Produktion und Verarbeitung entsprechender Sorten. Darüber hinaus kann aus Sicht der Befragten die Nutzung von Zöliakie-sicherem Weizen durch ein geringes Vertrauen in die technische Durchführbarkeit der Separation erschwert

werden. Ein weiteres mögliches Hemmnis ist die Persistenz der Überzeugung von Konsumenten, dass Weizenprodukte für Personen mit Zöliakie ungeeignet sind.

4. Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die empirischen Ergebnisse hinsichtlich der Forschungsfragen diskutiert und Schlussfolgerungen gezogen. Darüber hinaus werden das Forschungsdesigns kritisch reflektiert und Vorschläge für zukünftige Forschungsarbeiten gemacht.

4.1 Empirische Ergebnisse

Die Ergebnisse der Fallanalyse der Wertschöpfungsketten von Weizen zeigen, dass mehrere Anforderungen erfüllt sein müssen, um pilzresistenten und Zöliakie-sicheren Weizen nutzen zu können. Insbesondere weisen die Ergebnisse darauf hin, dass die gesellschaftliche Akzeptanz eine Grundvoraussetzung für die Produktion und Nutzung von genomeditierten Pflanzen ist. Des Weiteren wird sichtbar, dass die Akteure in den Wertschöpfungsketten von Weizen unterschiedliche Motive für die Nutzung von genomeditierten Pflanzen haben. Zu den Hauptmotiven, pilzresistenten Weizen zu nutzen, gehört die Erwartung, durch Pilzkrankheiten und Mykotoxine verursachte Probleme und Kosten zu reduzieren. Bei Zöliakie-sicherem Weizen ist die Befriedigung der Nachfrage nach Produkten, die von Zöliakiepatienten ohne Risiko konsumiert werden können, das Hauptmotiv für die Nutzung. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse jedoch auch, dass das Interesse, innovative Sorten zu testen sowie die Erwartung das Tierwohl zu verbessern und Produktionsmethoden umweltfreundlicher zu gestalten, Akteure motiviert, genomeditierte Pflanzen zu verwenden. Diese Beobachtungen deuten darauf hin, dass die Nutzung von genomeditierten Pflanzen nicht nur aus ökonomischen Motiven erfolgen kann.

Eine weitere Beobachtung ist, dass die Akteure in jeder der untersuchten Wertschöpfungsstufen signifikante Vorteile durch die Nutzung von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen erwarten. Pilzresistenter Weizen nützt den Akteuren, indem er die durch Pilzkrankheiten und Mykotoxine verursachten Probleme und Kosten reduziert. Zöliakie-sicherer Weizen nützt den Akteuren indem er Möglichkeiten bietet, Produkte mit einer hohen Wertschöpfung zu produzieren. Diese Ergebnisse bestätigen empirische Untersuchungen, welche die Potenziale von GE für die Entwicklung von Nutzpflanzen mit höherer agronomischer Leistung und Produktqualität hervorhoben (LASSOUED et al., 2019). Darüber hinaus zeigen sie, dass genomeditierte Pflanzen nicht nur Vorteile für Akteure in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten bieten, sondern auch für die Gesellschaft und die Umwelt. Der gesellschaftliche Nutzen von Zöliakie-sicherem Weizen ist die Möglichkeit, das Portfolio an Produkten zu erweitern, welche für Konsumenten mit Zöliakie geeignet sind. Schätzungen zufolge leiden jedoch nur etwa 1% der Bevölkerung in Europa unter Zöliakie

(MUSTALAHTI et al., 2010). Der gesellschaftliche Nutzen von Zöliakie-sicherem Weizen ist daher auf einen spezifischen Teil der Bevölkerung beschränkt. Im Gegensatz dazu bietet pilzresistenter Weizen Vorteile für die ganze Gesellschaft. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass pilzresistenter Weizen dazu beitragen kann, gesellschaftlichen Forderungen nach einer Reduzierung von Lebensmittelverschwendungen, einer Verbesserung des Tierwohls und einer Verminderung des Einsatzes von Antibiotika in der Tierproduktion nachzukommen. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass pilzresistenter Weizen dazu beitragen kann, die Produktionsmethoden des Pflanzenbaus durch die Reduzierung des Einsatzes von Fungiziden umweltfreundlicher zu gestalten. Empirische Studien deuten jedoch darauf hin, dass Landwirte, die pilzresistenten Weizen anbauen, nicht zwangsläufig die Anwendung von Fungiziden reduzieren. KLOCKE und DACHBRODT-SAAAYDEH (2018) haben festgestellt, dass der Anbau von Sorten mit wirksamer Resistenz gegen Weizenpathogene in den letzten Jahren in Deutschland zugenommen hat. Der Fungizid-Behandlungsindex (BI), der die Intensität des Fungizideinsatzes angibt, hat im selben Zeitraum jedoch nicht abgenommen. Landwirte betrachten ihre Sorten oft nicht individuell und neigen dazu, resistenten und nicht-resistenten Weizen unabhängig vom aktuellen Befall gleich zu behandeln (KLOCKE und SOMMERFELDT, 2018). KLOCKE und SOMMERFELDT (2018) haben beispielsweise beobachtet, dass viele Landwirte Weizen mit spezifischen Mitteln gegen Mehltau behandeln, obwohl die entsprechenden Sorten über wirksame Mehltaresistenzen verfügen. Durch den Verzicht auf regelmäßige und situationsbezogene Bonituren und die Notwendigkeit der Optimierung von Arbeits- und Maschinenzeiten unterbleibt in der Praxis häufig die sortenspezifische Behandlung. Dies verdeutlicht, dass die Verfügbarkeit von pilzresistentem Weizen nicht automatisch zu einer Reduzierung des Einsatzes von Fungiziden führt und dass Landwirte Beratung über das Potenzial resistenter Sorten und deren ökologischen und ökonomischen Vorteile benötigen (KEHLENBECK und RAJMIS, 2018).

Der Nutzen von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen ist möglicherweise nicht gleichmäßig zwischen den verschiedenen Stufen der Wertschöpfungsketten verteilt. Im Fall von pilzresistentem Weizen nehmen wir an, dass die Verteilung des Nutzens von den potenziellen Ertragsverlusten und Kosten durch Pilzkrankheiten und Mykotoxine in jeder Stufe der Wertschöpfungskette abhängt. Demnach erzeugt pilzresistenter Weizen einen größeren Nutzen in denjenigen Wertschöpfungsstufen, in denen Pilzkrankheiten und Mykotoxine zu hohen Kosten und Ertragsverlusten führen können. Pilzkrankheiten und Mykotoxine beeinflussen hauptsächlich die Erträge und Kosten in den Wertschöpfungsstufen Pflanzenproduktion, Agrarhandel, Mühlenwirtschaft und Tierproduktion. Die Lebensmittel- und Stärkeproduktion sind weniger betroffen, da die Bekämpfung von Pilzkrankheiten und damit die Reduktion von Mykotoxinen größtenteils in vorgelagerten Wertschöpfungsstufen (z.B. Pflanzenproduktion, Agrarhandel) stattfindet. Darüber hin-

aus akzeptieren Lebensmittel- und Stärkeproduzenten keine Rohstoffe, deren Qualität durch Pilzkrankheiten und Mykotoxine eingeschränkt ist. Pilzresistenter Weizen kann daher möglicherweise einen größeren Nutzen für Pflanzenproduzenten, Agrarhändler, Mühlenbetriebe und Tierproduzenten bieten. Im Fall von Zöliakie-sicherem Weizen nehmen wir an, dass die Verteilung des Nutzens zwischen Pflanzenproduzenten, Agrarhändlern und Verarbeitungsbetrieben u.a. von der Verkaufsstrategie abhängt. Pflanzenproduzenten können einen höheren Anteil an der Wertschöpfung abschöpfen, wenn sie Zöliakie-sicheren Weizen direkt an Verarbeitungsbetriebe verkaufen. In diesem Fall können Agrarhändler nicht an der Wertschöpfung durch Zöliakie-sicheren Weizen partizipieren.

Die Nutzung genomeditierter Pflanzen ist möglicherweise mit zusätzlichen Kosten für Akteure in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten verbunden. Die Ergebnisse zeigen, dass höhere Lizenzgebühren in der Saatgutproduktion, höhere Rohstoffpreise und höhere Produktpreise zu Kostensteigerungen führen. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass die separate Produktion und Verarbeitung von Zöliakie-sicherem Weizen zusätzliche Kosten verursacht. Die Kosten der Separation können prohibitiv sein. Höhere Marktpreise für Zöliakie-sichere Produkte sind daher unverzichtbar, um Akteure für zusätzliche Kosten durch höhere Rohstoffpreise und die Separation zu kompensieren.

Die Kosten und der Nutzen genomeditierter Pflanzen werden u.a. von der Entwicklung des Preises für genomeditierte Pflanzen abhängen. Darüber hinaus nehmen wir an, dass die Preistransmission von Wertschöpfungsstufe zu Wertschöpfungsstufe Kosten und Nutzen beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, dass die Akteure in den Wertschöpfungsketten einen Anstieg der Rohstoffpreise für Weizen erwarten. Höhere Produktpreise für weizenbasierte Produkte können die Akteure für höhere Rohstoffkosten kompensieren. Die Ergebnisse verdeutlichen jedoch, dass einige Akteure in den Wertschöpfungsketten von Weizen nicht bereit sind, höhere Preise für Produkte aus pilzresistentem Weizen zu zahlen. Insbesondere die Abnehmer von Weizenprodukten aus der Mühlenwirtschaft, Stärkeproduktion und Bioethanolproduktion akzeptieren keine Preissteigerungen aufgrund der höheren Sicherheit von pilzresistentem Weizen. In diesen Wertschöpfungsstufen ist die Nutzung von pilzresistentem Weizen nur dann rentabel, wenn der Nutzen, der sich aus dem geringeren Risiko von Problemen durch Pilzkrankheiten und Mykotoxine ergibt, die zusätzlichen Kosten durch höhere Rohstoffpreise übersteigt.

Ökonomische Risiken können ein signifikantes Hemmnis für die Einführung von Innovationen (z.B. GE) in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten darstellen. Unter der Annahme, dass genomeditierte Pflanzen nicht als GVO reguliert werden, zeigen die Ergebnisse, dass die Akteure in den Wertschöpfungsketten von Weizen nur wenige ökonomische Risiken mit der Nutzung von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen verbinden. Zu diesen Risiken gehören mögliche Schwierigkeiten bei der

Vermarktung von Produkten aufgrund der fehlenden Akzeptanz von genomeditierten Pflanzen durch die Käufer. Ein weiteres Risiko ist die versehentliche Beimischung anderer Weizensorten während der Produktion und Verarbeitung von Zöliakie-sicherem Weizen. Darüber hinaus weisen die Ergebnisse darauf hin, dass eine Diskrepanz zwischen Angebot und Nachfrage nach pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen von den Akteuren als Risiko wahrgenommen wird. Ein Ungleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage ist jedoch eine normale Marktsituation, die nicht spezifisch für die Nutzung von genomeditierten Pflanzen ist.

Die Ergebnisse bezüglich der Treiber und Hemmnisse verdeutlichen einerseits, dass das Haupthindernis für die Nutzung genomeditierter Pflanzen in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten die geringe Akzeptanz von GE in der Gesellschaft und im Lebensmitteleinzelhandel ist. Andererseits zeigen die Ergebnisse auch, dass aktuelle Verbrauchertrends (z.B. Glutenfreie Ernährung) und gesellschaftliche Forderungen nach besseren Tierschutzbedingungen und umweltfreundlichen Produktionsmethoden die Nutzung von genomeditierten Pflanzen vorantreiben können. Ausgehend von dieser Beobachtung argumentieren wir, dass eine bessere Kommunikation der gesellschaftlichen und ökologischen Vorteile genomeditierter Pflanzen möglicherweise dazu beitragen kann, die Akzeptanz von GE zu verbessern. Eine bessere Kommunikation der gesellschaftlichen und ökologischen Vorteile ist insbesondere für die Akzeptanz solcher Pflanzen wichtig, die keine direkten Vorteile für die Verbraucher bieten (z.B. pilzresistenter Weizen). Möglicherweise kann die Akzeptanz von GE bei solchen Kulturen leichter erreicht werden, die durch ihre Eigenschaften einen direkten Nutzen für die Verbraucher erzeugen (z.B. Zöliakie-sicherer Weizen).

4.2 Schlussfolgerungen

Aus der Fallanalyse der Wertschöpfungsketten von Weizen können mehrere Schlussfolgerungen gezogen werden. Die Studie zeigt, dass Akteure in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten von der Nutzung genomeditierter Pflanzen profitieren können. Pilzresistenter Weizen nützt den Akteuren, indem er die Probleme und Kosten reduziert, die aus Pilzkrankheiten und Mykotoxinen resultieren. Zöliakie-sicherer Weizen nützt den Akteuren, indem er Möglichkeiten bietet, Produkte mit einer hohen Wertschöpfung zu produzieren, die zudem sicher von Zöliakie-Patienten konsumiert werden können.

Bezogen auf die Nutzung von pilzresistentem und Zöliakie-sicherem Weizen schlussfolgern wir, dass GE dazu beitragen kann agronomische Probleme zu mindern, Kosten zu senken und die Sicherheit und Qualität von Produkten in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten zu erhöhen. Eine weitere Schlussfolgerung ist, dass GE einen Beitrag zur Erfüllung gesellschaftlicher Forderungen nach weniger Lebensmittelverschwendungen, besseren Tierschutzbedingungen und umweltfreundlicheren Produktionsmethoden leisten kann. Wir schlussfolgern jedoch auch, dass die gesellschaftliche Akzeptanz

von GE unverzichtbar für die Nutzung genomeditierter Pflanzen in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten ist. Eine geringe Akzeptanz von GE durch die Gesellschaft und den Lebensmitteleinzelhandel stellt ein erhebliches Hemmnis für die Nutzung genomeditierter Pflanzen dar. Eine bessere Kommunikation der sozialen und ökologischen Vorteile genomeditierter Pflanzen kann möglicherweise dazu beitragen, die gesellschaftliche Akzeptanz von GE zu stärken.

4.3 Forschungsdesign und zukünftiger Forschungsbedarf

Die Ergebnisse beziehen sich auf den hypothetischen Fall der Nutzung genomeditierter Pflanzen in den Wertschöpfungsketten von Weizen in Deutschland und können nicht ohne kritische Reflexion verallgemeinert werden. Obwohl pilzresistenter Weizen und Zöliakie-sicherer Weizen noch nicht mit GE entwickelt worden sind, bilden die Ergebnisse der Studie eine solide Wissens- und Informationsgrundlage über die potenziellen Folgen von GE für landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten. Weitere Forschungsarbeiten sind notwendig, um zu prüfen, ob die analysierten Sorten auch praxistauglich sind.

Die in dieser Studie angewandten Methoden unterliegen den allgemeinen Beschränkungen qualitativer Forschung wie z.B. die komplexere Erhebung und Interpretation von Daten, die geringere Robustheit der Daten und die begrenzte Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse (OPDENAKKER, 2006; RAHMAN, 2016; QUEIRÓS et al., 2017). Wir argumentieren jedoch, dass die Fallstudienstrategie und die Datenerhebung mit Hilfe von semistrukturierten Experteninterviews angemessen waren, um die potenziellen Folgen von GE für landwirtschaftliche Wertschöpfungsketten eingehend zu untersuchen. Die Wertschöpfungsketten von Weizen haben sich als geeignete Fallstudie erwiesen, da sie die Analyse der Kosten und Nutzen der Verwendung genomeditierter Pflanzen in einer Vielzahl von Industrien und Wertschöpfungsstufen ermöglichten. Die persönlichen Interviews waren hilfreich, da sie tiefe Einblicke in die Voraussetzungen und die Motive der Akteure für die Nutzung genomeditierter Pflanzen gewährten. Darüber hinaus hat sich die Befragung von Verbänden als eine effiziente Strategie erwiesen, um detaillierte Informationen über die analysierten Wertschöpfungsstufen und deren spezifischen Merkmale zu sammeln.

Die Untersuchung der Folgen von GE für die Wertschöpfungsketten von Weizen war eine qualitative Analyse, die sich auf eine detaillierte Beschreibung von Kosten und Nutzen konzentrierte. Weitere Forschungsarbeiten sind notwendig, um die ermittelten Kosten und Nutzen zu quantifizieren. Zukünftige Studien sollten zudem die Kosten berücksichtigen, die sich aus der Regulierung von genomeditierten Pflanzen als GVO ergeben. Des Weiteren sollten zukünftige Studien näher untersuchen, wie ökonomische Risiken sowie Kosten und Nutzen von genomeditierten Pflanzen zwischen den einzelnen Wertschöpfungsstufen und Akteuren verteilt sind.

5 Danksagung

Diese Studie wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes ELSA-GEA durchgeführt (Förderkennzeichen: 01GP1613B). Die Autoren danken Armin Spök and Christian Dayé für die Zusammenarbeit bei der Durchführung des Stakeholderworkshops. Darüber hinaus danken die Autoren Frank Hartung und Ralf Wilhelm für ihr Feedback zu früheren Versionen des Manuskripts.

6 Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- ABDALLAH, N.A., C.S. PRAKASH, A.G. MCHUGHEN, 2015: Genome editing for crop improvement: Challenges and opportunities. *GM Crops & Food* **6** (4), 183–205, DOI:10.1080/21645698.2015.1129937.
- ALEXANDRATOS, N., J. BRUINSMA, 2012: World Agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. *ESA Working paper* **12** (03), 1–154.
- ARAKI, M., T. ISHII, 2015: Towards social acceptance of plant breeding by genome editing. *Trends in Plant Science* **20** (3), 145–149, DOI:10.1016/j.tplants.2015.01.010.
- BECHTOLD, S., 2018: Beyond Risk Considerations: Where and How Can a Debate About Non-safety Related Issues of Genome Editing in Agriculture Take Place? *Frontiers in Plant Science* **9**, 1724, DOI:10.3389/fpls.2018.01724.
- BRAUN, M., P. DABROCK, 2018: Mind the gaps! Towards an ethical framework for genome editing. *EMBO reports* **19** (2), 197–200, DOI:10.15252/embr.201745542.
- BRYDEN, W.L., 2012: Mycotoxin contamination of the feed supply chain: Implications for animal productivity and feed security. *Animal Feed Science and Technology* **173** (1-2), 134–158, DOI:10.1016/j.anifeeds.2011.12.014.
- BUJNICKI, J., P. DYKSTRA, H. WEGENER, 2017: New techniques in agricultural biotechnology. Luxembourg, Publications Office of the European Union.
- CALYXT, 2019: First Commercial Sale of Calyxt High Oleic Soybean Oil on the U.S. Market. Zugriff: 11. November 2019, URL: https://calyxt.com/wp-content/uploads/2019/02/20190226_P R-Calyno-Commercialization.pdf.
- CAPLAN, A.L., B. PARENT, M. SHEN, C. PLUNKETT, 2015: No time to waste – the ethical challenges created by CRISPR: CRISPR/Cas, being an efficient, simple, and cheap technology to edit the genome of any organism, raises many ethical and regulatory issues beyond the use to manipulate human germ line cells. *EMBO reports* **16** (11), 1421–1426, DOI:10.15252/embr.201541337.
- CARROLL, D., 2017: Genome Editing: Past, Present, and Future. *The Yale Journal of Biology and Medicine* **90** (4), 653–659.
- CARROLL, D., R.A. CHARO, 2015: The societal opportunities and challenges of genome editing. *Genome Biology* **16**, 242, DOI:10.1186/s13059-015-0812-0.
- DAYÉ, C., A. SPÖK, 2019: Diskussionsbericht zum Workshop „Genome Editing für die Landwirtschaft in Deutschland und Europa – Sozioökonomische Aspekte in landwirtschaftlichen Wertschöpfungsketten“. Zugriff: 1. November 2019, URL: https://www.dialog-gea.de/application/files/7315/7545/5915/191030_ELSA-GEA_SHK2A-Bericht_webversion.pdf.
- DUPONT PIONEER, 2016: DuPont Pioneer Announces Intentions to Commercialize First CRISPR-Cas Product. Zugriff: 12. August 2019, URL: <https://www.pioneer.com/home/site/about/news-media/news-releases/template.CONTENT/guid.1DB8FB71-1117-9A56-E0B6-3EA6F85AAE92>.
- GAJ, T., C.A. GERSBACH, C.F. BARBAS, 2013: ZFN, TALEN, and CRISPR/Cas-based methods for genome engineering. *Trends in Biotechnology* **31** (7), 397–405, DOI:10.1016/j.tibtech.2013.04.004.

- GEORGES, F., H. RAY, 2017: Genome editing of crops: A renewed opportunity for food security. *GM Crops & Food* **8** (1), 1–12, DOI: 10.1080/21645698.2016.1270489.
- GERICHTSHOF DER EUROPÄISCHEN UNION, 2018: Pressemitteilung No 111/18. Luxemburg.
- GIL-HUMANES, J., Y. WANG, Z. LIANG, Q. SHAN, C.V. OZUNA, S. SÁNCHEZ-LEÓN, N.J. BALTES, C. STARKER, F. BARRO, C. GAO, D.F. VOYTAS, 2017: High-efficiency gene targeting in hexaploid wheat using DNA replicons and CRISPR/Cas9. *The Plant Journal* **89** (6), 1251–1262, DOI: 10.1111/tjp.13446.
- GOBBETTI, M., E. PONTONIO, P. FILANNINO, C.G. RIZZELLO, M. DE ANGELIS, R. DI CAGNO, 2018: How to improve the gluten-free diet: The state of the art from a food science perspective. *Food Research International* **110**, 22–32, DOI: 10.1016/j.foodres.2017.04.010.
- GODFRAY, H.C.J., J.R. BEDDINGTON, I.R. CRUTE, L. HADDAD, D. LAWRENCE, J.F. MUIR, J. PRETTY, S. ROBINSON, S.M. THOMAS, C. TOULMIN, 2010: Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* **327** (5967), 812–818, DOI: 10.1126/science.1185383.
- HARTUNG, F., J. SCHIEMANN, 2014: Precise plant breeding using new genome editing techniques: opportunities, safety and regulation in the EU. *The Plant Journal* **78** (5), 742–752, DOI: 10.1111/tjp.12413.
- HOPP, M., S. LANGE, A. EPP, M. LOHMANN, G.-F. BÖL, 2017: Durchführung von Fokusgruppen zur Wahrnehmung des Genome Editings (CRISPR/Cas9): Abschlussbericht, MyCoRe Community, DOI: 10.17590/20170801-140047.
- HUA, K., J. ZHANG, J.R. BOTELLA, C. MA, F. KONG, B. LIU, J.-K. ZHU, 2019: Perspectives on the Application of Genome-Editing Technologies in Crop Breeding. *Molecular Plant* **12** (8), 1047–1059, DOI: 10.1016/j.molp.2019.06.009.
- ISHII, T., M. ARAKI, 2016: Consumer acceptance of food crops developed by genome editing. *Plant Cell Reports* **7** (35), 1507–1518.
- JAGANATHAN, D., K. RAMASAMY, G. SELLAMUTHU, S. JAYABALAN, G. VENKATARAMAN, 2018: CRISPR for Crop Improvement: An Update Review. *Frontiers in Plant Science* **9**, 985, DOI: 10.3389/fpls.2018.00985.
- JNAWALI, P., V. KUMAR, B. TANWAR, 2016: Celiac disease: Overview and considerations for development of gluten-free foods. *Food Science and Human Wellness* **5** (4), 169–176, DOI: 10.1016/j.fshw.2016.09.003.
- JOUANIN, A., L. BOYD, R.G.F. VISSER, M.J.M. SMULDERS, 2018a: Development of Wheat With Hypoimmunogenic Gluten Obstructed by the Gene Editing Policy in Europe. *Frontiers in Plant Science* **9**, 1523, DOI: 10.3389/fpls.2018.01523.
- JOUANIN, A., L.J.W.J. GILISSEN, L.A. BOYD, J. COCKRAM, F.J. LEIGH, E.J. WALLINGTON, H.C. VAN DEN BROECK, I.M. VAN DER MEER, J.G. SCHAART, R.G.F. VISSER, M.J.M. SMULDERS, 2018b: Food processing and breeding strategies for coeliac-safe and healthy wheat products. *Food Research International* **110**, 11–21, DOI: 10.1016/j.foodres.2017.04.025.
- KAMBUROVA, V.S., E.V. NIKITINA, S.E. SHERMATOV, Z.T. BURIEV, S.P. KUMPATLA, C. EMANI, I.Y. ABDURAKHMONOV, 2017: Genome Editing in Plants: An Overview of Tools and Applications. *International Journal of Agronomy* **2017** (22), 1–15, DOI: 10.1155/2017/7315351.
- KANCHISWAMY, C.N., M. MAFFEI, M. MALNOY, R. VELASCO, J.-S. KIM, 2016: Fine-Tuning Next-Generation Genome Editing Tools. *Trends in Biotechnology* **34** (7), 562–574, DOI: 10.1016/j.tibtech.2016.03.007.
- KEHLENBECK, H., S. RAJMIS, 2018: Was bleibt unterm Strich? DLG Mitteilungen (2), 56–57.
- KEMPER, S., D. SCHAACK, W. VON SCHENCK, 2019: AMI Markt Bilanz Getreide · Olsaaten · Futtermittel 2019. Bonn, Agrarmarkt Informations-Gesellschaft mbH, 227.
- KLOCKE, B., S. DACHBRODT-SAAAYDEH, 2018: Nutzung der Sortenresistenz in der Praxis - Ergebnisse des Netzes Vergleichsbetriebe Pflanzenschutz in den Jahren 2007 bis 2016. *Julius-Kühn-Archiv* **461**, 98–99.
- KLOCKE, B., N. SOMMERFELDT, 2018: Hingucken lohnt sich. DLG Mitteilungen (2), 52–55.
- KUPPER, C., 2005: Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology* **128** (4 Suppl 1), S121–7, DOI: 10.1053/j.gastro.2005.02.024.
- LAUSSOUED, R., D.M. MACALL, H. HESSELN, P.W.B. PHILLIPS, S.J. SMYTH, 2019: Benefits of genome-edited crops: expert opinion. *Transgenic Research* **28** (2), 247–256, DOI: 10.1007/s11248-019-00118-5.
- LOPEZ, J.A., K. ROJAS, J. SWART, 2015: The economics of foliar fungicide applications in winter wheat in Northeast Texas. *Crop Protection* **67**, 35–42, DOI: 10.1016/j.cropro.2014.09.007.
- LUO, Y., X. LIU, J. LI, 2018: Updating techniques on controlling mycotoxins - A review. *Food Control* **89**, 123–132, DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.01.016.
- MA, X., M. MAU, T.F. SHARBEL, 2018: Genome Editing for Global Food Security. *Trends in Biotechnology* **36** (2), 123–127, DOI: 10.1016/j.tibtech.2017.08.004.
- MAAB, O., N. CONSMÜLLER, H. KEHLENBECK, 2019: Socioeconomic Impact of Genome Editing on Agricultural Value Chains: The Case of Fungal-Resistant and Coeliac-Safe Wheat. *Sustainability* **11** (22), 6421, DOI: 10.3390/su11226421.
- MAYRING, P., 2010: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken. s.l., Beltz Verlagsgruppe.
- MCCAMMON, B., 2019: Semi-Structured Interviews. Zugriff: 9. März 2019, URL: <http://designresearchtechniques.com/casestudies/semi-structured-interviews/>.
- METJE-SPRINK, J., J. MENZ, D. MODRZEJEWSKI, T. SPRINK, 2018: DNA-Free Genome Editing: Past, Present and Future. *Frontiers in Plant Science* **9**, 1957, DOI: 10.3389/fpls.2018.01957.
- MODRZEJEWSKI, D., F. HARTUNG, T. SPRINK, D. KRAUSE, C. KOHL, R. WILHELM, 2019: What is the available evidence for the range of applications of genome-editing as a new tool for plant trait modification and the potential occurrence of associated off-target effects: a systematic map. *Environmental Evidence* **8** (1), 11, DOI: 10.1186/s13750-019-0171-5.
- MUÑOZ, I.V., S. SARROCCO, L. MALFATTI, R. BARONCELLI, G. VANNACCI, 2019: CRISPR-Cas for Fungal Genome Editing: A New Tool for the Management of Plant Diseases. *Frontiers in Plant Science* **10**, 135, DOI: 10.3389/fpls.2019.00135.
- MUSTALAHTI, K., C. CATASSI, A. REUNANEN, E. FABIANI, M. HEIER, S. McMILLAN, L. MURRAY, M.-H. METZGER, M. GASPARIN, E. BRAVI, M. MÄKI, 2010: The prevalence of celiac disease in Europe: results of a centralized, international mass screening project. *Annals of Medicine* **42** (8), 587–595, DOI: 10.3109/07853890.2010.505931.
- OERKE, E.-C., 2006: Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* **144** (1), 31–43, DOI: 10.1017/S0021859605005708.
- OPDENAKKER, R., 2006: Advantages and Disadvantages of Four Interview Techniques in Qualitative Research. *Forum Qualitative Social Research* **7** (4), 1–13.
- QUEIRÓS, A., D. FARIA, F. ALMEIDA, 2017: Strengths and Limitations of Qualitative and Quantitative Research Methods. *European Journal of Education Studies* **3** (9), 369–387, DOI: 10.5281/zenodo.887089.
- RAHMAN, M.S., 2016: The Advantages and Disadvantages of Using Qualitative and Quantitative Approaches and Methods in Language “Testing and Assessment” Research: A Literature Review. *Journal of Education and Learning* **6** (1), 102–112, DOI: 10.5539/jel.v6n1p102.
- RICROCH, A.E., K. AMMANN, M. KUNTZ, 2016: Editing EU legislation to fit plant genome editing: The use of genome editing technologies in plant breeding requires a novel regulatory approach for new plant varieties that involves farmers. *EMBO reports* **17** (10), 1365–1369, DOI: 10.15252/embr.201643099.
- RODRIGUEZ, E., 2016: Ethical Issues in Genome Editing using Crispr/Cas9 System. *Journal of Clinical Research & Bioethics* **07** (2), DOI: 10.4172/2155-9627.1000266.
- RUBIO-TAPIA, A., I.D. HILL, C.P. KELLY, A.H. CALDERWOOD, J.A. MURRAY, 2013: ACG clinical guidelines: diagnosis and management of celiac disease. *The American Journal of Gastroenterology* **108** (5), 656–76; quiz 677, DOI: 10.1038/ajg.2013.79.
- SÁNCHEZ-LEÓN, S., J. GIL-HUMANES, C.V. OZUNA, M.J. GIMÉNEZ, C. SOUSA, D.F. VOYTAS, F. BARRO, 2018: Low-gluten, nontransgenic wheat engineered with CRISPR/Cas9. *Plant Biotechnology Journal* **16** (4), 902–910, DOI: 10.1111/pbi.12837.
- SAVARY, S., L. WILLOQUET, S.J. PETHYBRIDGE, P. ESKER, N. MCROBERTS, A. NELSON, 2019: The global burden of pathogens and pests on major food crops. *Nature Ecology & Evolution* **3** (3), 430–439, DOI: 10.1038/s41559-018-0793-y.
- SCHAART, J.G., C.C.M. VAN DE WIEL, L.A.P. LOTZ, M.J.M. SMULDERS, 2016: Opportunities for Products of New Plant Breeding Techniques. *Trends in plant science* **21** (5), 438–449, DOI: 10.1016/j.tplants.2015.11.006.
- SCHÉBEN, A., D. EDWARDS, 2018: Bottlenecks for genome-edited crops on the road from lab to farm. *Genome Biology* **19** (1), 178, DOI: 10.1186/s13059-018-1555-5.
- SCHREIER, M., 2012: Qualitative content analysis in practice. Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC, SAGE.
- SHAW, A.M., L.L. NALLEY, H.A. SNELL, R.M. NAYGA, B.L. DIXON, 2018: CRISPR versus GMOs: Public acceptance and valuation. *Global Food Security* **19**, 71–80, DOI: 10.1016/j.gfs.2018.10.005.
- SHEWRY, P.R., S.J. HEY, 2015: The contribution of wheat to human diet and health. *Food and Energy Security* **4** (3), 178–202, DOI: 10.1002/fes3.64.
- SPRINK, T., D. ERIKSSON, J. SCHIEMANN, F. HARTUNG, 2016: Regulatory hurdles for genome editing: process- vs. product-based approaches in different regulatory contexts. *Plant Cell Reports* **35** (7), 1493–1506, DOI: 10.1007/s00299-016-1990-2.

- STEIN, R.A., A.E. BULBOACĂ, 2017: Mycotoxins. In: *Foodborne Diseases*, Elsevier, S. 407-446.
- TOLA, M., B. KEBEDE, 2016: Occurrence, importance and control of mycotoxins: A review. *Cogent Food & Agriculture* 2 (1), 779, DOI: 10.1080/23311932.2016.1191103.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE-ANIMAL AND PLANT HEALTH (USDA-APHIS), 2016: Confirmation of regulatory status of waxy corn developed by CRISPR-Cas technology. Zugriff: 12. August 2019, URL: https://www.aphis.usda.gov/biotechnology/downloads/reg_loi/15-352-01_air_response_signed.pdf.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE-ANIMAL AND PLANT HEALTH (USDA-APHIS), 2017: Confirmation that a Glycine max (soybean) line mutagenized using CRISPR-Cas9 is not a regulated article. Zugriff: 12. August 2019, URL: https://www.aphis.usda.gov/biotechnology/downloads/reg_loi/17-219-01_air_response_signed.pdf.
- UNITED NATIONS, 2019: World Population Prospects 2019 - Highlights. Zugriff: 1. September 2019, URL: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf.
- VAN DE WIEL, C.C.M., J.G. SCHAART, L.A.P. LOTZ, M.J.M. SMULDERS, 2017: New traits in crops produced by genome editing techniques based on deletions. *Plant biotechnology reports* 11 (1), 1–8, DOI: 10.1007/s11816-017-0425-z.
- VOYTAS, D.F., C. GAO, 2014: Precision genome engineering and agriculture: opportunities and regulatory challenges. *PLoS biology* 12 (6), e1001877, DOI: 10.1371/journal.pbio.1001877.
- WALTZ, E., 2018: With a free pass, CRISPR-edited plants reach market in record time. *Nature biotechnology* 36 (1), 6–7, DOI: 10.1038/nbt0118-6b.
- WASMER, M., 2019: Roads Forward for European GMO Policy-Uncertainties in Wake of ECJ Judgment Have to be Mitigated by Regulatory Reform. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology* 7, 132, DOI: 10.3389/fbioe.2019.00132.
- WHELAN, A.I., M.A. LEMA, 2017: A research program for the socio-economic impacts of gene editing regulation. *GM Crops & Food* 8 (1), 74–83, DOI: 10.1080/21645698.2016.1271856.
- WIKMARK, O.-G., S.Z. AGAPITO-TENFEN, 2015: Current status of emerging technologies for plant breeding: Biosafety and knowledge gaps of site directed nucleases and oligonucleo de-directed mutagenesis. *Tromsø*, 45, DOI: 10.13140/RG.2.1.3618.9523.
- ZAIN, M.E., 2011: Impact of mycotoxins on humans and animals. *Journal of Saudi Chemical Society* 15 (2), 129–144, DOI: 10.1016/j.jscs.2010.06.006.
- ZHANG, X.-H., L.Y. TEE, X.-G. WANG, Q.-S. HUANG, S.-H. YANG, 2015: Off-target Effects in CRISPR/Cas9-mediated Genome Engineering. *Molecular Therapy–Nucleic Acids* 4, e264, DOI: 10.1038/mtna.2015.37.
- ZHAO, H., J.D. WOLT, 2017: Risk associated with off-target plant genome editing and methods for its limitation. *Emerging Topics in Life Sciences* 1 (2), 231–240, DOI: 10.1042/ETLS20170037.

© Der Autor/Die Autorin 2020.

 Dies ist ein Open-Access-Artikel, der unter den Bedingungen der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz (CC BY 4.0) zur Verfügung gestellt wird (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>).

© The Author(s) 2020.

 This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).