



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Der Bundesrat

Bericht zu Kosten-Nutzen von gentechnisch veränderten Pflanzen

Executive Summary

Auftrag, Ziele und Vorgehen

Mit der Annahme von Artikel 187d Absatz 1 des Landwirtschaftsgesetzes (LwG) beauftragte das Parlament den Bundesrat, eine Studie über Kosten und Nutzen des Anbaus von gentechnisch veränderten Organismen (GVO) in der Schweizer Landwirtschaft zu erstellen. Die Studie soll die Vor- und Nachteile der GVO für Produzenten, Konsumenten und die Umwelt analysieren. Eine entsprechende Methodik sollte entwickelt und angewendet und die Ergebnisse in einem Bericht dargestellt werden.

Ziel dieser Studie war es zu untersuchen, welche Vor- und Nachteile bestimmte für die Schweizer Landwirtschaft potenziell interessante GVO im Vergleich zu ihren herkömmlich gezüchteten Pendanten haben könnten. Vier für die Schweiz wichtige Kulturpflanzen wurden in der Studie berücksichtigt. Dabei wurde jeweils eine GVO-Sorte mit einer herkömmlichen Sorte unter Annahme einer geltenden Koexistenzverordnung gemäss dem Entwurf von 2013 innerhalb von sieben verschiedenen Szenarien verglichen. Zwei der gewählten GVO-Sorten werden heute kommerziell genutzt: die gegen den Maiszünsler resistente Bt-Maissorte und die Glyphosat-resistente Zuckerrübe H7-1. Der Schorf- und Feuerbrand-resistente Apfel und die Kraut- und Knollenfäule-resistente Kartoffel sind in Entwicklung. Als Methodik für den Vergleich wurde eine multikriterielle Entscheidungsanalyse entwickelt, die quantitative und qualitative Parameter aus den Bereichen Landwirtschaft, Markt und Umwelt integriert. Für die Modellierung wurden Daten aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen und die Meinungen von Experten aus den spezifischen Bereichen herangezogen.

Der Einsatz von GVO könnte eine umweltschonende Land- und Ernährungswirtschaft fördern

Die Menge an ausgebrachten Pestiziden und die Massnahmen zur Trennung der Warenflüsse hatten in dieser Studie beim Anbau von GVO die grössten Auswirkungen auf die Umwelt. GVO mit spezifischer Krankheitsresistenz haben theoretisch einen geringeren Inputbedarf. Hingegen wirkte sich der Aufwand zur Trennung der Warenflüsse (längere Transportwege...) negativ auf die wirtschaftliche Nachhaltigkeit aus. Der GVO-Anbau hätte folglich positive Auswirkungen auf die Umweltparameter, wenn er ein phytosanitäres Problem entschärft und in die bestehenden Lagerungs- und Verarbeitungsflüsse integriert werden kann.

Im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit zeigten drei der vier untersuchten GVO im Vergleich zur herkömmlich gezüchteten Sorte ein besseres Ergebnis. Die herbizidtolerante Zuckerrübe, die Kraut- und Knollenfäule-resistente Kartoffel und ein Schorf- und Feuerbrand-resistenter Apfel benötigen im Anbau weniger Pestizide als herkömmliche Sorten. Dies resultiert in einem schonenderen Umgang mit den natürlichen Ressourcen, einer geringeren Belastung von Luft, Boden und Wasser und in gewissen Fällen auch weniger negativen Auswirkungen auf Nichtzielorganismen und die Biodiversität. Allerdings sind die beobachteten Vorteile im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit stark von den verfügbaren Resistenzen und vom Resistenzmanagement abhängig. Ein allfälliger Einsatz solcher Technologien müsste unter Anwendung geeigneter Verfahren erfolgen, um ihre Effizienz langfristig zu gewährleisten (Fruchtfolgen...).

Keine Nachfrage für GVO auf dem Schweizer Markt

Sozioökonomisch fielen die Resultate für GVO generell schlechter aus als für herkömmliche Kulturpflanzen. Dies hauptsächlich aus zwei Gründen: Erstens ist zu erwarten, dass die geringe Akzeptanz für GVO-Produkte in der Schweiz zu einem schlechten Absatz führen dürfte, was sich in einem verringerten Erlös für die Produzenten auswirkt. Zweitens führen Koexistenz- und Warenflusstrennungsmassnahmen zu Mehrkosten in der Produktion und in der Verarbeitung. Diese Mehrkosten dürften dazu führen, dass GVO-Produkte nicht preisgünstiger angeboten werden können als herkömmliche. Das Ausmass der Mehrkosten für die Koexistenz hängt von verschiedenen Kriterien wie Art des GVO, Verarbeitungsart der Ernte und Länge des Warenflussweges ab. Bestimmte GVO ermöglichen den Produzenten Einsparungen beim Arbeitsaufwand (weniger Spritzfahrten). Diese Einsparungen vermögen die Mehrkosten in der Regel jedoch nicht zu kompensieren, weshalb diese Anbausysteme nicht oder kaum konkurrenzfähig sind.

Die Zukunft der «Toolbox» Gentechnik

Die Studie zeigt, dass der Anbau von GVO der ersten Generation derzeit vor allem aus sozioökonomischer Sicht nicht rentabel ist. Dies könnte sich ändern mit der Entwicklung von Sorten, die besser auf die Schweizer Agrarsysteme zugeschnitten sind, d. h. Sorten, die 1) den Ansprüchen der Konsumentinnen und Konsumenten besser entsprechen, 2) die Ressourcen der Agrarsysteme schonen und 3) den Produzenten eine nachhaltige Verdienstquelle verschaffen. Vor dem Hintergrund der sich ändernden Rahmenbedingungen in der Gesellschaft aber auch angesichts der zu erwartenden Veränderungen bei den Anbaubedingungen im Zuge des Klimawandels könnte sich die Attraktivität – in anderen Worten das Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen – von GVO für die landwirtschaftliche Produktion auch in der Schweiz künftig ändern. Die rasante Entwicklung der Forschung wird eine Anpassung des Rechtsrahmens erfordern, und es ist schwierig vorherzusagen, wie sich die Wahrnehmung der neuen Biotechnologien, und allgemein ihre Verflechtung mit der Landwirtschaft mittelfristig entwickeln werden. Die Rolle, welche die «Toolbox» Gentechnik in der Schweizer Landwirtschaft von morgen spielen könnte, muss neu überdacht werden. Die Kombination moderner Gentechnologien (nicht nur der Transgenese) mit Produktionssystemen mit geringem Inputbedarf oder mit dem biologischen Anbau könnte eine neue nachhaltige Form der Landwirtschaft ermöglichen.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Executive Summary | 2 |
| Inhaltsverzeichnis | 4 |
| 1 Einleitung | 5 |
| 2 Methode | 7 |
| 2.1 Multikriterielle Entscheidungsanalyse | 7 |
| 2.2 Wahl der Kriterien | 7 |
| 2.3 Definition der Nachhaltigkeitskriterien | 8 |
| 2.3.1 Sozioökonomische Kriterien | 8 |
| 2.3.2 Kriterien der ökologischen Nachhaltigkeit | 14 |
| 2.4 Modell und Aggregation | 19 |
| 2.5 Vergleich von sieben GVO-Anbausystemen mit ihren herkömmlichen Pendants | 23 |
| 2.6 Grenzen der Modellierung | 24 |
| 3 Ergebnisse | 25 |
| 3.1 Bt-Mais | 25 |
| 3.1.1 Einleitung | 25 |
| 3.1.2 Szenarien | 25 |
| 3.1.3 Bewertung der Nachhaltigkeit | 28 |
| 3.1.4 Zusammenfassung der Nachhaltigkeitsanalyse für Bt-Mais | 39 |
| 3.2 Herbizidtolerante Zuckerrübe (HT) | 41 |
| 3.2.1 Einleitung | 41 |
| 3.2.2 Szenarien | 41 |
| 3.2.3 Bewertung der Nachhaltigkeit | 44 |
| 3.3 Kraut- und Knollenfäule-resistente (KKR)-Kartoffel | 55 |
| 3.3.1 Einleitung | 55 |
| 3.3.2 Szenario | 55 |
| 3.4 Schorf- und Feuerbrand resistenter (SFR)-Galaapfel | 65 |
| 3.4.1 Einleitung | 65 |
| 3.4.2 Szenario | 66 |
| 3.4.3 Bewertung der Nachhaltigkeit | 68 |
| 3.5 Analyse der Sensitivität des Modells | 77 |
| 4 Diskussion | 79 |
| 4.1 Die Unterscheidung zwischen kurzfristiger und langfristiger Nachhaltigkeit ist zentral | 79 |
| 4.2 Koexistenz beeinflusst die Nachhaltigkeit | 80 |
| 5 Schlussfolgerungen | 81 |
| 6 Anhang | 84 |
| 6.1 Abkürzungen | 84 |
| 6.2 Literaturverzeichnis | 84 |
| 6.3 Abbildungsverzeichnis | 100 |
| 6.4 Tabellenverzeichnis | 100 |

1 Einleitung

In der Schweiz dürfen aufgrund des sogenannten Gentech-Moratoriums keine gentechnisch veränderten Organismen (GVO) angebaut werden. Nachdem das Gentech-Moratorium 2005 durch eine Volksinitiative zustande kam, wurde es nach fünf Jahren ein erstes Mal bis 2013 und ein zweites Mal bis 2017 verlängert. Gestützt auf Art. 37a des Gentechnikgesetzes hat der Bund den Auftrag, bis zu diesem Zeitpunkt die Ausführungsbestimmungen für einen GVO-Anbau zu erlassen. Im Jahr 2013 führte der Bundesrat eine Vernehmlassung zur ausgearbeiteten Koexistenz-Regelung durch.

Der Auftrag für das Kosten-Nutzen-Projekt kam durch einen Antrag von Nationalrat Hans-Jörg Walter zustande. Der Antrag wurde in der Debatte zur Agrarpolitik (AP) 14–17 gestellt. Er forderte die Verlängerung des Gentech-Moratoriums bis Ende 2017 (Art. 37a Gentechnikgesetz) und die Erarbeitung einer Methodik zur Evaluation von GVO, zusammengefasst in einem entsprechenden Bericht (s. Kasten). Der Antrag wurde von beiden Kammern klar angenommen.

Art. 187d Abs. 1 Landwirtschaftsgesetz: Der Bundesrat legt bis zum 30. Juni 2016 einen Bericht vor mit einer Methodik zur Evaluation des Nutzens von gentechnisch veränderten Pflanzen. Dabei soll beurteilt werden, ob sich die GVO im Vergleich zu herkömmlichen landwirtschaftlichen Erzeugnissen und Produktionsmitteln für die Produktion, die Konsumenten und die Umwelt als vorteilhaft erweisen. Auf der Basis der erarbeiteten Methodik erstellt der Bundesrat eine auf die Schweiz ausgerichtete Kosten-Nutzen-Bilanz der heute existierenden gentechnisch veränderten Pflanzen.

Der Auftrag verlangt, dass eine Methodik entwickelt werden soll, die eine Kosten-Nutzen-Analyse von GVO ermöglicht und gleichzeitig die Bedürfnisse der Konsumenten und der Umwelt berücksichtigt. Entsprechend wurde eine Methodik für eine multikriterielle Entscheidungsanalyse (multi-criteria decision analysis, MCDA, Bohanec et al., 2008) entwickelt, die quantitative (Preise, Treibstoffverbrauch) und qualitative (Konsumentenzufriedenheit, Ruf der Firmen) Parameter integriert und auf die Situation der Schweizer Agrarsysteme zugeschnitten ist.

Die verwendete Methodik (MCDA) genügt folgenden Bedingungen:

- Sie deckt die drei Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) ab;
- Sie bildet die schweizerischen Gegebenheiten möglichst vollständig ab;
- Sie erlaubt die Bewertung jeder einzelnen heute erhältlichen gentechnisch veränderten Pflanzensorte, welche für die Schweizer Landwirtschaft von Interesse sein könnte.

In der Studie werden die GVO-Sorten von vier für die Schweizer Agrarsysteme wichtigen Kulturpflanzen – Mais, Zuckerrübe, Kartoffel und Apfel – in sieben verschiedenen Szenarien geprüft. Zwei der gewählten GVO-Sorten werden heute kommerziell genutzt: der Mais, der das insektizide Bt-Cry-Toxin exprimiert, und die gegen ein bestimmtes Herbizid resistente Zuckerrübe. Die anderen beiden Sorten, die Kraut- und Knollenfäule-resistente Kartoffel und der Schorf- und Feuerbrand-resistente Apfel, sind Prototypen in der Entwicklung, die in der Schweiz getestet werden. Die Methodik lässt sich allgemein auf jede weitere Entwicklung anwenden, die ins Schweizer Agrarsystem integriert werden soll.

Der Bericht ist in ein etabliertes Wissenssystem eingebettet: Das Nationale Forschungsprogramm (NFP) 59 hat seit 2012 mehrere Stellungnahmen zu verschiedenen Aspekten des Themas GVO in der Schweiz abgegeben. Einrichtungen wie die Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT) und das Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) haben Daten bereitgestellt und Stellungnahmen abgegeben, welche die Zukunftsfähigkeit einer Reihe von GVO in einem schweizerischen Kontext zum Thema haben (SCNAT, 2013, Speiser et al., 2013). Vor allem die Arbeit von Speiser et al. (2013) stellt eine wichtige Bestandsaufnahme der potenziellen Auswirkungen gewisser GVO-Sorten in der Schweiz dar. Sie dient in unserer Studie als Grundscenario. Konstruktion und Implementierung des MCDA-Modells stützen sich auf aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen und eine Reihe von Konsultationen der verschiedenen beteiligten Akteure (Stakeholder, vollständige Liste unter Danksagung). Das Modell versucht, alle diese Daten, Berichte und Stellungnahmen möglichst objektiv und umfassend zu berücksichtigen.

Den Besonderheiten der schweizerischen Landwirtschaft wird in der Analyse Rechnung getragen: die relativ geringe Grösse der Betriebe (im Durchschnitt 17 ha, ein Drittel davon im Berggebiet, BLW, 2014), die breite Beteiligung an der Labelproduktion (IP, Bio...) und die besondere Struktur der öffentlichen Stützung der Landwirtschaft (ökologischer Leistungsnachweis...). Diese Faktoren sind der Grund für die hohen Qualitätsanforderungen des schweizerischen Agrarsystems und geben den Rahmen der möglichen Auswirkungen der Einführung von GVO auf die sozioökonomische und ökologische Nachhaltigkeit vor.

Eine solche Einführung hätte je nach bestehendem Rechtsrahmen mehr oder weniger weitgehende Auswirkungen auf das Warenflussmanagement und die Erhaltung der Wahlfreiheit. Sämtliche Fragestellungen, die unter dem Begriff «Koexistenz» zusammengefasst werden, waren Gegenstand einer grossangelegten Prospektivstudie in der Europäischen Union (Messean et al., 2006). Wir nutzen diese Arbeiten für unsere Zwecke und analysieren hier die konkreten Auswirkungen der Koexistenz auf die verschiedenen Aspekte der Nachhaltigkeit. Die Herausforderung besteht dabei darin, herauszufinden, ab welchem Punkt die für die Errichtung und den Betrieb einer neuen GVO-Wertschöpfungskette notwendigen Koexistenzmassnahmen den GVO-Anbau wirtschaftlich rentabel machen würden. Das Koexistenzregime für die Schweiz befindet sich noch in der Entwicklung.

Als direkte Antwort auf Artikel 187d.1 des Landwirtschaftsgesetzes wird hier eine umfassende Methodik zur Evaluation präsentiert, welche die Beurteilung der Nachhaltigkeitswirksamkeit von gentechnisch veränderten Pflanzen im Vergleich zu ihren herkömmlichen Pendanten ermöglicht. Das Modell, für das Daten aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Expertenmeinungen herangezogen wurden, zeigt mit welchen spezifischen Problemstellungen im Falle einer Einführung von GVO in der Schweiz zu rechnen ist und soll, so steht zu hoffen, einen offenen und konstruktiven Dialog ermöglichen, der letztlich der Nachhaltigkeit unserer Agrarsysteme zugutekommt.

2 Methode

2.1 Multikriterielle Entscheidungsanalyse

Die multikriterielle Entscheidungsanalyse (Multi-Criteria Decision Analysis, MCDA) ist ein Instrument, das die Entscheidungsfindung basierend auf einem Satz von qualitativen und quantitativen Parametern unterstützen soll und häufig benutzt wird, um die Nachhaltigkeit von Systemen zu testen (Bohanec et al., 2008, Sadok et al., 2009). In diesem Bericht dient das Modell dazu, den Anbau eines bestimmten GVO mit dem Anbau und der Verarbeitung seines herkömmlichen Pendantes vergleichend zu bewerten. Die Methode DEXi, die früher schon zur Beurteilung des Bt-Mais verwendet wurde (Bohanec et al., 2008, Pelzer et al., 2012), wurde hier in einer an die Bedürfnisse der Schweizer Agrarsysteme angepassten Version implementiert.

Die Konstruktion des Modells erfolgt in mehreren Schritten:

- Auswahl und Definition der Kriterien
- Architektur des Modells
- Definition der Aggregationsregeln und der relativen Gewichte (implementiert in der Software DEXi)
- Definition der Szenarien und der Grenzen des Modells
- Analyse der verschiedenen Szenarien gestützt auf die verfügbaren Daten und Expertenmeinungen.

Die Kriterien des Modells wurden so gewählt, dass die verschiedenen nachhaltigkeitswirksamen Parameter sowohl für die sozioökonomischen als auch für die ökologischen Kriterien möglichst vollständig und ausgewogen dargestellt sind. Die sozioökonomische Nachhaltigkeit beinhaltet 21 Parameter, welche die drei Hauptakteure umfassen. Die ökologische Nachhaltigkeit wird anhand von zwanzig Parametern beurteilt, welche die Auswirkungen auf die Biodiversität, die Auswirkungen auf die Umweltqualität und den Ressourceneinsatz abbilden. Die einzelnen Parameter werden im folgenden Abschnitt genau definiert. Die Architektur des Modells und die Wahl der Parameter wurden von den Experten und den Akteuren der betreffenden Bereiche genehmigt.

2.2 Wahl der Kriterien

Die gewählten Kriterien der ökologischen Dimension wurden in erster Linie aus den Umweltzielen Landwirtschaft (BAFU und BLW, 2008) abgeleitet. Ein anderes in den Umweltzielen Landwirtschaft nicht aufgeführtes Element wurde aufgenommen, weil es in der Beurteilung von GVO eine wichtige Rolle spielt: der Genfluss in verwandte Wildpflanzen (d. h. die Weitergabe des Transgens an wilde, verwandte Arten) und die Invasivität in natürliche Habitate (d. h. die Fähigkeit einer Pflanze, sich in natürlichen, nicht-landwirtschaftlichen Habitaten zu etablieren und die sonst dort ansässigen Organismen zu verdrängen).

In der sozioökonomischen Dimension war der Fokus darauf gerichtet, dass die relevanten Bereiche der drei Anspruchsgruppen – landwirtschaftliche Betriebe, andere Unternehmen (z. B. Verarbeiter, Handel) der Land- und Ernährungswirtschaft (zusammengefasst unter dem Begriff «Agribusiness») und Konsumenten – so vollständig wie möglich dargestellt sind. Diese drei Gruppen bilden die Hauptäste der sozioökonomischen Dimension, die sozioökonomischen Strukturen stehen dabei der Gewinnbilanz als eigenständiger Zweig gegenüber (Ausnahme: Bereich Konsumenten).

2.3 Definition der Nachhaltigkeitskriterien

2.3.1 Sozioökonomische Kriterien

Die sozioökonomischen Kriterien sind nach ihrem Einfluss auf die verschiedenen Akteure der Branche – Landwirte, den Landwirten vor- und nachgelagerte Industrien sowie Konsumenten – gruppiert. Die verwendeten Definitionen sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Landwirt – Gewinnbilanz – Produktionswert – Ertrag

Beim Anbau unterschiedlicher Sorten variieren die Erträge und die Qualität der Ernte. Veränderungen des Ertrags können auf die Eigenschaften der Sorte oder auf die gentechnische Modifikation zurückgeführt werden. Bei diesem Kriterium werden die Ertrags- und Qualitätserwartung an eine GVO-Sorte in Relation zu einer herkömmlichen Sorte bewertet. Allgemein ist die Höhe des Ertrags und der Qualität mit ausschlaggebend für den Profit aus dem Ackerbau und Obstbau.

Das Kriterium Ertrag kann die Kriterien *Produktionskosten*, *Nahrungskette*, *Preisniveau* und *Ressourcenbedarf Land* beeinflussen.

Landwirt – Gewinnbilanz – Produktionswert – Verkaufspreis

Das Kriterium Verkaufspreis beschreibt die Veränderung des Erzeugerpreises, den der Landwirt für die geernteten Produkte erhält. Eine Preisdifferenz für Waren aus dem GVO-Anbau im Vergleich zu herkömmlicher Ware kann sich ergeben, wenn der Käufer für gentechnisch veränderte Ernteprodukte eine andere Zahlungsbereitschaft an den Tag legt.

Der Käufer wird aufgrund höherer Folgekosten (z. B. zur Gewährung der rechtlich vorgeschriebenen Warenflusstrennung) unter Umständen einen geringeren Preis zahlen. Die Akzeptanz der Konsumenten beeinflusst auch die Preisbildung: Gleichgewicht von Angebot und Nachfrage. Eine Preiserhöhung, die auch der Deckung höherer Produktionskosten dienen würde, ist dann zu erwarten, wenn der Käufer sich einen Zusatznutzen vom Produkt erwartet. Das Kriterium Preis kann von der Warenflussskette, den Kennzeichnungsvorschriften und den Absatzmöglichkeiten beeinflusst werden.

Landwirt – Gewinnbilanz – Kosten – Produktionskosten

Dieses Kriterium bewertet die Differenz der Produktionskosten zwischen GVO-Sorte und herkömmlicher Sorte.

Bei vielen GVO-Kulturen ist der Hauptunterschied, der die Produktionskosten beeinflusst, jeweils die Substitution von Pestiziden durch Saatgut oder Saatgut in Kombination mit abgestimmten anderen Substanzen. Der Aufwand und die Kosten, die sich durch die Koexistenzmassnahmen beim Anbau von GVO ergeben, werden für die Ermittlung der Produktionskosten beim Anbau berücksichtigt. Potenzielle Veränderungen im Arbeitszeitbedarf werden jedoch nicht als Lohnkosten, sondern unter dem Kriterium *Arbeitsaufwand* berücksichtigt.

Die Produktionskosten im Pflanzenbau sind:

- Saatgut: Der Saatgutpreis für GVO-Sorten erhöht sich im Prinzip durch einen «Technologiebonus». Es wird davon ausgegangen, dass im herkömmlichen Anbau nur zertifiziertes, zugekauftes Saatgut verwendet wird und dass kein Nachbau betrieben wird. Zusätzlich zur Zahlungsbereitschaft der Landwirte hängt der Preis auch vom Wettbewerb am Saatgutmarkt sowie der Preispolitik der marktführenden Unternehmen ab (NRC, 2010).
- Düngemittel: Der Bedarf nach Düngemitteln kann sich abhängig vom GVO-Merkmal verändern und richtet sich in der Regel nach dem Ertrag sowie der Abfuhr von Pflanzenresten vom Feld.
- Pestizide: Die Kostendifferenz für Pflanzenschutzmittel ist stark von der Eigenschaft des verwendeten GVO abhängig. Wird durch die gentechnische Veränderung ein Wirkstoff gegen einen Schädling exprimiert (Bt-Toxin), sinken im Prinzip die Kosten der Schädlingsbekämpfung, weil weniger Pestizide appliziert werden müssen.
- Maschinen und Treibstoff (inkl. Bodenbearbeitung): Die Änderungen der Maschinenkosten sind wiederum merkmalspezifisch im Hinblick auf das Pestizidmanagement; des Weiteren sind sie auch im

- (Nach-)Erntemanagement variabel. Das Pestizidmanagement kann auch die einsetzbaren Möglichkeiten der Bodenbearbeitung beeinflussen (z. B. pfluglose Bodenbearbeitung).
- Koexistenzmassnahmen: Der Aufwand für Koexistenzmassnahmen und die damit verbundenen Kosten sind von der Art der Massnahmen abhängig. Die Koexistenzmassnahmen für die Schweiz werden derzeit durch die Behörden ausgearbeitet (siehe auch BAFU und BLW, 2013), daher werden in der Bewertung die Kosten für frühere Vorschläge kalkuliert (Albisser Vögeli et al., 2011). Diese berücksichtigen einen zusätzlichen Informationsaufwand, Deklaration und Formalitäten, Tests (Proben) sowie Planung. Die Feldbestellung im Bereich des Isolationsabstandes ist in erster Linie mit Arbeit sowie Maschineneinsatz verbunden.
 - Bewässerung: Die Kosten für die Bewässerung sind abhängig von Region und Kultur und verändern sich beim Anbau eines GVO mit entsprechendem Merkmal (z. B. trockenheitsresistente Pflanzen).

Landwirt – Gewinnbilanz – Kosten – Arbeitsaufwand

Der Arbeitsaufwand in der pflanzlichen Produktion richtet sich nach dem eingesetzten Anbausystem. Er ist zudem von der Strenge und Auslegung der Koexistenzmassnahmen abhängig und beinhaltet auch den Verwaltungsaufwand. Eine monetäre Bewertung der Transaktionskosten wurde nicht vorgenommen. Der Arbeitsaufwand wird in Arbeitskraftstunden (Akh) pro Hektar bewertet.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit

Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit sind in der Schweizerischen Bundesverfassung als Grundrechte festgehalten (Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Stand 3. März 2013, Art. 26 und Art. 27).

Einschränkungen in der selbstbestimmten Wirtschaftsweise der Landwirte sind unter anderem von der Gesetzgebung (Gentech-Moratorium, Toleranzwerte, Koexistenzmassnahmen) abhängig. Verpflichtungen zu Lasten des GVO-Anwenders können die Autonomie der GVO-freien Produzenten unterstützen. Diese können ihre Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit nur dann verwirklichen, wenn sie durch funktionierende Koexistenz nicht von ihrer herkömmlichen Produktionsweise abweichen müssen, um gemäss ihrer eigenen Ziele zu wirtschaften. Bewertet wird die Entscheidungsfreiheit der Landwirte: Je grösser die Freiheit des Landwirtes ist, sich für das Landbausystem seiner Wahl zu entscheiden, desto grösser ist dessen Wirtschaftsfreiheit.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Akzeptanz auf lokaler Ebene

Dieses Kriterium beschreibt die Anerkennung der Aktivitäten der verschiedenen Akteure im lokalen Umfeld. Es wird bewertet, ob der GVO-Anbau von den benachbarten Landwirten und Nichtlandwirten (z. B. Imker) akzeptiert wird. Akzeptanz kann entscheidend zur wirtschaftlichen und sozialen Realisierbarkeit des GVO-Anbaus beitragen. So ist es zum Beispiel denkbar, dass Koexistenzmassnahmen im Zusammenhang mit Isolationsabständen in Gebieten, die ausschliesslich diesem Anbau dienen, einfacher im Kollektiv umzusetzen sind. Die Akzeptanz wird durch wirksame Koexistenzmassnahmen und durch deren Auswirkung auf andere landwirtschaftliche Erzeugnisse (z. B. Honig) beeinflusst.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Agrarkultur

Die Agrarkultur umfasst landwirtschaftliches Wissen sowie Erfahrungen und Traditionen. Die Anwendung, Pflege und Weiterentwicklung von Wissen und Traditionen in der Landwirtschaft tragen massgeblich zur Entstehung der «guten landwirtschaftlichen Praxis» bei. Auch soziale Elemente wie bestimmte Interaktionen (Tausch, Leihgaben, Hilfe im Notfall, usw.) sind als Teil der Agrarkultur zu berücksichtigen.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Innovationskraft

Bei diesem Kriterium wird das Potenzial (Know-how, Züchtungserfolge) bewertet, Zukunftsfragen der Landwirtschaft respektive des Acker- und Obstbaus eigenständig und uneingeschränkt zu bearbeiten. Es geht also um die Frage, ob alle Mittel, die zu einer nachhaltigen Landnutzung beitragen können, ausgeschöpft werden. Im Fokus stehen neue Produkte und Produktionsmethoden mit wirtschaftlicher Relevanz, die eine innovationsfreundliche Signalwirkung haben und zu Wettbewerbsvorteilen führen könnten.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Vorleistungen Saatgut

Die Bewertung fragt nach einem Zusatznutzen für den Schweizer Saatgutmarkt durch das Angebot von GVO. Berücksichtigt werden die zentralen Stakeholder der Branche: die inländischen Züchter, Vermehrer

und Händler. Bestehende Züchter und Vermehrer von Saatgut sind je nach den Massnahmen zur Umsetzung der Koexistenz möglicherweise mit zusätzlichen Anstrengungen konfrontiert, die Reinheitsvorschriften einzuhalten.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Vorleistungen Pestizide

Da die Merkmale der hier getesteten GVO überwiegend Pflanzenschutzstrategien betreffen, ist die Pflanzenschutzmittelbranche von einer allfälligen Änderung des Absatzes betroffen.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Warenflüsse, Identitätswahrung

Hierbei wird beurteilt, wie sich eine räumliche/zeitliche/örtliche Trennung der Warenflüsse in der Kosten-Nutzen-Bilanz zu Buche schlägt. Teilweise könnten sich Parallelen zur Bio-Warenflussskette ergeben. Bewertet werden hier auch Vermeidungskosten aus der Perspektive der GVO-freien Produktion (siehe Box).

Rahmenbedingungen der Warenflusstrennung

Das Gentechnikgesetz (SR 814.91) spricht der gentechnikfreien Produktion einen gesetzlichen Schutz zu. Technisch unvermeidbare Vermischungen werden bis zum Kennzeichnungsschwellenwert (0,9 %) toleriert. Um etwaige Vermischungsquellen und den Ursprung von Lebensmitteln jederzeit identifizieren zu können, ist ein System zur lückenlosen Rückverfolgbarkeit einzurichten. Die Verantwortlichen auf allen Stufen der Wertschöpfungskette sind verpflichtet, die Erzeugnisse konsequent zu trennen. Zusätzliche Kosten werden durch folgende Elemente (im Wesentlichen Vermeidungskosten) verursacht:

- Transport intern/ extern (Verladungen, Reinigung, Spülchargen, Logistik, Kontrolle)
- Transportdistanz
- Lagerkapazitäten
- Schulung der Mitarbeitenden
- Laboranalysen (Hirzinger und Menrad, 2005)

Die Trennung von Warenflüssen mit dem Ziel, Vermischungen gänzlich auszuschliessen, ist sehr aufwändig (NFP 59, 2012). Die Kosten dafür sind von der Strukturierung der Wertschöpfungskette abhängig (Kapazitäten, Ausstattung, Bedingungen, Zustand). Etabliert sich die Warenflusstrennung für ein Produkt, so sinken vermutlich die Kosten im Laufe der Zeit (Menrad et al., 2009).

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Absatzmöglichkeiten

Bei diesem Kriterium werden die Möglichkeiten für die Produzenten, ihr Produkt auf dem Markt abzusetzen, erfasst. Bewertet werden die Absatzmöglichkeiten für pflanzliche (Verarbeitungs-)Produkte, (z. B. Zucker, Maisstärke, Kartoffeln). Tierische Produkte, die durch die Verfütterung von GVO erzeugt werden, werden nicht beurteilt, da diese nicht kennzeichnungspflichtig sind. Die Absatzmöglichkeiten werden von der Nachfrage durch die Konsumenten beeinflusst.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Auswirkungen auf die Versorgung

Bei diesem Kriterium wird bewertet, ob der Anbau einer GVO-Kultur den Selbstversorgungsgrad (d. h. die Veränderung der Importquote einer bestimmten Ware) bei der jeweiligen Produktgruppe (Erzeugnisse aus dem GVO und Koppelprodukte) verändert. Es gilt die Annahme, dass die GVO-Produkte in ihrem Verwendungszweck gleich wie ihre herkömmlichen Pendanten sind und dass dieselbe Eignung für eine gegebene Nutzung besteht. Erhöht sich der Selbstversorgungsgrad, reduzieren sich die Importe.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Kontrollstellen, -gewerbe

Bei diesem Kriterium wird die Tendenz der Umsatzentwicklung von privaten Kontrollstellen bewertet. Zur Sicherstellung korrekter Kennzeichnungen und zur Überprüfung von Produktionsrichtlinien werden Kontrollen durchgeführt. Betriebe, die durch den GVO-Anbau zur Umsetzung von Koexistenzmassnahmen verpflichtet sind, sind ebenfalls potenzielle zu prüfende Stellen.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit

Bei diesem Kriterium werden die Konsequenzen des GVO-Anbaus auf die Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit von Betrieben bewertet, die in den Bereichen Land- und Ernährungswirtschaft und landwirtschaftliche Produktionsmittel tätig sind. Der Grad der Einschränkungen in der selbstbestimmten Wirtschaftsweise ist unter anderem von der Gesetzgebung (Toleranzwerte, Koexistenzmassnahmen)

abhängig. Beschrieben wird, ob durch den GVO-Anbau die Autonomie ihrer unternehmerischen Entscheidungen eingeschränkt oder erweitert wird.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Auswirkungen auf KMU

Bei diesem Kriterium werden mögliche Auswirkungen des GVO-Anbaus auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bewertet. Insbesondere werden Effekte auf die Konkurrenzfähigkeit dieser Betriebe, zum Beispiel in Folge der Umsetzung von neuen Verpflichtungen oder durch Verschiebungen in der Nachfrage, beurteilt. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sind sowohl im vor- als auch im nachgelagerten Bereich der Landwirtschaft zu finden. Dazu zählen beispielsweise Betriebsmittelhändler, Mühlen, Lohnunternehmer, Verarbeiter wie Bäcker, Metzger und dergleichen.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Image

Bei diesem Kriterium wird eine mögliche Veränderung des Image von Produkten aus der Schweizer Landwirtschaft (und nicht das Image eines Schweizer Bauern) bewertet, wenn GVO zur kommerziellen Nutzung in der Schweiz angebaut werden. Das Bild der Landwirtschaft in der Bevölkerung ist mitverantwortlich für die Akzeptanz und beeinflusst die Absatzmöglichkeiten von Lebensmitteln, die in der Schweiz hergestellt werden.

Zahlreiche Schweizer Produkte und Dienstleistungen geniessen im In- und Ausland einen hervorragenden Ruf bezüglich Exklusivität, Tradition und Qualität. Dieser gute Ruf stellt einen Wettbewerbsvorteil dar, um Produkte und Dienstleistungen mit Bezug zur Schweiz in einem höheren Preissegment zu positionieren. Der Mehrwert der schweizerischen Herkunft ist von beträchtlicher Wichtigkeit (Eidgenössisches Institut für geistiges Eigentum, 2013).

Konsumenten – Wahlfreiheit

Bei diesem Kriterium wird das Marktangebot in Bezug auf die Wahlfreiheit bewertet. Für Konsumenten stellt die Wahlfreiheit ein wesentliches Recht dar. Damit diese gewährleistet ist, müssen unterschiedliche Produkte angeboten werden. Der Konsument soll in der Lage sein, sich für ein Produkt mit den von ihm gewünschten Eigenschaften zu entscheiden. Wenn dies der Fall ist, kann sich der Markt über den Mechanismus von Angebot und Nachfrage einrichten. Gewisse Regulierungen schränken diesen ein.

Konsumenten – Hygienische und toxikologische Qualität

Bei diesem Kriterium wird der gesundheitliche Effekt beim Konsum von GVO bewertet. Ein positiver Effekt wäre zum Beispiel die Verringerung von Allergenen, nahrungsmittelfremden Inhaltsstoffen oder Pilzgiften.

Die gesundheitliche Unbedenklichkeit von GVO wird vor dem Anbau durch die zuständigen Bundesbehörden im Zulassungsprozess geprüft (Sicherheitsbeurteilung). Änderungen im Anbausystem und in den technischen Verfahren können die Anwendung potenziell schädlicher Produkte (Pestizide) beeinflussen und die inhärenten Gesundheitseigenschaften des Produkts verändern. Die Analyse der möglichen Risiken erfolgt anhand der Literatur und durch Konsultation der verschiedenen Lebensmittelsicherheitsbehörden der Länder, in denen GVO angebaut werden (EFSA, APHIS, USDA, CIRC...).

Konsumenten – Akzeptanz

Bei diesem Kriterium wird bewertet, inwieweit der Konsument Produkte aus GVO-Anbau jenen des GVO-freien Anbaus gleichstellt. Die Akzeptanz der Konsumenten für die Produkte ist grundsätzlich entscheidend für die Nachfrage und den Preis, den Konsumenten zu zahlen bereit sind. Ebenso ist von Interesse (und durch Meinungsumfragen zu eruieren), welcher Anteil der Konsumenten dem Einsatz der Technologie gegenüber positiv eingestellt ist: Dieser Punkt ist entscheidend für eine mögliche Kaufbereitschaft. (Albisser Vögeli et al., 2011).

Konsumenten – Preisniveau

Bei diesem Kriterium wird versucht, die Preisbildung am Point of Sale (Verkaufsort) gestützt auf die Bewertung der Akzeptanz (Präferenz) und der Betriebskosten zu bewerten. Das Preisniveau für Produkte aus dem GVO-Anbau ist abhängig davon, welche Vorleistungen und Prozesskosten an den Konsumenten weitergegeben werden können. Kann der Produzent mehr Output pro Inputeinheit produzieren, werden die Produkte eventuell zu einem niedrigeren Preis angeboten. Das Preisniveau ist aber auch abhängig von der Akzeptanz des Produktes sowie von der Berechtigung, an einem Labelprogramm teilzunehmen.

Tabelle 1: Zusammenfassung und Definition der sozioökonomischen Kriterien, die für die Implementierung des Modells in den sieben getesteten Szenarien zum Einsatz kommen. Der Wert der einzelnen Parameter wird durch einen Vergleich der GVO-Systeme mit den GVO-freien Systemen ermittelt.

| Sozioökonomische Nachhaltigkeit | |
|--|---|
| <i>Landwirte</i> | |
| Ertrag | Der Ertrag entspricht dem vermarktbaren Anteil der Erzeugung. Das Kriterium kombiniert den theoretischen Ertrag und das Potenzial zur Ertragsminderung. Dieses Kriterium steht in Verbindung mit den Produktionskosten. |
| Verkaufspreis | Der Verkaufspreis hängt von der Akzeptanz der Öffentlichkeit und von den Kosten im Zusammenhang mit der Koexistenz ab. |
| Produktionskosten | Die Produktionskosten umfassen die Kosten für Saatgut, Dünger, Pestizide, Treibstoff, Arbeitsgeräte, Bewässerung und Koexistenzmassnahmen (Albisser Vögeli et al., 2011). Höhere Kosten haben negative Auswirkungen auf dieses Kriterium. |
| Arbeitsaufwand | Bewertung in Arbeitskraftstunden pro Hektar |
| Wirtschaftliche Unabhängigkeit | Dieses Kriterium nimmt Bezug auf die entsprechenden Artikel der Schweizerischen Bundesverfassung (Art. 26 & 27). Je mehr Wahlfreiheit der Landwirt hat, desto mehr wird er als wirtschaftlich unabhängig betrachtet. |
| Lokale Akzeptanz | Konsequenzen des GVO-Anbaus auf die umliegenden Betriebe und auf weitere Tätigkeiten (zum Beispiel die Bienenhaltung) (Schweiger et al., 2009) |
| Agrarkultur | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Traditionen und den sozialen Bereich, einschliesslich die Interaktionen zwischen Landwirten |
| <i>Agribusiness</i> | |
| Innovation | Berücksichtigt wird die Fähigkeit zur Entwicklung neuer Produkte und neuer Verfahren, die zur Steigerung der Rentabilität und/oder der Nachhaltigkeit der Agrarsysteme beitragen |
| Saatgutselektion | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Saatgutzüchter und -vermehrter in der Schweiz |
| Pestizide/Dünger | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Pestizid- und Düngerhändler |
| Warenfluss | Kosten der Warenflusstrennung unter einem Koexistenzregime (Transport, Entfernungen, Lagerung, Ausbildung, Qualitätskontrollen) (Menrad et al. 2009) |
| Märkte | Zielmärkte in Bezug auf Nahrungsmittel und Nebenprodukte (Stärke bei den Kartoffeln, Zucker bei den Zuckerrüben...). Dieser Parameter ist abhängig von der Nachfrage der Konsumenten. |
| Auswirkungen auf die Versorgung | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Importe. Es wird unterstellt, dass es keine Änderungen im Processing gibt (Aerni et al., 2011) |
| Unternehmen aus der Kontrollbranche | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Unternehmen, die für die Qualitätskontrollen zuständig sind. Die Aufrechterhaltung eines Koexistenzregimes ist mit zusätzlichen Kontrollen verbunden und hat Auswirkungen auf den Umsatz dieser Unternehmen. |
| Wirtschaftliche Unabhängigkeit | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Entscheidungsfreiheit der Unternehmen der Lebensmittelindustrie |
| Auswirkungen auf KMU | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf kleine und mittlere Unternehmen (zum Beispiel Mühlen, Gerätehersteller, Verarbeiter). |
| Image/Ruf | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Wahrnehmung der Unternehmen der Lebensmittelindustrie. Die schweizerische Identität und die Exklusivität spielen bei diesem Kriterium eine wichtige Rolle. Das Image der Schweizer Bauern ist nicht Teil dieses Kriteriums. |

Konsumenten

| | |
|------------------------|---|
| Wahlfreiheit | Möglichkeit, sich beim Kauf zwischen Produkten zu entscheiden. Zu diesem Kriterium gehören die Kennzeichnungsstandards und die Definition der Schwellenwerte (Aerni et al., 2011, Bonfadelli et al., 2010). |
| Gesundheitliche Folgen | Potenzielle Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln (zum Beispiel Reduktion der Mykotoxine, Meissle et al., 2011). |
| Akzeptanz | Akzeptanz von GVO durch die Konsumenten, gestützt auf Umfrageergebnisse (Aerni et al., 2011) |
| Kaufpreis | Die Unterschiede bei den Kaufpreisen hängen von der Akzeptanz von GVO durch die Konsumenten, den Labelprogrammen und dem eingesetzten Anbausystem ab (Price et al., 2003). |

2.3.2 Kriterien der ökologischen Nachhaltigkeit

Die zwanzig Parameter, welche die ökologische Nachhaltigkeit abbilden, sind in drei grossen Kategorien zusammengefasst: Auswirkungen auf die Biodiversität, Auswirkungen auf die Umweltqualität (Wasser, Luft, Boden) und Ressourcenbedarf. Auch hier wird jeder Parameter im Rahmen eines Vergleichs zwischen einem GVO und seinem herkömmlichen Pendant bewertet.

Biodiversität – Konservierung der Biodiversität – UZL (Umweltziele Landwirtschaft)-Arten

Bei diesem Kriterium werden die Einflüsse eines GVO-Anbaus auf Arten bewertet, welche nicht unter dem Aspekt der Ökosystemfunktionen erfasst werden, aber schwerpunktmässig auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche vorkommen oder von der landwirtschaftlichen Nutzung abhängig sind. Die Grundlagen zur Identifikation dieser UZL-Arten liefern die in «Umweltziele Landwirtschaft» (BAFU und BLW, 2008) und nachfolgend in «Operationalisierung der Umweltziele Landwirtschaft. Bereich Ziel- und Leitarten, Lebensräume» (Walter et al., 2013) beschriebenen Arten. Die UZL-Arten beinhalten 4 Arten von Säugetieren, 47 Arten von Vögeln, 9 Arten von Reptilien, 11 Arten von Amphibien, 149 Arten von Schmetterlingen, 24 Arten von Käfern, 2 Arten von Netzflüglern, 84 Arten von Wildbienen, 48 Arten von Heuschrecken, 7 Arten von Libellen, 3 Arten von Schnecken, 964 Arten von Gefässpflanzen, 99 Arten von Moosen, 62 Arten von Flechten und 182 Arten von Pilzen.

Der potenzielle Einfluss eines GVO auf UZL-Arten kann direkt oder indirekt sein und ist von Änderungen in der Anbaupraxis abhängig. Beispielsweise werden bei insektenresistenten GVO nicht nur die Effekte des veränderten Pflanzenschutzmanagements, sondern auch die Effekte des in der Pflanze produzierten Toxins auf Nichtzielarten derselben Ordnung bewertet (z. B. Schmetterlinge bei Bt-Mais). Bei herbizidtoleranten GVO werden mögliche Effekte des veränderten Pflanzenschutzmanagements und der damit einhergehenden Unkrautbekämpfung auf die verschiedenen Gruppen von Arten bewertet.

Gemäss Pflanzenschutzmittelverordnung dürfen Pflanzenschutzmittel keine unannehmbaren Nebenwirkungen auf die Umwelt haben (PSMV, 2010). Die Auswirkungen von Wirkstoffen auf Organismen werden, sofern nicht anders erwähnt, vorwiegend aufgrund der verfügbaren Informationen in den Datenbanken «Pesticide Property Database» (PPDB) (University of Hertfordshire 2013a) und «Bio-Pesticides Database» (BPDB) (University of Hertfordshire, 2013b) bewertet. Als primäre Quellen verwenden diese Datenbanken sowohl öffentliche Informationen der Behörden als auch die wissenschaftliche Literatur und private Datenbanken (u. a. IOBC Database, EFSA, TOXNET, ARIS Database, U.S. EPA ECOTOX Database, EXTTOXNET, PAN Network usw.). Allerdings stellen diese Datenbanken für Flechten, Moose, Amphibien und Reptilien keine toxikologischen Daten zur Verfügung. Bei Amphibien geht man davon aus, dass aufgrund erhobener Daten bei Fischen deren Gefährdung adäquat beurteilt werden kann, auch wenn diese sensitiver auf gewisse Stoffe reagieren als Fische (Weltje et al., 2013). Analog wird bei Reptilien davon ausgegangen, dass aufgrund erhobener Daten für Vögel deren Gefährdung adäquat beurteilt werden kann, auch wenn diese unterschiedlich auf gewisse Stoffe reagieren als Vögel (z. B. Weir et al., 2010). Mögliche Effekte des GVO-Anbaus auf Heuschrecken, Libellen, Schmetterlinge, Käfer und Netzflügler werden, so-

fern nicht anders erwähnt, als Effekte auf Insekten zusammengefasst. Effekte auf nützliche Insekten werden gesondert bewertet.

Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – Genfluss auf verwandte Wildpflanzen und Invasivität in natürliche Habitate

Bei diesem Kriterium wird die Wahrscheinlichkeit eines vertikalen Gentransfers (Genfluss) von einem GVO auf verwandte Wildpflanzen und die Invasivität eines GVO in natürliche Habitate bewertet. Die Invasivität beschreibt die Fähigkeit einer Pflanze, sich fern ihres natürlichen Areals – bei einer Kulturpflanze also in natürlichen, nicht-landwirtschaftlichen Habitaten – auszubreiten und fertilen Nachwuchs zu produzieren. Auch in diesem Fall wird mit einbezogen, ob die angenommenen Koexistenzmassnahmen ein solches Vorkommnis verhindern können.

Der vertikale Gentransfer auf herkömmliche Kulturpflanzen fliesst nicht in dieses Kriterium mit ein. Der horizontale Gentransfer, also die Weitergabe von genetischem Material ausserhalb der sexuellen Fortpflanzungswege und unabhängig von Artgrenzen, wird ebenfalls nicht berücksichtigt. Ein solcher horizontaler Gentransfer wie zum Beispiel von Pflanzen auf Bakterien wird als sehr unwahrscheinlich eingestuft (Sweet und Bartsch, 2012). Eine wichtige Rolle spielt, ob in der Schweiz verwandte Wildpflanzen des GVO vorkommen (insbesondere im Fall des Apfelbaums und der Zuckerrübe), und ob die getroffenen Koexistenzmassnahmen einen Genfluss auf diese verhindern können.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Bestäuber

Bei diesem Kriterium wird der Einfluss eines GVO-Anbaus auf die Bestäubungsfunktion von Honigbienen, Wildbienen und anderen Bestäubern bewertet. Der Einfluss kann direkt durch das transgene Produkt des GVO oder indirekt durch damit verbundene Änderungen der technischen Verfahren (Art der Bodenbearbeitung, Art und Einsatz der Pestizide) erfolgen. Die Toxizität von Wirkstoffen gegenüber Honigbienen wird aufgrund der Informationen der Datenbanken «Pesticide Property Database» (PPDB) (University of Hertfordshire 2013a) und «Bio-Pesticides Database» (BPDB) (University of Hertfordshire, 2013b) bewertet.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Natürliche Schädlingsbekämpfung

Bei diesem Kriterium wird bewertet, welchen Einfluss der Anbau eines GVO auf Arten hat, die an der natürlichen Schädlingsbekämpfung beteiligt sind. Gemeint sind hauptsächlich räuberische Arthropoden und Parasitoide, aber auch entomopathogene Pilze. Der Einfluss kann direkt durch das transgene Produkt des GVO oder indirekt durch damit verbundene Änderungen der technischen Verfahren (Art der Bodenbearbeitung, Art und Einsatz der Pestizide) erfolgen.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem Boden

Bei diesem Kriterium wird der Einfluss eines GVO-Anbaus auf wichtige Funktionen im Ökosystem Boden wie zum Beispiel die Dekomposition von organischem Material, die Erhaltung der Bodenstruktur und der Zyklierung von Nährstoffen bewertet. Diese Funktionen werden von diversen unterschiedlichen Organismengruppen (diversen Invertebraten und Mikroorganismen) geleistet, welche direkt durch das transgene Produkt des GVO oder indirekt durch damit verbundene Änderungen der technischen Verfahren (Art der Bodenbearbeitung) beeinflusst werden können. Die potenziell veränderte Belastung des Bodens durch Pestizide wird bei der *Belastung der Ressource Boden* ausgewiesen.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem Wasser

Bei diesem Kriterium wird der Einfluss eines GVO-Anbaus auf Wasserorganismen und damit die Effekte auf deren Funktionen im Ökosystem Wasser bewertet. Beispiele dafür sind der Streuabbau und die Dekomposition von organischem Material. Die zu untersuchenden Organismen, respektive Funktionen sind abhängig vom GVO. Besonders werden bei diesem Kriterium mögliche Auswirkungen durch Verfrachtungen von transgenem Pollen oder anderen transgenen Pflanzenteilen in Gewässer berücksichtigt. Die potenziell veränderte Belastung der Gewässer durch Pestizide wird bei der *Belastung der Ressource Wasser* ausgewiesen.

Ressourcenbelastung – Luft – Treibhausgase – Kohlendioxid

Bei diesem Kriterium wird der Einfluss eines GVO-Anbaus auf die Kohlendioxidemissionen bewertet. Diese entstehen vorwiegend bei der Verbrennung fossiler Energieträger. Sowohl Emissionen durch die Verbrennung fossiler Energieträger im Anbau (Treibstoffverbrauch bei der Ausbringung von Pestiziden und Dünger sowie bei der Bodenbearbeitung), als auch die Transportwege werden in die Bewertung mit einbezogen.

Die Bewertung dieses Kriteriums steht in Verbindung mit den Kriterien *Stickoxide* und *Dieseleruss*.

Ressourcenbelastung – Luft – Treibhausgase – Stickoxid

Bei diesem Kriterium werden die Stickoxidemissionen bewertet. Die Stickoxidemissionen bei der Verbrennung fossiler Energieträger werden ebenfalls zusammen mit dem CO₂ berücksichtigt.

Ressourcenbelastung – Luft – Luftschadstoffe – Dieseleruss

Bei diesem Kriterium wird der Einfluss eines GVO-Anbaus auf die Dieselerussbildung bewertet. Dieseleruss ist ein besonders gesundheitsschädlicher Teil des Feinstaubes (Kim et al., 2015). Mit einbezogen wird die Verbrennung fossiler Energieträger im Anbau (Treibstoffverbrauch bei der Ausbringung von Pestiziden und Dünger und bei der Bodenbearbeitung) sowie beim Transport.

Die Bewertung dieses Kriteriums steht in Verbindung mit dem Kriterium *Kohlendioxid*.

Ressourcenbelastung – Luft – Verflüchtigung von Betriebsmitteln

Bei diesem Kriterium wird die Verflüchtigung von Pestiziden und Düngemitteln (indirekte Distickstoffmonoxidemission bei der Düngemittelapplikation) bewertet.

Ressourcenbelastung – Wasser – Düngerabfluss

Bei diesem Kriterium werden mögliche Effekte des Anbaus eines GVO und eine damit einhergehende Veränderung des Düngermanagements auf die Belastung der Ressource Wasser bewertet. Generell gilt die Annahme: Muss mehr Dünger eingesetzt werden, hat dies negative Auswirkungen auf die Belastung des Wassers.

Ressourcenbelastung – Wasser – Pestizidabfluss

Bei diesem Kriterium werden mögliche Effekte des Anbaus eines GVO und eine damit einhergehende Veränderung des Pestizidmanagements auf die Ressource Wasser bewertet.

Es gilt die Annahme: Müssen weniger Pestizide eingesetzt werden, hat dies positive Auswirkungen auf die Belastung der Ressource Wasser. Werden gleiche Mengen von für Wasserorganismen unterschiedlich gefährlichen Substanzen und/oder mit unterschiedlichen Umwelteigenschaften (z. B. Halbwertszeit, Sickerungsverhalten) eingesetzt, fließt dies ebenfalls in die Bewertung mit ein. Das Umweltverhalten und die Toxizität der Wirkstoffe werden vorwiegend aufgrund der verfügbaren Informationen der Datenbanken «Pesticide Property Database» (PPDB) (University of Hertfordshire, 2013a) und «Bio-Pesticides Database» (BPDB) (University of Hertfordshire, 2013b) bewertet.

Ressourcenbelastung – Boden – Physische Belastung – Erosion

Bei diesem Kriterium werden mögliche Veränderungen der Bodenbearbeitung (z. B. no till gegenüber Pflugbearbeitung), die mit dem Anbau eines GVO einhergehen, und deren Einflüsse auf die Bodenerosion bewertet.

Erosion ist der Abtrag von organischem Bodenmaterial. Bei gewissen Verfahren im Ackerbau wird die Pflanzendecke zeitweilig beseitigt oder ausgedünnt, was die Bodenabträge verstärken kann. Bei der Wassererosion wird vor allem nährstoffreiche Feinerde abgeschwemmt, weshalb die Erosion auch die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt. Bodenerosion kann auch Belastungen benachbarter Ökosysteme (z. B. Gewässer) verursachen.

Ressourcenbelastung – Boden – Physische Belastung – Verdichtung

Bei diesem Kriterium wird eine Veränderung der Feldbefahrung und damit indirekt die Verdichtung des Bodens bewertet. Das Befahren des Bodens mit landwirtschaftlichen Maschinen kann zu Verdichtungen des Bodens führen. Die Verdichtung erschwert das Eindringen von Pflanzenwurzeln und Bodentieren in den Boden und beeinträchtigt somit auch die Bodenfruchtbarkeit. Zusätzlich ist die Sickerkapazität und somit die Wasseraufnahme in verdichteten Böden verringert, was den Oberflächenabfluss und damit wie-

derum die Erosion begünstigt. Hier gilt die Annahme: Fallen auf dem Feld mehr Fahrten an, hat dies negative Auswirkungen auf die Verdichtung des Bodens.

Ressourcenbedarf – Wasser

Bei diesem Kriterium wird ausschliesslich der Wasserbedarf der Kulturpflanzen bewertet. Von der Bewertung ausgeschlossen ist daher z. B. der indirekt veränderte Wasserbedarf bei einer veränderten Inputproduktion (z. B. Mehrbedarf bei erhöhter Inputproduktion). In der Schweiz besteht generell keine massive Wasserknappheit. Im Hinblick auf zukünftige Klimaveränderungen ist es jedoch wichtig, schonend mit der Ressource Wasser umzugehen.

Ressourcenbedarf – Energie

Bei diesem Kriterium wird der Energiebedarf beim Anbau und im nachgelagerten Bereich bewertet. Verlängern sich die Transportwege oder müssen zum Beispiel für die Gewährleistung der Warenflusstrennung neue Gebäude erbaut werden, so hat dies negative Auswirkungen auf dieses Kriterium. Von der Bewertung ausgeschlossen ist ein indirekt veränderter Energiebedarf bei der Inputproduktion (zum Beispiel Energiemehrbedarf aufgrund einer erhöhten Inputproduktion).

Ressourcenbedarf – Land

Bei diesem Kriterium wird die Effizienz im Anbau, also wie viel Ertrag pro Fläche generiert wird, bewertet. Eine erhöhte Effizienz im Anbau (mehr Ertrag pro Fläche) hat positive Auswirkungen auf die Ressource Land. Bleibt die Qualität des Ertrags gleich, erfolgt die Bewertung analog zur Bewertung des Kriteriums *Ertrag*.

Ressourcenbedarf – Pestizide

Bei diesem Kriterium wird der absolute Pestizidverbrauch bewertet. Ausser beim Einsatz von biologischen Kontrollmitteln entspricht dies dem Verbrauch an aktivem Wirkstoff, der beim Anbau pro Hektar benötigt wird. Pestizide sollen Pflanzen vor Schadorganismen schützen, regulieren deren Wachstum oder beseitigen unerwünschte Pflanzen. Die Grundlage für die Berechnung der zu ihrer Produktion erforderlichen Energie stammt von Green (Green, 1987) und wird trotz fehlender Daten über die neueren Produkte heute noch verwendet (Nemecek und Kägi, 2007). Müssen bei gleichbleibendem Ertrag mehr Pestizide eingesetzt werden, hat dies negative Auswirkungen auf dieses Kriterium.

Ressourcenbedarf – Dünger

Bei diesem Kriterium wird die absolute Verbrauchsmenge an Dünger auf dem Feld bewertet. Muss bei gleichbleibendem Ertrag mehr Dünger eingesetzt werden, hat dies negative Auswirkungen auf dieses Kriterium.

Tabelle 2. Zusammenfassung und Definition der Umweltkriterien, die zur Implementierung des Modells verwendet werden. Der Wert der einzelnen Parameter wird durch einen Vergleich der GVO-Systeme mit den GVO-freien Systemen für jedes Szenario ermittelt.

| Ökologische Nachhaltigkeit | |
|------------------------------------|--|
| <i>Biodiversität</i> | |
| UZL-Arten | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf Tierarten, die auf der landwirtschaftlich genutzten Fläche vorkommen oder von der landwirtschaftlichen Nutzung abhängig sind, im Vergleich zu herkömmlichen Kulturen. Umfasst: Säugetiere, Vögel, Amphibien, Reptilien, Insekten, Gefäßpflanzen, Moose und Pilze. |
| Genflüsse | Wahrscheinlichkeit eines Gentransfers auf verwandte Wildarten. Horizontale Transfers (Pflanze-Bakterie) werden ebenfalls berücksichtigt. |
| Invasivität | Einfluss des Transgens auf die mit der Koexistenz assoziierten Invasivitätseigenschaften und Auswirkungen der mit diesem Risiko verbundenen Koexistenzmassnahmen. |
| Bestäuber | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die technischen Verfahren (Änderungen) und deren Auswirkungen auf die Gesamtheit der Bestäuber. |
| Biologische Schädlingsbekämpfung | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf Organismen, die in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt werden (z. B. Arthropoden und entomopathogene Pilze). |
| Ökosysteme des Bodens | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Ökosysteme des Bodens (ohne Bodenbelastung: Diese wird im Abschnitt «Umweltqualität» behandelt). |
| Ökosysteme des Wassers | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Ökosysteme des Wassers |
| <i>Umweltqualität</i> | |
| CO ₂ -Emissionen | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die CO ₂ -Emissionen. Diese sind hauptsächlich auf den Dieserverbrauch zurückzuführen. |
| N ₂ O-Emissionen | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die N ₂ O-Emissionen. Diese sind hauptsächlich auf den Dieserverbrauch zurückzuführen. |
| Verflüchtigung von Betriebsmitteln | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Verflüchtigung von Pestiziden und von Distickstoffmonoxid bei der Düngerapplikation. |
| Diesel | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Diesel- und Feinstaubemissionen |
| Pestizidabfluss | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf den Abfluss von Pestiziden |
| Düngerabfluss | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf den Abfluss von Dünger |
| Erosionsrisiko | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf das Erosionsrisiko (z. B. no till oder Pflugbearbeitung) |
| Verdichtungsrisiko | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Verdichtung des Bodens (abhängig von Veränderungen der Bodenbearbeitung) |
| <i>Ressourceneinsatz</i> | |
| Wasser | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf den Wasserverbrauch. Der indirekte Verbrauch wird nicht berücksichtigt |
| Energie | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf den Energieverbrauch: betrifft auch den vor- und nachgelagerten Sektor und den Aufwand im Zusammenhang mit der Koexistenz. |
| Böden | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Bodennutzung. Betrachtet werden die Veränderungen des Ertrags pro Hektar. |
| Dünger | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die für den gleichen Ertrag eingesetzte Düngermenge. |
| Pestizide | Auswirkungen des GVO-Anbaus auf die Menge ausgebrachten aktiven Wirkstoffes. |

2.4 Modell und Aggregation

Im vorherigen Abschnitt wurde der Parametersatz beschrieben, aus dem das Modell zur Beurteilung der Nachhaltigkeit besteht. Im nächsten Konstruktionsschritt sollen diese Parameter koordiniert und in eine MCDA-Baumstruktur integriert werden, welche die Komplexität der Nachhaltigkeit als Abbild einer Vielzahl von quantitativen und qualitativen Kriterien möglichst optimal zum Ausdruck bringt. Für die Konstruktion des Modells, die Definition der Aggregationsregeln und die Gewichtung der Kriterien wurden Gutachten, die für dieses Projekt in Auftrag gegeben wurden, Ergebnisse des Nationalen Forschungsprogramms 59 (NFP 59) und einschlägige Daten aus der wissenschaftlichen Literatur herangezogen (Abbildung 1 und 2). Der Vorteil der MCDA-Analyse gegenüber anderen Methoden wie dem gemessenen Umwelteinfluss (Environmental Impact Quotient, EIQ, Kowach et al., 1992) ist die erhöhte Flexibilität in Bezug auf die Auswahl und die Auswirkungen der einzelnen Parameter. Der EIQ wird hauptsächlich für die Analyse von Pestizidrissen verwendet und konzentriert sich klassischerweise auf Toxizitätsaspekte. In dem hier vorgestellten Modell werden neben den Umweltauswirkungen weitere Aspekte wie z. B. die durch den GVO-Anbau bedingten Veränderungen der technischen Verfahren erfasst.

In der sozioökonomischen Dimension eignen sich die vorhandenen Informationen dazu, kostenverursachende Aspekte qualitativ zu erfassen. Sie eignen sich nur teilweise für zuverlässige quantitative Aussagen über die besonderen Mehrkosten, die in den Schweizer Agrarsystemen anfallen (Kohler, 2005). Die Bewertung erfolgt daher vorwiegend über die Beobachtung von Veränderungen, die sich in Relation zum herkömmlichen Pendant ergeben.

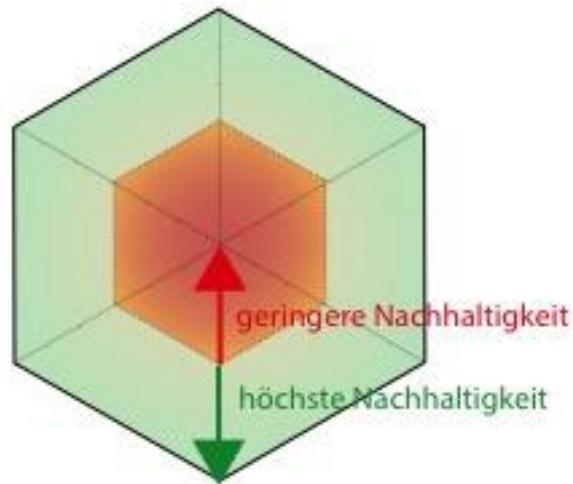
Die Bewertung erfolgt generell vergleichend nach folgendem Schema: Die Nachhaltigkeit von Anbausystemen mit GVO wird im Vergleich zu deren herkömmlichen Pendants evaluiert. Verwendet wird eine Skala mit fünf Abstufungen (-2, -1, 0, 1, 2). Die Nachhaltigkeit der GVO-Systeme ist wesentlich geringer (-2), geringer (-1), gleichwertig (0), besser (1), wesentlich besser (2) als diejenige ihres herkömmlichen Pendants. Die folgenden zwei Beispiele dienen zur Veranschaulichung:

- Beim Anbau der herbizidtoleranten GVO-Zuckerrübe (HT) reduziert sich der Treibstoffverbrauch, weil weniger Spritzfahrten anfallen. Der Parameter «Diesel» wird im Szenario A zur HT-Zuckerrübe mit «+1» bewertet (Tabelle 3 und 4).
- Andererseits stösst der Einsatz der HT-Zuckerrübe in der Branche und bei den Konsumenten weitgehend auf Ablehnung; der Parameter «Akzeptanz der Öffentlichkeit» wird deshalb in beiden Szenarien A und B mit «-2» bewertet (Tabelle 3 und 4).

Die Architektur des Modells wurde anschliessend mittels der Software «DEXi» implementiert (Bohanec et al., 2008). Hinweis: Um eine bestimmte Definition in den Endergebnissen beibehalten zu können, wird die auf der zweiten und dritten Ebene des Modells verwendete Skala nicht mit fünf, sondern mit sieben Abstufungen versehen, wie im DEXi-Handbuch empfohlen. Die Ergebnisse der verschiedenen Nachhaltigkeitsanalysen nach den diversen Szenarien sind in den von der Software generierten Netzdiagrammen (Radar Plots) zusammengefasst (Abbildung 1).

Abbildung 1. Beschreibung des Netzdiagramm-Modells, das verwendet wird, um die aus der Software DEXi übernommenen Ergebnisse der MCDA-Analyse zusammenzufassen. Jede Ecke des Sechsecks entspricht einer Komponente der Nachhaltigkeit, ausgedrückt entlang einer Zentrifugalachse. Je höher der Grad der Nachhaltigkeit, desto weiter liegt der Parameter vom Zentrum entfernt. Die rote Zone kennzeich-

net den Bereich, in dem die GVO-Systeme weniger nachhaltig, die grüne Zone den Bereich, in dem die GVO-Systeme nachhaltiger sind als die herkömmlichen Systeme.



Auf diesen Grafiken ist die Nachhaltigkeit der GVO-Systeme im Vergleich zu ihren herkömmlichen GVO-freien Pendanten dargestellt. Je schlechter die relative Nachhaltigkeit, desto näher liegt der Punkt beim Zentrum (roter Bereich), je besser die Nachhaltigkeit, desto weiter liegt er vom Zentrum entfernt (grüner Bereich). Die Linie zwischen rotem und grünem Bereich zeigt, dass für dieses Szenario keine Veränderungen zwischen den beiden Systemen gemessen oder unterstellt wurde. In diesem Schema sind die sechs Hauptkomponenten der ökologischen und der sozioökonomischen Nachhaltigkeit – Landwirte, Konsumenten, Agribusiness, Biodiversität, Umweltqualität und Ressourcenverbrauch – für jedes Szenario in einer einzigen Abbildung zusammengefasst.

Abbildung 2. Struktur des MCDA-Modells zur Bewertung der sozioökonomischen Nachhaltigkeit von GVO-Sorten im Vergleich zu herkömmlichen Sorten. Analysiert wurden die Daten für drei Akteure: Landwirte (gelb), Agribusiness (orange) und Konsumenten (rot).

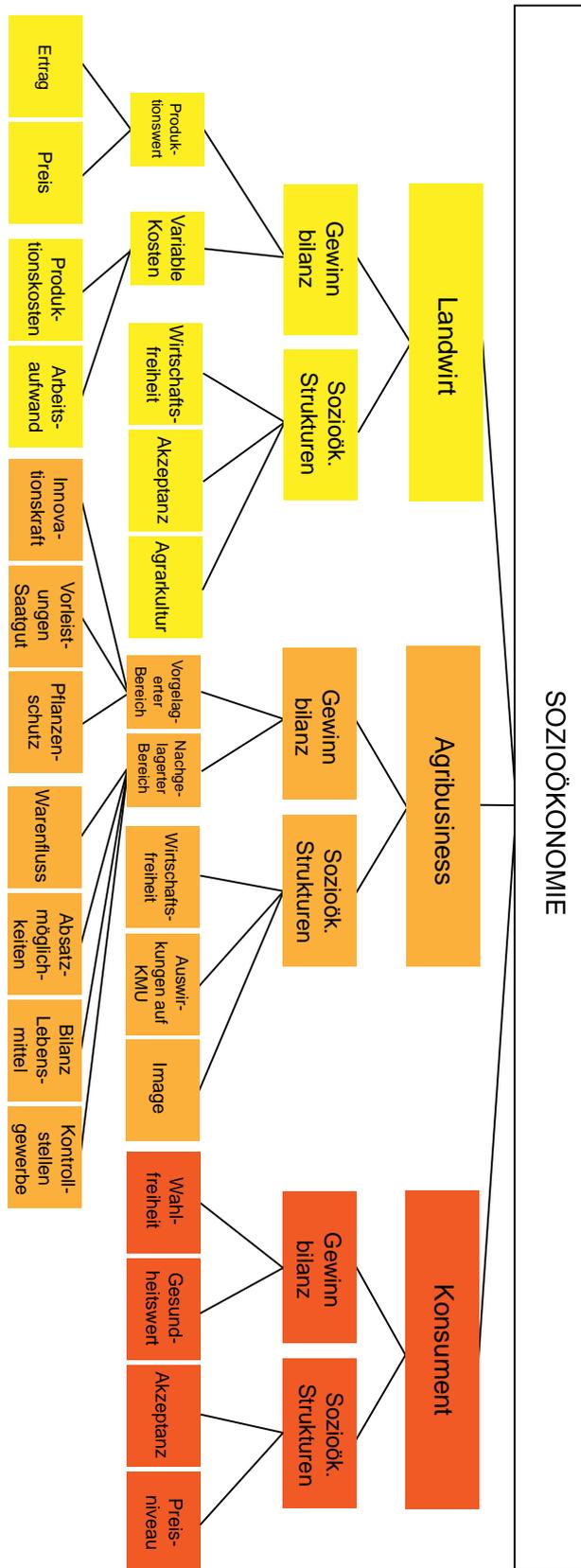
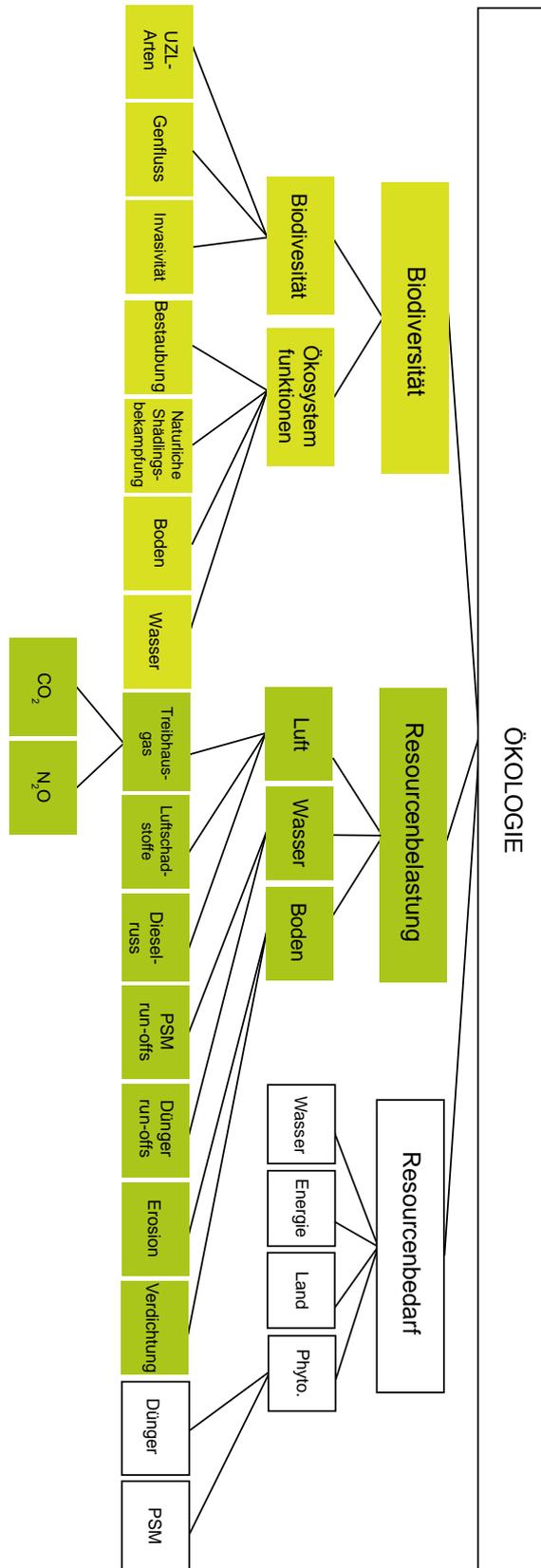


Abbildung 3. Struktur des MCDA-Modells zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit von GVO-Sorten im Vergleich zu herkömmlichen Sorten. Analysiert wurden die Daten für drei Aspekte: Biodiversität (hellgrün), Umweltqualität (grün) und Ressourcennutzung (weiss).



2.5 Vergleich von sieben GVO-Anbausystemen mit ihren herkömmlichen Pendants

Für die Zwecke dieses Berichts wurden vier für die Schweizer Landwirtschaft wichtige Kulturen ausgewählt, die in anderen Ländern bereits als GVO angebaut werden und deren transgene Linien in der Schweiz entweder im Handel erhältlich sind oder entwickelt und getestet werden. Zu betonen ist hier, dass mit dieser Auswahl den Entscheidungen der Behörden über eine allfällige Zulassung bzw. ein allfälliges Verbot in keiner Weise vorgegriffen wird. Es werden sieben Szenarien verglichen: drei Szenarien zum Einsatz des gegen den Maiszünsler resistenten Mais, der das Bt-Toxin exprimiert, zwei Szenarien zum Einsatz der gegenüber dem Herbizid Glyphosat toleranten Zuckerrübe, ein Szenario zur Kraut- und Knollenfäule-resistenten Kartoffel und ein Szenario zum Einsatz der Schorf- und Feuerbrand-resistenten Apfelbaumsorte «Gala» (Tabelle 3).

In den folgenden Abschnitten wird die Bewertung der einzelnen Szenarien im Detail erläutert und in Tabelle 10 zusammengefasst.

Tabelle 3: Beschreibung der vom MCDA-Modell analysierten Szenarien

Bt: exprimiert ein Bt-Toxin, HT: herbizidtolerant (hier gegenüber Glyphosat), FR: pilzresistent (Schorf bei Apfelbäumen), RM: Knollenfäule-resistent, BR: Feuerbrand-resistent.

| Entwicklung | Szenarien |
|------------------------------|--|
| Bt-Mais ¹ | A. Warenflusstrennung + <i>Trichogramma</i> |
| Bt-Mais ¹ | B. keine Warenflusstrennung + <i>Trichogramma</i> |
| Bt-Mais ¹ | C. Warenflusstrennung + Insektizid |
| HT-Zuckerrübe ² | A. geringer Unkrautdruck |
| HT-Zuckerrübe ² | B. hoher Unkrautdruck |
| KKR-Kartoffel ³ | mittlerer Knollenfäulebefall |
| Apfelbaum FR-BR ⁴ | Schorf- und Feuerbrandbefall |

¹ Bei den Szenarien zum Mais wurden zwei Parameter parallel getestet: der Beitrag des GVO zum Warenfluss im nachgelagerten Bereich und zur Koexistenz (A vs. B) und der Vergleich zwischen verschiedenen Strategien zur Kontrolle der durch Lepidoptera verursachten Schäden (A vs. C). Es wird unterstellt, dass in den Szenarien A und B keine biologischen Nützlinge des Typs *Trichogramma* eingesetzt werden nimmt, da eine Resistenz gegen Lepidoptera besteht. In den drei Szenarien werden möglichst ähnliche technische Verfahren (Bewässerung, Düngung, Unkrautbekämpfung, Bodenbearbeitung) unterstellt. Im Szenario C ist ein Insektizideinsatz nur ausnahmsweise mit einer Sonderbewilligung möglich (Inoxacarb oder Spinosad).

² Es wird kein Unterschied in den technischen Verfahren zwischen GVO-Sorte und herkömmlicher Zuckerrübe unterstellt. Im herkömmlichen Zuckerrübenanbau werden die Herbizide (Gemisch aus Triazinen und Benzofuranen) in drei Applikationen eingesetzt (in unterschiedlicher Zeitfolge je nach Intensität des Befalls (A vs. B), beim Anbau von GVO-Zuckerrüben wird das Herbizid Glyphosat in zwei Applikationen angewendet.

³ Die zur Bekämpfung der Infektion mit *Phytophthora* eingesetzte Fungizidmenge ist stark abhängig von den klimatischen Bedingungen und der verwendeten Kartoffelsorte. Als GVO-Sorte kann zum Beispiel die Sorte «Fortuna» verwendet und mit der in der Schweiz viel genutzten Sorte «Agria» verglichen werden. Es wird hier eine einzige schwache Infektion während des Anbaus unterstellt. Die Warenflusstrennung zwischen GVO und GVO-frei würde sich nach den Koexistenzregeln richten.

⁴ Die Schorf- und Feuerbrandresistenz-Eigenschaften werden in Apfelbäume der Sorte Gala eingeschleust. Bei der GVO-Linie wird die Applikation von Fungiziden und Antibiotika reduziert, aber nicht ganz gestrichen. Darüber hinaus werden beim Saatgut keine zusätzlichen Kosten unterstellt, da die Sorten patentfrei zur Verfügung stünden (persönliche Mitteilung, Agroscope).

2.6 Grenzen der Modellierung

Wie jede andere Modellierung hat das vorgestellte Modell Grenzen. Diese werden im Folgenden genau beschrieben. Diese Grenzen hängen damit zusammen, dass wir hier hypothetische Szenarien ex ante analysieren und bis heute keine reellen Daten über den Anbau von GVO in der Schweiz zur Verfügung stehen. So wurde für eine gewisse Anzahl von Parametern die Bewertung einer Mehrzahl der befragten Experten herangezogen.

- Generell wird angenommen, dass die intendierte Wirkung der eingesetzten GVO optimal ist (radikale Wirkung des Bt-Toxins auf die Maiszünslerpopulationen, starke Wirkung des Glyphosats auf die Unkrautpopulationen und ebenfalls starke Wirkung auf die Zielbakterien und -pilze). Das Auftreten von resistenten Schädlingen beim Anbau von herbizidresistenten Pflanzen (Brookes & Barfoot, 2013, Green, 2014) und die Resistenz gewisser Insekten gegenüber Bt-Toxinen (Jin et al., 2015) wird hier ausgeklammert, obschon sie in der Literatur thematisiert werden. Generell nicht berücksichtigt wurden die Dynamiken der Resistenzentwicklungen im Zeitverlauf beim Einsatz von Pestiziden oder bei Monokulturen (pests displacements).
- In der Schweiz produziert die überwiegende Mehrheit der Landwirte gemäss den Richtlinien des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN), einer Bedingung für den Anspruch auf Direktzahlungen. Deshalb wird hier angenommen, dass der Anbau sowohl von GVO wie auch von herkömmlichen Sorten die Regeln des ÖLN einhält (Fruchtfolgen, Düngung usw.). Gleichzeitig wird davon ausgegangen, dass der Anbau von GVO zu den gleichen Direktzahlungen berechtigt, wie der Anbau von herkömmlichen Sorten.
- Die Reglemente betreffend allfällige Massnahmen zur Trennung der Warenflüsse und generell zur Koexistenz von GVO- und GVO-freien Wertschöpfungsketten werden derzeit durch die Behörden ausgearbeitet (BAFU und BLW, 2013). Die Auswirkungen eines solchen neuen Koexistenzregimes in Bezug auf die zivilrechtliche Haftpflichtregelung, die Umweltbelastung und den Verwaltungsaufwand (Bewilligung, Zulassung) werden in diesem Bericht nur teilweise berücksichtigt, da derzeit nicht abschätzbar ist, welches Regime nach dem Ende des Moratoriums gelten wird.
- Gesundheitliche Auswirkungen, die sich durch den Umgang mit Pestiziden und Dünger für die Landwirte oder die Verarbeiter ergeben, werden in der Analyse nicht berücksichtigt.
- Die Analyse beschränkt sich auf mittlere Anbauszenarien (Standort Schweizer Mittelland).
- Futtermittelimporte. Der momentane Verzicht auf den Import von GVO als Futtermittel ist ein Entscheid der Schweizer Ernährungsbranche. Aus dem Verzicht auf Futtermittelimporte ergeben sich Einsparungen in der Grössenordnung von 7–50 Millionen Franken jährlich (Mann, 2013, Dahinden et al., 2014). Dieser Aspekt wird in der Analyse nicht berücksichtigt.

3 Ergebnisse

3.1 Bt-Mais

3.1.1 Einleitung

Der Bt-Mais enthält ein Gen, das für ein insektizides Protein (das vom *Bacillus thuringiensis* produzierte Toxin Bt) kodiert. Dieses Toxin wird in einem Grossteil der heute angebauten GVO und in vielen Varianten eingesetzt (ISAAA). Es wirkt insbesondere gegen Insekten der Familie Lepidoptera. Der einzige GVO-Mais, der aktuell in der Europäischen Union angebaut wird, ist der Mais MON810, der das in den 1990er-Jahren von Monsanto (USA) entwickelte Cry1Ab-Toxin exprimiert. Der MON810 bezweckt die Kontrolle der Maiszünslerpopulationen (*Ostrinia nubilis*). Seine grosse Beliebtheit (Brookes und Barfoot, 2014) hat zweifellos zum Auftreten von Resistenzen in den Schädlingspopulationen beigetragen (Qaim, 2009). Die Erfahrungen mit dem Anbau von MON810 in Spanien und Portugal ermöglichen den Zugriff auf eine Reihe von Daten, die bei anderen Entwicklungen nicht zur Verfügung stehen (Albisser Vögeli et al., 2011 Dietiker et al., 2011 und Speiser al., 2013). In der Schweiz ist der Import von Bt-Mais Mon810 als Futter- und Lebensmittel zugelassen FMV, 916.37 und VGVL, 817.022.51).

Die Definition der folgenden Szenarien ist abhängig von der Art und Weise, wie der produzierte Mais verwendet wird. In der Schweiz gelangt ein Grossteil der Maisernte in Form von Silomais in die Tierfütterung. Auf rund 75% der Maisfläche wird Silomais angebaut, auf den übrigen 25 % Körnermais (Agrarbericht, 2014). Die Maissilage verbleibt am Hof und wird gegebenenfalls nur zwischen Landwirten gehandelt; die Selbstversorgung im Inland ist gedeckt. Eine andere Futterform stellt der Körnermais dar, der von Sammelstellen an Futtermühlen weitergegeben wird. Der Selbstversorgungsgrad bei Körnermais zu Futterzwecken liegt bei rund 70 %. Spezielle Körnermaissorten werden auch für die Verwendung als Lebensmittel angebaut, der Anbauumfang ist jedoch klein und regional beschränkt (Selbstversorgungsgrad <1 %). Für die Gewinnung von Maisstärke und Maiskeimöl wird in schweizerischen Mühlen überwiegend ausländischer Mais verarbeitet. In kleinem Umfang wird regional auch Zuckermais angebaut und verarbeitet, beispielsweise durch Unicorn im Rheusstal AG (Wüthrich et al., 2006).

Der Maiszünsler ist seit 2013 in der Schweiz anzutreffen, die Befallsstärken sind jedoch regional sehr unterschiedlich. Dabei werden vereinzelt die ökonomischen Schadschwellen überschritten, die laut der Agridea (2014) bei Körnermais bei einem Anteil von 10 bis 20 % befallener Pflanzen liegt, bei Silomais bei 20 bis 30 % befallener Pflanzen. Besonders grosse Schäden traten in Teilen der Kantone Waadt und Freiburg auf, wo sich bis zu zwei Generationen an Maiszünslern pro Jahr (bivoltine Rasse) ausgebildet haben. Zur Bekämpfung solcher bivoltiner Maiszünslerassen haben einzelne kantonale Pflanzenschutzämter Sonderbewilligungen für Insektizidapplikationen ausgesprochen. Ansonsten dürfen keine Insektizide zur Bekämpfung des Maiszünslers eingesetzt werden. Nach Schätzungen der Branche werden auf rund 10 % der Schweizer Maisflächen *Trichogramma*-Schlupfwespen eingebracht; dieser Anteil wird in dieser Analyse für den Anbau von herkömmlichem Mais angenommen. Die biologische Maiszünslerbekämpfung besitzt bei einer fachgerechten Anwendung einen Wirkungsgrad von etwa 70 % (Strickhof, 2012a).

3.1.2 Szenarien

Szenario A

Maisanbau **inklusive Warenflusstrennung** im nachgelagerten Bereich. Herkömmliche Maiszünslerbekämpfung mit *Trichogramma*-Schlupfwespen

Der geerntete Mais tritt in Szenario A in den Warenfluss ein. Dieses Szenario ist daher für Körnermais relevant, der in einer Mühle zu Futter- und Lebensmittel verarbeitet wird. Dabei entstehen verschiedene Mischfutterkomponenten, die in der Fütterung von Geflügel und als Ergänzungsfutter für Rinder eingesetzt werden (Wüthrich et al, 2006). Durch die Verarbeitung entstehen im nachgelagerten Bereich Kosten, da eine Warenflusstrennung sowie Kennzeichnungsvorschriften einzuhalten sind.

Es wird davon ausgegangen, dass beim Anbau von Bt-Mais die Bekämpfung mit *Trichogramma* entfällt (Tabelle 4), da dieser das für den Maiszünsler toxische Bt-Toxin (z. B. Cry1ab) exprimiert. Es wird angenommen, dass in Szenario A beim Anbau von Bt-Mais im Vergleich mit herkömmlichen Sorten ausser der veränderten Maiszünslerbekämpfung keine weiteren Änderungen (z. B. bei der Düngung, Bewässerung, Unkrautbekämpfung, Bodenbearbeitung) im Anbau stattfinden.

Tabelle 4: Insektizidanwendungen zur Kontrolle des Maiszünslers im herkömmlichen Maisanbau im Szenario A und B

| Anbausystem | Produkt | Wirkstoff | Wirkstoffmenge (Weibchen / ha) | Preis (CHF / ha) |
|-------------|----------------|--|--------------------------------|--------------------|
| Konv. | Trichocap Plus | <i>Trichogramma brassicae</i> Bezdenko | 1 x 140000 | 147.9 ¹ |

Weiter gelten folgende Annahmen:

- Beim Transport von Bt-Mais zum Käufer fallen längere Transportwege an, da nicht alle Käufer bereit sind, diesen Mais abzunehmen (Expertenkonsultation).
- Im nachgelagerten Bereich werden keine zusätzlichen Produktionsstätten errichtet. Der Warenfluss wird zeitlich und/oder räumlich auf verschiedenen bereits vorhandenen Produktionslinien getrennt. Diese Massnahme kann längere Transportwege verursachen (s.o.).
- Die Ausbringung der *Trichogramma* erfolgt von Hand. Somit fällt bei dieser Bekämpfungsstrategie im Anbau kein zusätzlicher Treibstoffverbrauch an. Die Applikation von *Trichogramma* erfolgt gemäss Direktzahlungsverordnung (DZV, 2013).

Szenario B

Maisanbau **ohne Warenflusstrennung** im nachgelagerten Bereich. Herkömmliche Maiszünslerbekämpfung mit *Trichogramma*-Schlupfwespen

In Szenario B erfolgt nach der Ernte keine Verarbeitung im nachgelagerten Bereich. Daher konzentriert sich der Anbau auf Silo- und Grünmais, der im Betrieb den Nutztieren verfüttert wird. Des Weiteren gelten die anbauspezifischen Annahmen des Szenario A. Die tierischen Produkte, die von Tieren gewonnen werden, die mit GVO-Futtermitteln gefüttert wurden, müssen gemäss den geltenden rechtlichen Vorgaben keine Kennzeichnung aufweisen, die darauf hinweisen würde, dass die Nutztiere mit GVO-Futtermitteln gefüttert wurden. Jedoch sind die Produkte aus einer Serie von Labels ausgeschlossen (z. B. IP oder Bio).

Szenario C

Maisanbau **inklusive Warenflusstrennung** im nachgelagerten Bereich. Maiszünslerbefall durch bivoltine Maiszünslerasse. Chemische Maiszünslerbekämpfung durch **Insektizide**

In Szenario C ist der angebaute Körnermais von der bivoltinen Maiszünslerasse befallen. Die Bekämpfung mit *Trichogramma* ist unter diesen Bedingungen nicht zielführend. Im herkömmlichen Maisanbau können mit einer Sonderbewilligung Insektizide eingesetzt werden (Tabelle 5). Im Jahr 2013 wurden zum Beispiel 56 Anträge auf die Ausbringung von Insektiziden gestellt. Im Waadtland waren rund 350 Hektar betroffen, was etwa 4,4 % der Maisfläche in der Schweiz entspricht. Im Jahr 2012 wurden 69 Parzellen mit Insektiziden (Indoxacarb und Spinosad) behandelt. Der geerntete Mais tritt (wie in Szenario A) in die Verarbeitung zu Futter- oder Lebensmitteln ein.

In Szenario C gilt abweichend zu Szenario A folgende Annahme:

- Im herkömmlichen Anbau werden die zwei Insektizide Indoxacarb und Spinosad mit einer Sonderbewilligung gemäss den Auflagen im Pflanzenschutzmittelverzeichnis angewendet.

¹ ffenaco, UFA-Samen Nützlinge: abrufbar unter <http://www.nuetzlinge.ch>

Tabelle 5. Insektizidanwendungen zur Kontrolle des Maiszünslers im herkömmlichen Maisanbau im Szenario C

| Anbausystem | Produkt | Spritzfahrten, Dosierung (l, kg / ha) | Wirkstoffmengen (g / l, kg) | Beistoffe | Menge aktiver Wirkstoff (kg / ha) | Preis Produkt (CHF / l, kg) | Preis (totale Menge) CHF |
|-------------|------------------|---------------------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| Konv. | Steward | 1 x 0.125 | 300 Indoxacarb | nicht bekannt | 0.0375 | 547.2 ² | 68.4 |
| | oder Audi-enz | oder 1 x 0.2 | oder 480 Spinosad | | oder 0.096 | oder 623.00 ³ | oder 124.6 |

¹ Bei Stähler Suisse SA, abrufbar unter: <http://www.staehler.ch/de/produkte/info/steward-1.html>

² Bei Omya (Schweiz) AG Agro

3.1.3 Bewertung der Nachhaltigkeit

3.1.3.1 Sozioökonomische Kriterien

Landwirt – Gewinnbilanz – Produktionswert – Ertrag

Die Daten in der Literatur zum Ertrag von Bt-Mais sind widersprüchlich. Wolf und Albisser Vögeli (2009) kommen in einem Literatur-Review zu dem Schluss, dass bei niedrigem und mittlerem Maiszünslerbefall herkömmliche Hybridsorten dem Bt-Mais in Bezug auf den Ertrag überlegen sind. Resultate aus dem Bt-Mais-Anbau in Spanien zeigen einen engen Zusammenhang zwischen Schädlingsbefall und Mehrertrag. In Regionen mit geringem Schädlingsaufkommen wurde kein wesentlicher Mehrertrag erzielt (Gómez-Barbero und Rodriguez-Cerezo, 2006). Die Hauptstärke des Bt-Mais liegt offenbar im Auffangen von Ertragsverlusten bei hohem Schädlingsdruck, der innerhalb eines Landes stark variieren kann (Gómez-Barbero et al., 2008). Für einen direkten Vergleich von Erträgen ist die Wahl nahverwandter Sorten entscheidend, wie sie zum Beispiel im Versuch von Schiefer et al. (2008) eingesetzt wurden. In diesem Versuch wurden keine signifikanten Ertragsunterschiede gemessen, wobei die Durchschnittserträge im Untersuchungszeitraum hoch waren und die Ertragswirkung von Insektiziden und Bt-Mais bei geringem Maiszünslerbefall nichtig ist (Schiefer et al., 2008 / Mildner et al., 2011).

Fazit: Der Ertrag ist abhängig von der Sorte, in die das Bt-Gen integriert wird, vom Klima und von der Intensität des Schädlingsbefalls (Gómez-Barbero et al., 2008). Der Parameter *Ertrag* wird deshalb wie folgt bewertet:

Bewertung der Szenarien A und B: 0

Der Anbau von Bt-Mais erbringt keinen Mehrertrag, da der Schädlingsdruck in diesen Szenarien mäßig ist.

Bewertung Szenario C: +1

Der Anbau von Bt-Mais führt zu einem Mehrertrag, da Verluste durch den Schädlingsbefall im herkömmlichen Anbau nur teilweise mittels Insektizidapplikationen aufgefangen werden können (BMBF, 2011). Der Erfolg der chemischen Kontrolle ist stark vom Ausbringungszeitpunkt abhängig (Meissle et al., 2011).

Landwirt – Gewinnbilanz – Produktionswert – Verkaufspreis

Unter derzeitigen rechtlichen Bedingungen müssen Abnehmer und Händler Mais, der gentechnisch verändert ist, kennzeichnen. Niedrigere Preise für den Landwirt, der GVO abgibt, sind wahrscheinlich. Nach Kohler (2005) können diese dadurch entstehen, dass Abnehmer aufgrund höherer Kennzeichnungskosten einen Preisdruck auf die Rohstoffproduzenten (Landwirte) ausüben. Neben dieser geringeren Zahlungsbereitschaft sind höhere Preise für kontrolliert GVO-freie Produkte realistisch (price premium) (Bock et al., 2002). Davon zeugt auch die wachsende Bedeutung von Systemen zur Identitätswahrung wie getrennte Warenflüsse, die dort zum Einsatz kommen, wo durch bestimmte Qualitätsmerkmale höhere Preise zu erzielen sind (Bio-Sektor) (Oehen et al., 2006).

Bewertung in den Szenarien A und C: -1

Landwirte erhalten einen geringeren Preis für ein GVO-Produkt, wenn GVO-Freiheit als Mehrwert eingestuft wird.

Bewertung in Szenario B: 0

Da der Landwirt nicht deklarieren muss, dass das Produkt aus der Veredelung (Fleisch) durch die Verfütterung eines GVO entstanden ist, ändert sich der Preis für dieses Produkt nicht.

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Produktionskosten

Eine wesentliche Kosteneinsparung ist durch den Wegfall von *Trichogramma* im Bereich Pflanzenschutz gegeben, während Mehrkosten beim Saatgut und durch die Umsetzung von Koexistenzmassnahmen anfallen. Im Fall strenger Koexistenzaufgaben (Albisser et al., 2011, «ungünstiges» Szenario) sind 16 % der Produktionskosten pro Hektar den Koexistenzmassnahmen zuzuordnen, während der Anteil bei weniger strengen Koexistenzaufgaben bei rund 5 % liegt (Albisser et al., 2011, «mittleres» Szenario). Unter den Annahmen von Szenario C entfallen in der Produktion Insektizidkosten, die unter dem Preisniveau von *Trichogramma* liegen (vgl. Tabelle 1).

Die Direktkosten Düngemittel, Hagelversicherung und Trocknungskosten sind mit dem Kriterium *Ertrag* verknüpft. Höhere Saatgutpreise für GVO-Saatgut sind in der Literatur vielfach angeführt (z. B. Gómez-Barbero et al., 2008 / Schiefer et al., 2008). Um die Wirtschaftlichkeit des Bt-Maisanbaus zu

gewährleisten, müssen diese Mehrkosten auf der Ebene der übrigen Produktionskosten oder durch erhebliche Ertragssteigerungen ausgeglichen werden.

Bewertung aller Szenarien: -1

Aufgrund von höheren Saatgutpreisen und Koexistenzmassnahmen steigen die Produktionskosten beim Anbau von Bt-Mais im Vergleich zu herkömmlichem Mais.

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Arbeitsaufwand

Wegen der vorgeschriebenen Koexistenzmassnahmen ist ein erhöhter Arbeitsaufwand zu erwarten. Das Ausmass ist wiederum abhängig von der Strenge der Massnahmen. Der Zeitbedarf für die Massnahmen, die Albisser et al. (2011) anführen, übersteigt in allen Fällen den Zeitbedarf für die Ausbringung von *Trichogramma*. Eggenschwiler (1999) nennt bei Verzicht auf *Trichogramma* eine Zeitersparnis von rund 1 Akh pro Hektar, während der Strickhof (2012a) von 15 bis 30 Minuten pro Hektar spricht. In den Szenarien A und B wird angenommen, dass durch den Anbau von Bt-Mais auf das Ausbringen von *Trichogramma* verzichtet werden kann. Die Zeitersparnis ist daher für jene Landwirte relevant, welche *Trichogramma* im herkömmlichen Maisanbau anwenden würden. Die Zeitersparnis durch das Wegfallen von InsektizidAusbringungen (Szenario C) beträgt 0,86 Akh pro Hektar (Agridea, 2013b).

Eine weitere Massnahme, die im Zuge des Bt-Maisanbaus zu berücksichtigen ist, ist die Reinigung von Sämaschine und Mähdrescher. Diese Arbeit gilt als besonders zeitaufwändig (Kohler, 2005). Möglicherweise müssen solche Reinigungsschritte nach dem Säen oder Dreschen von Bt-Mais öfters vorgenommen werden als nach dem Anbau von herkömmlichem Mais.

Bewertung der Szenarien A und B: -1

Der Arbeitsaufwand aufgrund der Koexistenzmassnahmen beim Anbau von Bt-Mais übertrifft den Aufwand, der im herkömmlichen Maisanbau für die Ausbringung von *Trichogramma* notwendig ist.

Bewertung Szenario C: -1

Auch der Aufwand für eine Insektizidapplikation beim herkömmlichen Maisanbau ist geringer als jener für die Umsetzung von Koexistenzmassnahmen beim Anbau von Bt-Mais.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsгарantie und Wirtschaftsfreiheit

Der erzielte Grad an Eigentumsгарantie und Wirtschaftsfreiheit wird von jenen Rahmenbedingungen bestimmt, die zur Gewährleistung von Koexistenz verordnet werden. Diese sollten dem Nutzen von GVO angepasst und nicht restriktiv sein (Demont und Devos, 2008). Der Grad an Eigentumsгарantie und an Wirtschaftsfreiheit nimmt zu, wenn der Anbau einer GVO-Sorte ermöglicht wird. Durch die Zulassung von GVO können Landwirte aus einer grösseren Bandbreite an Anbausystemen frei wählen. Sind die Koexistenzmassnahmen effektiv, erlauben sie auch den benachbarten Produzenten gemäss ihren Präferenzen zu wirtschaften.

Bewertung aller Szenarien: +1

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Akzeptanz auf lokaler Ebene

Die Akzeptanz von landwirtschaftlichen Aktivitäten auf lokaler Ebene ist in Bezug auf GVO sehr sensibel. Die Umfrage von Schweiger und Szerencsits (2009) unter Landwirten in der Region Zürich zeigt, dass die Anbaubereitschaft für GVOs stark von der Determinante «vermutete Nutzung durch [...] Nachbarn» abhängig ist. Die Akzeptanz ist auch von der geltenden zivilrechtlichen Haftungsregelung (gemäss Koexistenzregime) abhängig. Weitere Stakeholder auf lokaler Ebene, die in Bezug auf den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen bestimmte Interessen kundtun, sind die Imker (Stellungnahme zur Koexistenzvorlage von Apisuisse, 2013). Imker sind gegen den Anbau von GVO, weil der Polleneintrag in ihren Honig nicht verhindert werden kann. Die Hypothese eines potenziellen Konflikts zwischen den verschiedenen Anbauarten konnte in der Studie von Schweiger und Szerencsits (2009) nicht eindeutig widerlegt werden.

Bewertung aller Szenarien: -1

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Agrarkultur

Der Anbau von Bt-Mais bedeutet für die Landwirte eine Umstellung ihrer technischen Verfahren mit einer effizienteren Insektenbekämpfung, aber auch neuen Auflagen (vorgeschriebene Pufferzonen...). Allerdings erfordern auch die Methoden der biologischen Schädlingsbekämpfung eine Umstellung (Meissle et al., 2010).

Bewertung aller Szenarien: 0**Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Innovationskraft**

Der Anbau von Bt-Mais würde es ermöglichen, die Relevanz dieser Technologie für die Schweiz zu untersuchen. Anzunehmen ist, dass im Rahmen einer schrittweisen Freisetzung gemäss den gesetzlichen Vorschriften genügend Daten Aufschluss über die Vor- und Nachteile eines solchen Systems geben würden. Interessant wäre es auch, die Daten aus Ländern nutzen zu können, in denen die Bt-Technologie in jahrelangen Feldversuchen getestet wurde, um den grösstmöglichen Nutzen punkto Wissen und Know-how daraus zu ziehen. Es ist denkbar, dass die Untersuchung von Sorten, die mehrere Typen von Bt-Toxinen kumulieren (Typ Smartstax), in Bezug auf die Dauerhaftigkeit der Resistenzen potenziell interessant sein könnte (obschon im Vorfeld zusätzliche Risikoanalysen notwendig wären).

Bewertung aller Szenarien: +1

Es wird davon ausgegangen, dass der GVO-Anbau positive Auswirkungen auf den Forschungs- und Innovationsplatz Schweiz haben könnte.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Saatgut

In der Schweiz gibt es derzeit lediglich drei Hauptakteure, die Mais züchten: DSP, Sativa und der Verein Ribelmals. Diese Firmen haben à priori weder den Willen noch die Mittel, Gentechnik in ihren Zuchtprogrammen einzusetzen. Deren Wettbewerbsposition sowie die der nachgelagerten Vermehrer und damit der inländischen Marktteilnehmer insgesamt dürfte sich somit verschlechtern, wenn GVO-Mais eingeführt würde. Andererseits besetzt inländischer Mais schon heute nur ein schmales Marktsegment. Es ist möglich, dass grosse Saatgutfirmen mit lokalen Saatgutzüchtern und Saatgutvermehrern kooperieren. Am Saatgutmarkt stellt das Angebot von GVO eine Ausweitung des Angebotes dar. Für die Unternehmen der Schweizer Saatgutbranche entstehen neben Chancen auch Risiken.

Bewertung aller Szenarien: -1**Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Pestizide, Dünger**

In der Schweiz werden nach Schätzungen von Branchenvertretern rund 10 % der Maisflächen mit *Trichogramma* behandelt. Dies bedeutet, dass in 90 % der Fälle die Bekämpfung der Maiszünsler nicht profitabel ist. In Gebieten mit bivoltinen Maiszünslerassen können Landwirte eine Sonderbewilligung zur Ausbringung von Insektiziden beantragen.

Bewertung in den Szenarien A und B: 0

Wenn von den Landwirten, die den Maiszünsler mit *Trichogramma* bekämpfen (10 % der Maisanbauer), einige auf Bt-Mais umsteigen, so wird die Pflanzenschutzbranche nur minimale Veränderungen in der Nachfrage verzeichnen.

Bewertung in Szenario C: -1

Müssen bivoltine Maiszünslerassen bekämpft werden, wird durch den Anbau von Bt-Mais der Umsatz von Insektiziden potenziell reduziert.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Warenflüsse – Identitätswahrung

Die Warenflusstrennung bei Mais unterscheidet sich je nach Art der Verwertung: Silomais oder Körnermais. Wird der geerntete Mais als Silomais genutzt, so wird er direkt auf dem Hof gelagert und verarbeitet. Ein kleiner Anteil wird in Form von Siloballen unter Landwirten gehandelt (Wüthrich et al., 2006). Es wird angenommen, dass für Landwirte auf ihrem eigenen Betrieb kein Zusatzaufwand für Trennung entsteht. An der Verarbeitung von Körnermais sind hingegen mehrere Akteure der Warenflussskette beteiligt: Sammelstellen, Futtermühlen, Verkaufsstellen aber auch Lebensmittelmühlen müssen Vorkehrungen treffen, um Bt-Mais getrennt von herkömmlichem Mais zu lagern und zu verarbeiten (Wüthrich et al., 2006). Der Zusatzaufwand entsteht neben der Lagerung (Anlieferung, Zwischenlager, Verpackung) vor allem durch den Produktionsprozess der Verarbeitung. Da bereits heute Biomais und -getreide in separaten Produktionsanlagen verarbeitet werden, ist davon auszugehen, dass auch für die Verarbeitung von Bt-Mais eine räumliche Trennung möglich ist.

Bewertung in den Szenarien A und C: -2

Die Trennung der Warenflüsse ist mit viel Aufwand und hohen Kosten für alle Teilnehmer der Futtermittel- und Lebensmittel-Wertschöpfungskette verbunden, wobei in der Schweiz fast ausschliesslich die (Misch-)Futtererzeuger betroffen wären.

Bewertung Szenario B: 0

Der Mais verlässt den Hof nicht als Pflanze, da er auf dem Hof als Tierfutter verwendet wird. Dadurch entfällt der Aufwand für die Trennung der Ernte.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Absatzmöglichkeiten

Die Kennzeichnungsvorschriften sorgen dafür, dass die Eigenschaft «gentechnisch verändert» für den Endabnehmer erkennbar ist. Aufgrund der mangelnden Akzeptanz (und damit der Absatzmärkte) ist Bt-Mais jedoch nur sehr begrenzt wettbewerbsfähig. Damit der Detailhandel einen Nutzen aus GVO erzielen kann (z. B. durch höhere Margen), müssten die Herstellungskosten gesenkt werden oder ein erhöhter Kundennutzen anfallen. In der Schweiz sind Absatzmöglichkeiten aktuell nicht gegeben, da nach Auskunft verschiedener Konsumentenschutzorganisationen die Mehrheit der Schweizer Konsumenten GVO ablehnen. Ein Verkaufsexperiment in der Schweiz hat allerdings gezeigt, dass diese Ablehnung nicht endgültig sein könnte: Ein Teil der Konsumenten zeigte eine Kaufbereitschaft für GVO-Maisbrot, wenn der Preis wettbewerbsfähig ist. (Aerni et al., 2011).

Bewertung in den Szenarien A und C: -1

Verringerte Herstellungskosten aufgrund der Verwendung von Bt-Mais sind für die Schweiz nicht zu erwarten. Daher ist nicht davon auszugehen, dass die Produkte für den Endabnehmer billiger sind. Die Akzeptanz der Konsumenten ist zurzeit tief.

Bewertung Szenario B: 0

Der Bt-Mais wird nicht in Verkehr gebracht, sondern auf dem Hof verwertet. Infolge nicht erforderlicher Deklaration der tierischen Produkte, die aus den GVO-Futtermitteln hergestellt werden, ändern sich die Absatzmöglichkeiten nicht.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Auswirkungen auf die Versorgung

Die Frage, ob sich die Versorgung mit landwirtschaftlichen Produkten durch den Anbau von GVO verbessert, ist von der Akzeptanz der Konsumenten für diese Produkte abhängig. Mais für die menschliche Ernährung stammt nahezu zu 100 % aus dem Ausland. Bei Mais zu Futterzwecken ist der Bedarf zu 70 % durch die inländische Produktion gedeckt (Wüthrich et al., 2006).

Äussern die Konsumenten keinen Wunsch nach GVO-Mais, so ändert ein Anbau deren Versorgung nicht. Bei Futtermitteln, deren Einsatz in der Fütterung am tierischen Produkt nicht auszuweisen ist, ist keine Veränderung in der Versorgung zu erwarten, wenn keine Ertragssteigerungen eintreten. Die Trocknung und nachfolgende Verarbeitung in Futtermühlen führt aufgrund des Trennungsaufwands und mangelnder Nachfrage möglicherweise zu einer Abweisung von Rohstoffen, wodurch sich die Menge an Futtermitteln aus inländischem Mais nicht erhöht. Unabhängig vom Verwendungszweck des Mais gibt es keinen Hinweis darauf, dass sich der Selbstversorgungsgrad verändern könnte.

Bewertung aller Szenarien: 0***Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Kontrollstellen, -gewerbe***

Die Umsetzung von getrennten Verarbeitungslinien erfordert ein begleitendes Kontrollsystem. Kontrollstellen bieten Dienstleistungen an, die je nach Umfang und Technik kostenintensiv sind. Eine quantitative Screeninguntersuchung eines Lebensmittels auf GVO kostet beispielsweise je Probe ca. 200 Franken. Eine detaillierte Untersuchung im Fall einer Positivprobe ist mit erheblichen Mehrkosten verbunden (SCNAT, 2013). Bei einem Koexistenzregime macht der Anteil der Analyse- und Kontrollkosten 8 % der Zusatzkosten für die Trennung aus (Moder et al., 2004). Demnach steigern Dienstleister aus der Kontroll- und Zertifizierungsbranche je nach Anforderungsniveau der Koexistenzregelung ihre Umsätze.

Bewertung aller Szenarien: +1***Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit***

Die Beschaffung von Rohstoffen für die Weiterverarbeitung verbindet das Agribusiness mit der Landwirtschaft, indem Unternehmen ihre Präferenzen in Verhandlungen mit den Landwirten (Anbau) kundtun. Auch wenn die Nachfrage des Agribusiness teilweise die landwirtschaftliche Produktion bestimmt, sind die Verarbeiter mehrheitlich vom Rohstoffangebot abhängig. Wenn GVO zur Verwendung als Futter- und/oder Lebensmittel zugelassen sind, können Händler sowie Verarbeiter auch auf Importware zurückgreifen.

Bewertung aller Szenarien: 0

Wenn Bt-Mais aus Schweizer Anbau erhältlich ist, können Unternehmen aus einem erweiterten Angebot wählen (auch wenn dies letztlich von der Anzahl Sorten im Katalog abhängt, welche diese Eigenschaft beinhalten würden). Allerdings können sie durch Importe bereits heute darauf zugreifen.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Auswirkungen auf KMU

In der Schweiz werden viele der Landwirtschaft vor- und nachgelagerte Tätigkeiten von KMU erbracht. Werden GVO angebaut und in den Warenfluss überführt, sind Sammelstellen, Lohnunternehmer, Mühlen und viele andere unmittelbar von Warentrennungsfragen betroffen. Verpflichtungen zur Trennung von Warenflüssen unter der Bedingung niedriger Toleranzgrenzen stellen Unternehmen vor neue Herausforderungen, zum Beispiel beim Warenumsatz und/oder der Verarbeitung. Die Wettbewerbsfähigkeit wird unter Umständen eingeschränkt und bestehende Beziehungen zu Handelspartnern können beeinträchtigt werden. Durch die Entscheidung für oder gegen die Integration von GVO in den Produktionsprozess gehen die KMU ein bedeutendes unternehmerisches Risiko ein.

Bewertung in den Szenarien A und C: -1

Strenge Richtlinien zur Trennung der Warenflüsse erhöhen den Aufwand der KMU. Wenn ein KMU GVO verarbeitet, könnte es mit Akzeptanzproblemen seiner Kunden konfrontiert werden.

Bewertung Szenario B: 0

Da die Ernte direkt auf dem Hof verwertet wird, fallen keine GVO-Produkte für die KMU des nachgelagerten Bereichs an. Somit sind in diesem Szenario keine Auswirkungen auf KMU voraussehbar.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Image

Im In- und Ausland geniessen Produkte aus der Schweizer Landwirtschaft einen sehr guten Ruf. Dieser wird unter anderem der Qualität der Produkte zugeordnet, die bis heute frei von GVO sind. Dieses Merkmal wird auch in der Charta zur Qualitätsstrategie der Schweizerischen Land- und Ernährungswirtschaft, die von Bauernverbänden, Labelverbänden und den führenden Detailhändlern unterzeichnet wurde, aufgeführt. Aus dem Verzicht auf Gentechnik ergeben sich aus Sicht der Branche wichtige Marktchancen.

Bewertung aller Szenarien: -1

Der Mehrwert des Arguments «GVO-Freiheit» in der Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft würde durch den Anbau von GVO in der Schweiz verlorengehen.

Konsumenten – Wahlfreiheit

Um die Wahlfreiheit der Konsumenten zu ermöglichen, ist eine Deklaration der spezifischen Produktmerkmale notwendig. Die Freiheit der Konsumenten wird durch das Anbauverbot und eine ungenügende Etikettierung der Produkte beschnitten (Bonfadelli, 2010). In einem System mit grösstmöglicher Wahlfreiheit wird es den Konsumenten ermöglicht, Kaufentscheidungen gemäss eigener Erfahrungen mit einem Produkt zu treffen (Aerni et al., 2011).

Bewertung in den Szenarien A und C: +1

Wenn Produkte aus dem Anbau von GVO erhältlich sind, dann ergibt sich eine grössere Wahlfreiheit und die Konsumenten (hier die Käufer von Futter- und Lebensmitteln) können am Point of Sale eine Entscheidung treffen.

Bewertung Szenario B: 0

Das Angebot wird für den Konsumenten nicht erweitert, da die Ernte nicht auf den Markt gelangt und die tierischen Erzeugnisse nicht gekennzeichnet werden müssen. Diese unterscheiden sich daher nicht von tierischen Produkten aus herkömmlicher Produktion.

Konsumenten – Gesundheitswert

Es sind keine Einschränkungen des Verzehrs von Bt-Mais bekannt. Allerdings sind zahlreiche Bt-Toxine auf dem Markt verfügbar, deren Risikoabschätzung unvollständig ist: In Ermangelung eines fundierten wissenschaftlichen Konsenses müsste deren Toxizität somit von Fall zu Fall beurteilt werden (Hilbeck et al., 2015). Zu beachten ist, dass der verbreitete Einsatz von Bt-Mais bereits zu einer Reduktion des Mykotoxingehalts in den Ernten geführt hat (Meissle et al., 2010) (siehe Kasten).

Bewertung aller Szenarien: 0

Unabhängig vom Einsatz von Biotechnologien existiert in der Schweiz eine strikte Qualitätskontrolle.

Mykotoxine

Die Verbindung von Maiszünslerbefall und Mykotoxinentwicklung wurde vielfach beobachtet, weshalb ein Begleiteffekt von Bt-Mais die Reduktion der Mykotoxinbelastung sein kann (Meissle et al., 2010). Dieser Effekt ist jedoch für das Kriterium «Gesundheitswert» nicht erheblich, da die Mykotoxinbelastung in Schweizer Milch und Fleisch als vernachlässigbar gilt (Agroscope, 2014c). Konkrete Auswirkungen dürften die Mykotoxine hingegen bei der Tierfütterung haben, wegen der mangelhaften Datennlage sind diese jedoch nur schwer extrapolierbar.

Konsumenten – Akzeptanz

Im Verkaufsexperiment von Aerni et al. (2011) zeigte sich, dass Konsumenten auch Brot aus GVO-Mais kaufen würden. Dennoch ist die Ablehnung der Konsumenten gross (mündliche Mitteilung von SKS und FRC). In der Eurobarometerumfrage zeigt sich auch, dass GVO in der Schweiz nicht befürwortet werden. (65 % Ablehnung, Agrarbericht 2015). Die Mehrheit der Konsumenten sieht keine Vorteile in GVO-Lebensmitteln oder hält sie für bedenklich beziehungsweise schädlich (Eurobarometer, 2010a).

Bewertung in den Szenarien A und C: -1

Die Akzeptanz von GVO durch die Konsumenten ist aktuell tief.

Bewertung Szenario B: 0

In diesem Szenario gelangt kein Produkt auf den Markt, welches das Label «gentechnisch verändert» trägt.

Konsumenten – Preisniveau

Das Preisniveau für den Abnehmer steigt, wenn höhere Produktionskosten sowie Kosten für Massnahmen zur Warenflusstrennung weitergegeben werden (z. B. in Price et al., 2003). Die Auswirkungen auf den Einzelhandelspreis können nur in groben Zügen abgeschätzt werden. Laut ihren heutigen Statuten sind GVO von mehreren Labelprogrammen ausgeschlossen. Dadurch erzielen sie im Durchschnitt einen niedrigeren Preis.

Bewertung in den Szenarien A und C: -1

Die Warenflusstrennung verursacht hohe Kosten, weshalb davon auszugehen ist, dass zumindest ein Teil dieser Kosten auf die Produkte (GVO und GVO-frei) übertragen werden.

Bewertung Szenario B: 0

Da die Verfütterung von GVO an Nutztiere am Hof nicht deklariert werden muss und folglich dem Konsumenten nicht kommuniziert wird und da im nachgelagerten Bereich keine Warenflusstrennungsmassnahmen getroffen werden, bleibt der Preis unverändert.

3.1.3.2 Umweltkriterien**Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – UZL-Arten**Bewertung in den Szenarien A und B: 0

Beim Anbau von Bt-Mais werden in erster Linie mögliche Effekte auf Arten von Lepidoptera (Maiszünsler sowie Schmetterlinge im Allgemeinen) bewertet. Dies, weil aufgrund der spezifischen Toxizität des Cry1Ab-Proteins Effekte auf andere Arten ausgeschlossen werden. Laborstudien haben gezeigt, dass das Cry1Ab-Protein unterschiedlich toxisch für verschiedene Lepidoptera-Spezies ist (Frankenhuyzen, 2009). Nicht-Zielarten von Schmetterlingen können insbesondere durch die Einnahme von Bt-Mais-Pollen mit dem Cry1Ab-Toxin in Kontakt kommen. Für 75 der 159 im Bericht «Operationalisierung der Umweltziele Landwirtschaft» (Walter et al., 2013) aufgeführten Schmetterlingsarten konnte eine Überschneidung des Maispollenflugs mit Imaginal- und/oder Larvenstadien gezeigt werden (Felke und Langenbruch 2005, Musche et al., 2009, Lang et al., 2005, Traxler et al., 2005, Schmitz et al., 2003). Für die weiteren 53 UZL-Arten wurden keine Angaben bezüglich einer möglichen Exposition gefunden. In einer Modellierung wurden die Mengen an Maispollen, welche in und um Maisfelder herum gefunden werden, als nicht ausreichend bewertet, um einen negativen Einfluss auf Schmetterlingspopulationen zu haben, selbst wenn es sich um sehr sensitive Nicht-Zielarten handelt (Perry et al., 2010).

Beim Anbau von Bt-Mais entfällt die Applikation von *Trichogramma*-Schlupfwespen. Neben dem Maiszünsler parasitieren die im herkömmlichen Maisanbau eingesetzten *Trichogramma*-

Schlupfwespen verschiedene weitere Arten von Lepidoptera, darunter auch solche, die in der Schweiz als gefährdet gelten (Babendreier et al., 2003a). Es konnte jedoch gezeigt werden, dass das Risiko für Schmetterlingspopulationen durch die biologische Kontrolle im Feld mit *Trichogramma*-Schlupfwespen gering bleibt (Babendreier et al., 2003b).

Nicht-Ziel-Lepidopteren werden a priori offenbar weder durch den Einsatz von *Trichogramma* noch durch die Anwesenheit von Bt-Toxinen im Mais auf Populationsebene beeinträchtigt.

Bewertung Szenario C: 0

Analog zu den Szenarien A und B wird angenommen, dass die Menge an Bt-Maispollen, welche in und um Maisfelder herum gefunden wird, nicht ausreicht, um einen signifikanten Anteil der Population sensibler Nicht-Ziel-Lepidopteraarten zu schädigen.

Im Szenario C wird ausnahmsweise eines der beiden Insektizide Steward (Wirkstoff Indoxacarb) oder Audienz (Wirkstoff Spinosad) appliziert. Die Wirkstoffe Spinosad und Indoxacarb sind beide unterschiedlich (akut und chronisch) toxisch für eine gewisse Anzahl Arten von Vögeln, Reptilien, Säugetieren sowie vermutlich von Amphibien und Pilzen (Sánchez-Bayo, 2011). Diese Applikation fällt beim Anbau von Bt-Mais weg.

Für Indoxacarb sind keine negativen Effekte auf Kulturpflanzen bekannt (Moncada, 2003). Bei korrekter Anwendung der Mittel kann die Exposition minimiert und ein Schaden auf Populationsebene eingedämmt werden. Somit werden UZL-Arten durch den Anbau von Bt-Mais und den damit einhergehenden eventuellen Verzicht auf Insektizide weder gefördert noch geschädigt.

Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – Genfluss auf verwandte Wildpflanzen und Invasivität in natürliche Habitate

Bewertung aller Szenarien: 0

In Europa gibt es keine verwandten Wildpflanzen von Mais, weshalb kein Genfluss auf verwandte Wildpflanzen möglich ist (Sweet und Bartsch, 2012). Ausserdem ist Bt-Mais nicht invasiver als herkömmlicher Mais. Maispflanzen sind auf eine landwirtschaftliche Bearbeitung des Bodens angewiesen und können ausserhalb eines Ackers in natürlichen Habitaten nur schwer überleben. Deshalb wäre kein Genfluss zu erwarten.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Bestäuber

Bewertung in den Szenarien A und B: 0

Das Cry1Ab-Toxin ist nicht toxisch für Honigbienen und andere Bestäuber wie z. B. Hummeln und zeigt weder einen negativen Effekt auf die Entwicklung von Larven dieser Arten (Duan et al., 2008 / Malone und Burgess, 2009) noch signifikante Effekte auf das Verhalten von Honigbienen bei der Futtersuche, deren Gewicht und der Leistung der Kolonie (Rose et al., 2007). Gemäss heutigem Wissensstand können Auswirkungen auf bestäubende Insekten durch die Freisetzung von *Trichogramma*-Schlupfwespen im Maisanbau ausgeschlossen werden. Bezüglich der Ökosystemfunktion Bestäubung wird der Anbau von Bt-Mais als gleichwertig wie der Anbau von herkömmlichem Mais bewertet.

Bewertung in Szenario C: 0

Die Wirkstoffe Spinosad und Indoxacarb sind bei Kontakt hoch akut toxisch für Honigbienen. In Feldstudien konnte gezeigt werden, dass bei guter landwirtschaftlicher Praxis (Ausbringung des Mittels ausserhalb des Bestäuberflugs), keine negativen Effekte auf Hummeln und deren Bestäubungsfunktion auftraten (Biondi et al., 2012). Es wird davon ausgegangen, dass die einmalige Anwendung der Insektizide in Szenario C entsprechend der guten landwirtschaftlichen Praxis keine negativen Auswirkungen auf bestäubende Insekten hat.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Natürliche Schädlingsbekämpfung

Bewertung in den Szenarien A und B: 0

Eine Meta-Analyse von Feldstudien kam zum Ergebnis dass der Bt-Maisanbau zu keinen signifikanten Veränderungen der Arthropodpopulationen führt, die an der natürlichen Schädlingskontrolle beteiligt sind (Comas et al., 2013). Eine weitere Meta-Analyse ergab, dass der sich primär von diversen Blattläusen ernährende Generalist *Coleomegilla maculata* auf Bt-Maispflanzen häufiger auftritt als auf herkömmlichen, während verschiedene andere Gattungen von Räubern (z. B. *Orius*, *Geocoris*, *Hippodamia*, *Chrysoperla*) keine Unterschiede in ihrer Häufigkeit zeigen (Wolfenbarger et al., 2008). Der auf den Maiszünsler spezialisierte Parasitoid *Macrocentris grandii* ist in Bt-Maisfeldern weniger

häufig, gleichzeitig wurde jedoch kein signifikanter Effekt auf die Häufigkeit anderer Parasitoide festgestellt (Naranjo, 2009).

Die Applikation von *Trichogramma*-Schlupfwespen im herkömmlichen Maisanbau hat keine Auswirkungen auf Populationen verschiedener an der natürlichen Schädlingsbekämpfung beteiligter Arten (Babendreier et al., 2003c). Der Effekt von Bt-Mais auf *M. grandii* wird als vernachlässigbar eingeschätzt, da ein auf den Schädling spezialisierter Parasitoid meist durch eine funktionierende Kontrolle seines Wirtes beeinträchtigt wird. Der Anbau von Bt-Mais wird somit hinsichtlich des Kriteriums «natürliche Schädlingsbekämpfung» als gleichwertig wie herkömmlicher Mais bewertet.

Bewertung Szenario C: +1

Vergleicht man den Anbau von Bt-Mais mit herkömmlichem Mais, bei welchem Insektizide eingesetzt werden, findet man generell einen positiven Effekt in Bezug auf die Häufigkeit von Räubern und Parasitoiden in Bt-Feldern (Wolfenbarger et al., 2008). Spinosad ist sowohl für die Raubmilbe *Typhlodromus pyri*, als auch für die parasitische Wespe *Aphidius rhopalosiphii* schädlich, während Indoxacarb für *T. pyri* und *A. colemani* moderat schädlich ist. Spinosad kann Parasitoiden schädigen, während es für verschiedene räuberische Insekten wenig gefährlich ist (Williams et al., 2003). Die Parasitoiden von Hautflüglern werden durch den Einsatz von Spinosad beim herkömmlichen Maisanbau beeinträchtigt und auch Raubmilben nehmen bereits durch den Kontakt mit Spinosadrückständen Schaden (Biondi et al., 2012). Der Wirkstoff Indoxacarb kann parasitische Wespen beeinträchtigen, während er für Raubmilben als sicher gilt (Dinter & Wiles 2000).

Der Anbau von Bt-Mais wird hinsichtlich des Kriteriums «natürliche Schädlingsbekämpfung» als geringfügig besser bewertet als der herkömmliche Maisanbau mit einmaliger Insektizidanwendung.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem Boden

Bewertung in den Szenarien A und B: 0

Der Anbau von Bt-Mais hat in der Regel keine bzw. nur geringfügige Effekte auf Organismen, welche für die Ökosystemfunktionen im Boden relevant sind (Icoz und Stotzky, 2007). Das Cry1Ab-Toxin ist für viele dieser Organismen (Erdwürmer, Asseln, Springschwänze und Bodenmilben) nicht toxisch. Im Labor wurden teilweise negative Auswirkungen bei Nematoden gefunden, allerdings kamen sowohl Feld-, als auch Glashausversuche zum Schluss, dass bei einer Exposition gegenüber Bt-Toxinen gefundene Veränderungen in Nematoden- und Bakteriengemeinschaften gering und kleiner sind als andere Einflüsse (Bodentyp, Alter der Pflanzen usw.) und innerhalb der natürlichen Variation liegen.

In Laborstudien wurde gezeigt, dass signifikant weniger Wachstum von presymbiotischen Hyphen von Mykorrhizapilzen im Boden von Bt-Mais stattfindet (Turrini et al., 2004). In den Feldexperimenten konnten diese Ergebnisse jedoch nicht verifiziert werden: Im Feld wurden keine Unterschiede in der Kolonisation der Pflanzen durch Mykorrhiza zwischen Bt-Maispflanzen und herkömmlichen Maispflanzen gefunden (Cheeke et al., 2013, Zheng et al. 2015). Zusammenfassend wurden keine erheblichen Effekte auf Organismen, welche für die Ökosystemfunktionen im Boden relevant sind, gefunden. Das Kriterium «Funktionen im Ökosystem Boden» wird deswegen für Bt-Mais als gleichwertig wie herkömmlicher Mais bewertet.

Bewertung Szenario C: 0

Die Wirkstoffe Spinosad und Indoxacarb sind beide moderat akut und moderat chronisch toxisch für Erdwürmer, während sie die Stickstoff- und Kohlenstoffmineralisierung, welche von Mikroorganismen im Boden getätigt wird, nicht beeinflussen. Es bestehen keine signifikanten Unterschiede in der Populationsdichte von bestimmten Erdwürmern und Springschwänzen in einem Boden mit Bt-Maisanbau und einem Boden mit insektizidbehandeltem herkömmlichem Maisanbau (Icoz und Stotzky, 2007). Spinosad hat keinen Effekt auf die Kolonisation und Diversität von arbuskulären Mykorrhizen (Ipsilantis et al., 2012). Die Auswirkungen der beiden Insektizide auf Funktionen im Ökosystem Boden sind allerdings schwierig zu bewerten. Analog zum Kriterium Bestäubung kann davon ausgegangen werden, dass eine einzige Applikation keinen signifikant negativen Einfluss auf die Organismen und deren Funktionen im Ökosystem Boden hat. Somit wird in dieser Hinsicht der Anbau von Bt-Mais als gleichwertig wie der herkömmliche Mais-Anbau bewertet.

Die geringere Belastung der Ressource Boden durch die Reduktion der ausgebrachten Wirkstoffmengen beim Anbau von Bt-Mais wird beim Kriterium *Umweltqualität* berücksichtigt.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem Wasser

Bewertung in den Szenarien A und B: 0

Wasserorganismen können durch die Aufnahme von Pollen oder anderen Pflanzenteilen (nach der Ernte) mit dem Cry1Ab-Toxin in Kontakt kommen. Eine Modellierung im Rahmen einer Umweltrisikoprüfung zeigte, dass in 99% aller Fälle, in welchen bei aquatischen Arthropoden eine Exposition mit dem Cry1Ab-Toxin möglich wäre, mit sehr grosser Sicherheit keine grösserer Effekt als bei den Lepidoptera auftritt (Wolt und Peterson 2010). Die Studie schätzt die Wirkung des Cry1Ab-Toxins auf verwandte Arten (Libellen, Mücken, Krustentiere oder Wasserflöhe) als ebenfalls sehr gering ein. Andere Toxizitätsstudien zeigen keine Toxizität gegenüber Fischen und Invertebraten durch das Cry1Ab-Toxin (EPA, 2010). Unter der Annahme, dass die Applikation von *Trichogramma*-Schlupfwespen im herkömmlichen Maisanbau keine Auswirkungen auf an Funktionen im Ökosystem Wasser beteiligte Arten hat, wird der Anbau von Bt-Mais in diesem Kriterium als gleichwertig wie der herkömmliche Maisanbau bewertet.

Bewertung Szenario C: 0

Die Applikation der Insektizide Indoxacarb und Spinosad entfällt beim Anbau von Bt-Mais. Beide Wirkstoffe sind moderat akut toxisch für Fische, aquatische Invertebraten und Algen. Spinosad ist zudem hoch akut toxisch für im Sediment lebende Organismen und geringfügig toxisch für aquatische Pflanzen und Indoxacarb ist moderat akut toxisch für aquatische Pflanzen. Obwohl die beiden Wirkstoffe für gewisse Wasserorganismen toxisch sind, wird davon ausgegangen, dass diese den geltenden Auflagen für die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln (PSMV, 2010) unterstellt sind und eine einmalige Anwendung eines der beiden Insektizide im Szenario C zu keiner oder einer geringen Beeinträchtigung der Organismen und ihren Funktionen im Ökosystem Wasser führt.

Die geringere Belastung der Ressource Wasser durch die Reduktion der ausgebrachten Wirkstoffmengen beim Anbau von Bt-Mais wird beim Kriterium *Umweltqualität* berücksichtigt.

Ressourcenbelastung – Atmosphäre – Treibhausgase – Kohlendioxid

Bewertung Szenario A: -1

Der Treibstoffverbrauch verändert sich im Anbau von Bt-Mais nicht, da sowohl die Ausbringung von Pestiziden und Dünger, als auch die Bodenbearbeitung unverändert bleiben. Die Ausbringung von *Trichogramma*-Schlupfwespen im herkömmlichen Maisanbau erfolgt von Hand und generiert keinen zusätzlichen Treibstoffverbrauch. Da angenommen wird, dass beim Transport in den nachgelagerten Bereich teilweise längere Transportwege anfallen, weil nicht alle Abnehmer gentechnisch veränderte Ware akzeptieren (Albisser Vögeli et al., 2011), erhöhen sich der Treibstoffverbrauch und analog dazu die Kohlendioxidemissionen.

Bewertung Szenario B: 0

Der Treibstoffverbrauch verändert sich im Anbau von Bt-Mais nicht. Die Ausbringung von *Trichogramma*-Schlupfwespen im herkömmlichen Maisanbau erfolgt von Hand und generiert keinen zusätzlichen Treibstoffverbrauch. Im Gegensatz zu Szenario A wird der Mais im Szenario B nach der Ernte direkt auf dem Hof verwertet. Dadurch verändern sich weder der Treibstoffverbrauch noch die Kohlendioxidemissionen beim Anbau von Bt-Mais.

Bewertung Szenario C: 0

Analog zu Szenario A werden im Szenario C längere Transportwege im nachgelagerten Bereich angenommen. In Szenario C wird im herkömmlichen Anbau der Maiszünsler mit der Applikation von Pestiziden bekämpft, was zu einem erhöhten Treibstoffverbrauch führt. Die beiden Effekte gehen in die entgegengesetzte Richtung und können nicht quantifiziert werden. Deshalb werden der Anbau von Bt-Mais und von herkömmlichem Mais in Bezug auf ihren Kohlendioxidausstoss als gleichwertig eingeschätzt.

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – Stickoxide

Analog zum Kohlendioxid.

Bewertung Szenario A: -1

Bewertung Szenario B: 0

Bewertung Szenario C: 0

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – Stickoxide – Dieseleruss

Analog zum Kohlendioxid.

Bewertung Szenario A: -1

Bewertung Szenario B: 0

Bewertung Szenario C: 0**Umweltqualität – Wasser – Düngerabfluss**Bewertung aller Szenarien: 0

Der Bt-Maisanbau hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf die benötigte Düngermenge und somit auch keinen Einfluss auf die Wasserbelastung, welche dadurch entstehen kann.

Umweltqualität – Wasser – PestizidabflussBewertung in den Szenarien A und B: 0

Die Maiszünslerbekämpfung mit *Trichogramma*-Schlupfwespen entfällt beim Anbau von Bt-Mais. Alle anderen Pflanzenschutzmassnahmen bleiben unverändert.

Bewertung Szenario C: +1

In Szenario C werden Insektizide gespritzt, die für gewisse Wasserorganismen toxisch sein können. Die beiden verwendeten Wirkstoffe sind moderat akut toxisch für Fische, aquatische Invertebraten und Algen. Spinosad ist hoch akut toxisch für im Sediment lebende Organismen und geringfügig toxisch für aquatische Pflanzen.

Diese Insektizide fallen beim Anbau von Bt-Mais weg, weshalb dieser für Wasserorganismen schonender ist. Deshalb wird Bt-Mais geringfügig besser als der herkömmliche Mais bewertet.

Umweltqualität – Boden – Physische Belastung – ErosionBewertung aller Szenarien: 0

Der Bt-Maisanbau hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf die Bodenbearbeitung und bewirkt somit keine Veränderung der Erosion, welche dadurch entstehen kann.

Umweltqualität – Boden – Physische Belastung – VerdichtungBewertung in den Szenarien A und B: 0

Der Bt-Maisanbau hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf die Anzahl der Feldbefahrungen und somit auch keinen Einfluss auf die Bodenverdichtung, welche dadurch entstehen kann.

Bewertung Szenario C: +1

Im Szenario C werden im herkömmlichen Anbau Insektizide gespritzt. Der Anbau von Bt-Mais führt zu einer Reduktion der Anzahl an Feldbefahrungen und damit zu einer Reduktion der Bodenverdichtung, die dadurch entstehen kann.

Umweltqualität – Boden – Chemische Belastung – DüngerBewertung aller Szenarien: 0

Der Bt-Maisanbau hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf die benötigte Düngermenge und somit auch keinen Einfluss auf die Bodenbelastung, welche dadurch entstehen kann.

Umweltqualität – Boden – Chemische Belastung – PestizideBewertung in den Szenarien A und B: 0

Die Maiszünslerbekämpfung mit *Trichogramma*-Schlupfwespen entfällt beim Anbau von Bt-Mais. Alle anderen Pflanzenschutzmassnahmen bleiben unverändert.

Bewertung Szenario C: +1

In Szenario C werden im herkömmlichen Anbau Insektizide gespritzt, die z. B. für Erdwürmer moderat toxisch sein können. Verglichen mit dem herkömmlichen Mais-Anbau mit Insektizidbehandlung führt der Anbau von Bt-Mais zu einer Reduktion der Insektizidapplikationen und hat somit auch einen positiven Einfluss auf die Belastung des Bodens, welche dadurch entsteht. Somit wird der Anbau von Bt-Mais als geringfügig besser bewertet.

Ressourcenbedarf – WasserBewertung aller Szenarien: 0

Der Bt-Maisanbau hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf den Wasserverbrauch im Feld.

Ressourcenbedarf – Energie

Analog zum Kohlendioxid.

Bewertung Szenario A: -1

Bewertung Szenario B: 0

Bewertung Szenario C: 0

Ressourcenbedarf – Land

Bewertung in den Szenarien A und B: 0

In den Szenarien A und B wird ein geringer Maiszünslerbefall angenommen, welcher im herkömmlichen Anbau mit *Trichogramma*-Schlupfwespen ohne signifikanten Ertragsverlust bekämpft werden kann. Analog zum Kriterium *Ertrag* wird der Bedarf an der Ressource Land beim Anbau von Bt-Mais als gleichwertig bewertet wie beim Anbau von herkömmlichem Mais.

Bewertung Szenario C: +1

Im herkömmlichen Maisanbau werden bei einem Befall mit einer bivoltinen Maiszünslerterasse Ertragsverluste erwartet. Bt-Mais hingegen erleidet trotz bivoltiner Maiszünslerterasse keine Ernteverluste. Analog zum Kriterium *Ertrag* wird das Kriterium *Land* beim Anbau von Bt-Mais als geringfügig besser bewertet, da die Produktivität pro Flächeneinheit steigt.

Ressourcenbedarf – Pestizide

Bewertung in den Szenarien A und B: +1

Die Maiszünslerbekämpfung mit *Trichogramma*-Schlupfwespen entfällt beim Anbau von Bt-Mais in den Szenarien A und B. Alle anderen Pflanzenschutzmassnahmen bleiben unverändert. Der Bt-Mais-Anbau führt verglichen mit dem herkömmlichen Anbau zu einer Senkung des Pestizidbedarfs und wird deshalb als geringfügig besser bewertet.

Bewertung Szenario C: +1

Die Maiszünslerbekämpfung mit Insektiziden entfällt beim Anbau von Bt-Mais. Alle anderen Pflanzenschutzmassnahmen bleiben unverändert. Der Bt-Mais-Anbau führt verglichen mit dem herkömmlichen Anbau zu einer Senkung des Pestizidbedarfs und wird deshalb als geringfügig besser bewertet.

Ressourcenbedarf – Dünger

Bewertung aller Szenarien: 0

Der Bt-Mais Anbau hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf die eingesetzte Düngermenge.

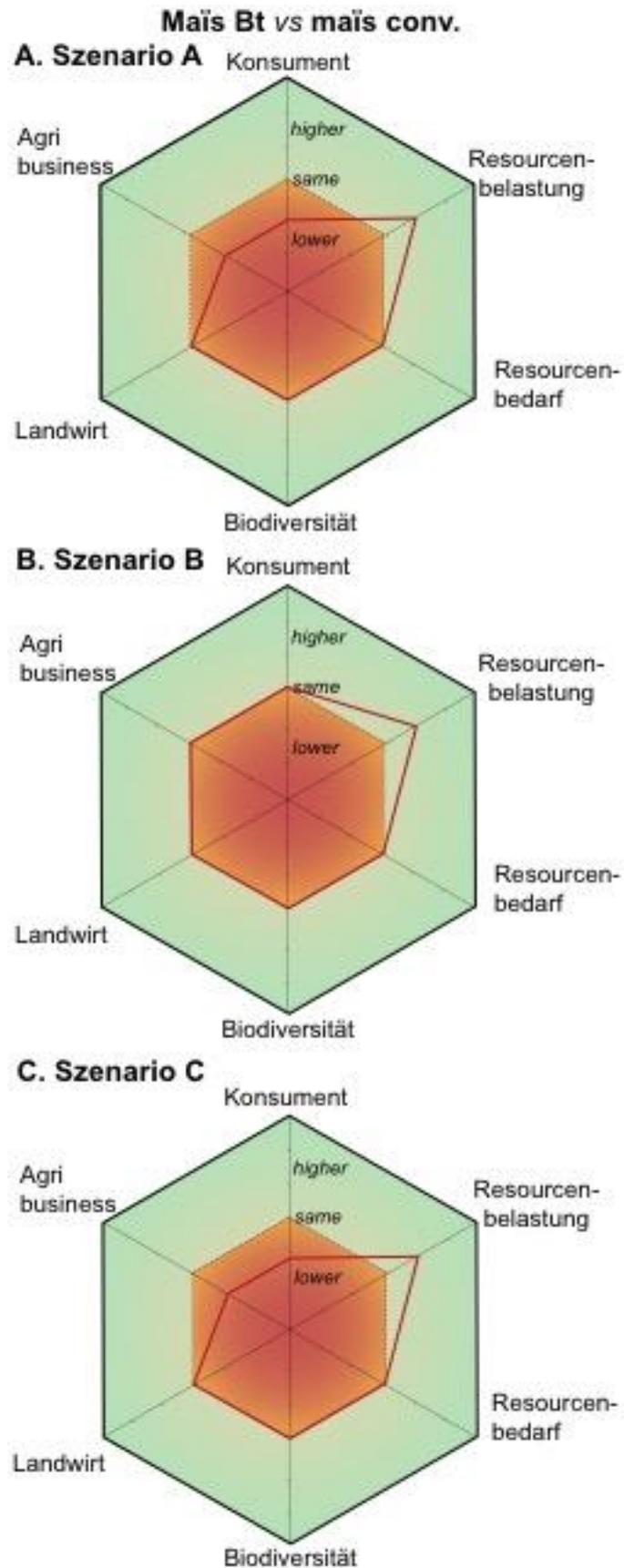
3.1.4 Zusammenfassung der Nachhaltigkeitsanalyse für Bt-Mais

Die MCDA-Bewertung der Auswirkungen von Bt-Mais in den drei hier vorgestellten Szenarien zeigt im Gesamtergebnis eine geringe Nachhaltigkeitswirksamkeit (Abbildung 4). In zwei von drei Szenarien hat der Bt-Mais-Anbau einen negativen Einfluss auf die Landwirte und das Agribusiness (Szenario A und C) im Szenario B hat er keine signifikanten Folgen. Aus ökologischer Sicht wirkt sich die Substitution von Insektiziden (die bei einem Befall mit einer bivoltinen Maiszünslerrasse ausnahmsweise mit einer Sonderbewilligung eingesetzt werden) in allen drei Szenarien positiv aus. Es ist denn auch die Substitution der im herkömmlichen Maisanbau verwendeten synthetischen Insektizide, die dem Anbau von Bt-Mais einen leichten Vorteil verleiht (Szenario C, Abbildung 4). In keinem der evaluierten Szenarien hat der Anbau von Bt-Mais einen Einfluss auf den Wasser- und Düngerbedarf. Der zusätzliche Dieselbedarf bei den Emissionen ist den Koexistenzmassnahmen zuzuordnen.

Zu betonen ist hier, dass die Wirtschaftlichkeit des Bt-Mais weitgehend von dessen Akzeptanz abhängig ist (siehe Untersuchung der Empfindlichkeit des Modells im folgenden Abschnitt). Die Verwertung des Mais *in situ* auf dem Hof stiftet sozioökonomisch gesehen mehr Nutzen. Es gilt jedoch auf die Zwiespältigkeit einer Kultur hinzuweisen, die auf kostspieligeren Vorleistungen (insbesondere Aufpreis auf dem Saatgut) beruht, aber für relativ wertschöpfungsschwache Märkte bestimmt ist (kein Label möglich, geringe Akzeptanz). Die Auswirkungen der Koexistenzmassnahmen und die dadurch anfallenden Mehrkosten lassen sich schwerlich genau beziffern, sind aber insgesamt negativ. Die Entwicklung von Resistenzen beim Maiszünsler ist gut dokumentiert und erfordert eine genauere Untersuchung der tatsächliche Dauerhaftigkeit dieser Resistenz in der Schweiz und die Auswirkungen der möglichen Abhilfestrategien: Verwendung multipler Bt-Toxine, Randpufferzonen rund um die Felder. Für flächenmässig kleinere Betriebe sind die Vorteile, welche die Flexibilisierung der technischen Verfahren mit sich bringt, relativ gering.

Für die Schweizer Konsumenten erbringt der Bt-Mais keinen besonderen Nutzen; unabhängig davon ist die Akzeptanz für die Technologie derzeit tief.

Abbildung 4. Bewertung von Bt-Mais. A. Szenario A, B. Szenario B, C. Szenario C.



3.2 Herbizidtolerante Zuckerrübe (HT)

3.2.1 Einleitung

Zuckerrübenkulturen reagieren sehr sensibel auf Schadpflanzen. Zuckerrüben ertragen bis zum Reihenschluss keine Unkrautkonkurrenz. In der Schweiz werden Unkräuter fast nur noch mit Herbiziden bekämpft. Dabei gibt es keine Herbizide, welche alle wesentlichen Unkräuter verlässlich bekämpfen, ohne dass sie auch den Rüben schaden (Liebegg, 2012). Im herkömmlichen Anbau werden die Zuckerrüben meist dreimal mit einer Wirkstoffkombination behandelt, die an die Art der Verunkrautung, die Witterung und den Boden angepasst werden muss (SFZ, 2013a). Zur Verarbeitung werden die Zuckerrüben nach der Ernte in die beiden Zuckerfabriken der Schweizer Zucker AG in Aarberg und Frauenfeld (SAF) transportiert, wo sie zu Zucker verarbeitet werden. Als Nebenprodukte fallen Zuckerrübenschnitzel und Melasse an, welche als Futtermittel vornehmlich für Milchvieh und in der Grossviehmast eingesetzt werden.

Im Folgenden wird eine Zuckerrübe bewertet, die eine Toleranz gegenüber dem Herbizid (HT) Glyphosat aufweist. So exprimiert zum Beispiel die von den Firmen KWS Saat AG und Monsanto entwickelte Sorte H7-1 eine Variante des Enzyms «5-Enolpyruvylshikimat-3-Phosphat-Synthase (EPSPS)», das ihr eine Toleranz gegenüber dem Wirkstoff Glyphosat verleiht. Dieses sogenannte Herbizidtoleranz-Merkmal besitzt weltweit den grössten flächenmässigen Anteil an gentechnisch veränderten Pflanzen (SCNAT, 2013). Die H7-1-Zuckerrübe ist in Kanada, Japan und den USA zum Anbau zugelassen (CERA, 2010). In den USA tragen 95 % der angebauten Zuckerrüben das H7-1-Merkmal. In der EU ist die H7-1-Zuckerrübe seit 2007 als Futter- und Lebensmittel zugelassen. Im Rahmen des NFP59 haben sich mehrere Projekte mit dem Herbizidtoleranz-Merkmal in diversen Kulturen auseinandergesetzt, darunter auch mit der herbizidtoleranten Zuckerrübe (z. B. Albisser et al., 2012 / Speiser et al., 2012). Abgesehen von den Problemen im Zusammenhang mit der Transgenese, auf die hier eingegangen wird, ist die Herbizidresistenz eine agronomische Eigenschaft, die auf Feldern mit spezifischen Bewirtschaftungsproblemen bereits breit genutzt wird (Beckert et al., 2011).

3.2.2 Szenarien

Szenario A

*Anbau von herbizidtoleranten Zuckerrüben bei **mässigem Unkrautdruck**, mit Unkrautbekämpfung durch Herbizide.*

Im herkömmlichen Zuckerrübenanbau werden zur Unkrautbekämpfung Halbfertigmischungen mit den Wirkstoffen Phenmedipham, Ethofumesat, Desmedipham und zusätzlich Metamitron im Kleinstmengen split in drei Applikationen eingesetzt, wohingegen beim Anbau von HT-Zuckerrüben das Totalherbizid Glyphosat in zwei Applikationen angewendet wird (Tabelle 6). Diese Szenarien wurde ausgehend von Nichterlein (Nichterlein et al., 2013) auf die in der Schweiz erhältlichen Wirkstoffe angepasst und übernommen.

Dem Szenario A liegen folgende Annahmen zugrunde: Beim Anbau von HT-Zuckerrüben sind die Anbaumethoden im Vergleich zu den herkömmlichen Sorten ausser bezüglich der chemischen Unkrautkontrolle unverändert (z. B. Bodenbearbeitung, Düngung, mechanische Unkrautkontrolle). Die Verarbeitung der HT-Zuckerrüben erfolgt zeitlich getrennt von den herkömmlichen Zuckerrüben, analog der heutigen Verarbeitung von biologisch produzierten Zuckerrüben (Bio vor herkömmlich vor HT). Die Endreinigung der Produktionsanlagen nach Ende der Kampagne ist effektiv und ausreichend, um im nächsten Jahr wieder Bio-Zuckerrüben ohne Vermischungsrisiko verarbeiten zu können. Ein Teil des Rübenkontingents in der Branchenvereinbarung wird den gentechnisch veränderten Rüben zugeordnet.

Tabelle 6. Herbizidanwendungen im Zuckerrübenanbau im Szenario A

| Anbausystem | Produkt | Spritzfahrten, Dosierung (l, kg / ha) | Wirkstoffmenge (g / l, kg) | Beistoffe | Menge aktiver Wirkstoff (kg / ha) | Preis Produkt (CHF / l, kg) | Preis (Gesamtmenge) CHF |
|-------------|---------------|---------------------------------------|--|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Konv. | Beta Team | 3 x 1.0 | 75 Phenmedipham 150 Ethofumesat 25 Desmedipham | nicht bekannt | 0.75 | 41.8 | 125.4 ⁴ |
| | Sugaro Gamma | 3 x 1.5 | 700 Metamitron | nicht bekannt | 3.15 | 53.7 | 241.5 ⁵ |
| | Total: | | | | 3.9 | | 366.9 |
| GVO | Glifonex | 2 x 3.0 | 360 Glyphosat | Polyoxyethylenamin (POEA) | 2.16 | 9 | 54.1 ⁶ |
| | Total: | | | | 2.16 | | 54.1 |

Szenario B**Anbau von herbizidtoleranten Zuckerrüben bei hohem Unkrautdruck**

Im Szenario B wird von einem hohen Unkrautdruck ausgegangen. Im herkömmlichen Zuckerrübenanbau wird zusätzlich zu der im Szenario A definierten Unkrautbekämpfung im Kleinmengensplit Chloridazon, Dimethenamid und Triflursulfuron-methyl zur Bekämpfung von Problemunkräutern (u. a. Hundspetersilie, Sonnenblumen, Hirse, Kamille, Tabelle 7) eingesetzt. Dieses Szenario wurde ausgehend von Nichterlein (Nichterlein et al., 2013) angepasst und übernommen. Beim Anbau von herbizidtoleranten Zuckerrüben bleibt die Strategie dieselbe wie im Szenario A mit zweimaliger Glyphosatanwendung.

Es wird angenommen, dass die Wirkstoffe Chloridazon, Dimethenamid und Triflursulfuron-methyl der Tankmischung (Beta Team und Sugaro Gamma) hinzugefügt werden können und keine separaten Mischungen und Spritzfahrten nötig sind.

Tabelle 7. Herbizidanwendungen im Zuckerrübenanbau im Szenario B

| Anbausystem | Produkt | Spritzfahrten, Dosierung (l, kg / ha) | Wirkstoffmenge (g / l, kg) | Beistoffe | Menge aktiver Wirkstoff (kg / ha) | Preis Produkt (CHF / l, kg) | Preis (Gesamtmenge) CHF |
|-------------|--------------|---------------------------------------|--|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Konv. | Beta Team | 1 x 1.0 2 x 1.2 | 75 Phenmedipham 150 Ethofumesat 25 Desmedipham | nicht bekannt | 0.85 | 41.8 | 142.1 |
| | Sugaro Gamma | 1 x 1.0 2 x 1.5 | 700 Metamitron | nicht bekannt | 2.8 | 53.7 | 214.6 |
| | Pyramin DF | 1 x 0.55 | 650 Chloridazon | Natriumdiisobutyl | 0.36 | 53.6 | 29.5 ⁷ |

⁴ Schneiter AGRO AG⁵ fenaco-LANDI Gruppe⁶ Leu+Gygax AG, abrufbar unter: http://www.leugygax.ch/inhalt_d/produkte_detail.php?id=63⁷ Leu+Gygax AG, abrufbar unter: http://www.leugygax.ch/inhalt_d/produkte_detail.php?id=106

| | | | | | | | |
|-----|---------------|-----------------|------------------------------|--|-------------|------|-------------------|
| | Frontier X2 | 1 x 0.3 0.45 | 1 x 720 Dime- thenamid | naphthalinsulfonat Solvent Naphta | 0.54 | 55.8 | 41.9 ⁸ |
| | Debut | 2 x 0.02 | 500 Triflusu- ron-methyl | nicht be- kannt | 0.02 | 1500 | 60 ⁹ |
| | Total: | | | | 4.57 | | 488.1 |
| GVO | Glifoxen | 2 x 3.0 | 360 Glyphosat | Po- lyoxyethy- lenamin (POEA) | 2.16 | 9 | 54.1 |
| | Total: | | | | 2.16 | | 54.1 |

Weiter gelten für beide Szenarien folgende Annahmen:

- Die Verwendung von Glyphosat ist im Anbau von Zuckerrüben erlaubt.
- Es wird angenommen, dass eine der beiden in der Schweiz vorhandenen Zuckerfabriken HT-Zuckerrüben annimmt und verarbeitet.
- Die Feld- und Erntearbeiten werden wie im herkömmlichen Anbau teilweise von Lohnunternehmern durchgeführt (keine neuen Maschinen notwendig).
- Um die Warenflusstrennung in der Verarbeitung gewährleisten zu können, werden in der Zuckerfabrik separate Lagerflächen benötigt, da die derzeitige Infrastruktur der Fabrik kaum eine Trennung ermöglicht. Eine räumliche Trennung ist notwendig um die verarbeiteten Produkte und Nebenprodukte (Melasse, Rübenschnitzel) sowie die unprozessierten Rüben zu lagern.
- Die Verarbeitungseinschränkung auf eine Zuckerfabrik (analog zum biologischen Zucker, der nur in Frauenfeld produziert wird) kann je nach Standort des GVO-Anbaus zu zusätzlichen Transportwegen führen. Es wird angenommen, dass sich der Anbau von GVO-Rüben anfänglich grösstenteils um den Standort der Verarbeitung konzentriert und hierbei keine zusätzlichen Transportwege vom Feld zur Fabrik anfallen. Werden GVO-Rüben nicht in der näher gelegenen Zuckerfabrik verarbeitet, wird angenommen, dass die Rüben von der Fabrik per Bahn an den GVO-Rübenverarbeitenden Standort transportiert werden. Dementsprechend wird angenommen, dass beim Transport vom Feld in die Fabrik keine längeren Fahrten auf der Strasse anfallen, allerdings eventuell gewisse Rübenmengen zusätzlich von der einen Fabrik in die andere verlagert werden müssen.
- Der Zeitpunkt der Ausbringung der Pestizide unterscheidet sich insofern, als dass die erste Applikation im herkömmlichen Anbau jeweils früher stattfindet (Kotyledonen-Stadium der Zuckerrübe). Die zweite und dritte Applikation im herkömmlichen Anbau und die beiden Glyphosatapplikationen finden ca. zur selben Zeit (2-Blatt- und 6-Blatt-Stadium der Zuckerrübe) statt. Bei der HT-Zuckerrübe besteht jedoch hinsichtlich des Applikationszeitraums mehr Flexibilität.

⁸ Leu+Gygax AG, abrufbar unter:

http://www.leugygax.ch/inhalt_d/produkte_detail.php?id=341&rubrik=&anwendungsgebiet=&kulturen=&name=frontier x2

⁹ fenaco LANDI-Gruppe

Glyphosatresistente Unkräuter

Eine mögliche Resistenzentwicklung von Unkräutern ist eine grosse Gefahr für die nachhaltige Nutzung von Herbiziden. Seit den späten 1940er-Jahren werden synthetische Herbizide zur Unkrautkontrolle eingesetzt und im Jahre 1957 wurde erstmalig von einem herbizidresistenten Unkraut berichtet (Hilton, 1957). Obwohl mittlerweile Strategien zur Verhinderung der Entwicklung und zum Management von vorhandenen Resistenzen eingesetzt werden, steigt die Anzahl gemeldeter Fälle kontinuierlich und bei allen wichtigen Wirkungsmechanismen von Herbiziden wurden resistente Unkräuter entdeckt (Délye et al., 2013). Derzeit (Stand März 2014) sind weltweit 232 Unkräuter (137 Dikotyledonen und 95 Monokotyledonen) bekannt, welche gegenüber Herbiziden resistent geworden sind, hiervon haben 44 Arten eine Resistenz gegen Glyphosat entwickelt (Heap, 2014, Green, 2014). Generell führt die wiederholte Applikation desselben Herbizids zu einem hohen Selektionsdruck für Unkräuter im Feld und resultiert in einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für die Entwicklung von Resistenzen gegen dieses Herbizid (Sweet und Bartsch, 2012). Um dem vorzubeugen, werden verschiedene Strategien eingesetzt: Einsatz verschiedener Wirkstoffe, Fruchtfolgen, Verwendung von Populationssorten. All diese Massnahmen müssen durch ein entsprechendes Monitoring begleitet werden (HRAC, 2014). In der Schweiz wird Glyphosat in privaten Gärten, entlang von Gleisanlagen und zum Strassenunterhalt eingesetzt (Strickhof, 2012b). In der Landwirtschaft sind Vorerntebehandlungen mit Glyphosat verboten und im Voraufbau sind nur Bandspritzungen erlaubt.

In einem Weinberg im Waadtland, der über fünfzehn Jahre lang mit Glyphosat behandelt worden war, wurde im Februar 2014 der erste Fall eines glyphosatresistenten Unkrauts in der Schweiz bestätigt (Agroscope, 2014a). Die Entwicklung von Resistenzen soll in der Schweizer Landwirtschaft besonders durch die in den ÖLN-Richtlinien vorgeschriebenen Fruchtfolgeregelungen verhindert bzw. verlangsamt werden.

3.2.3 Bewertung der Nachhaltigkeit

3.2.3.1 Sozioökonomische Kriterien

Landwirt – Gewinnbilanz – Produktionswert – Ertrag

Der Ertrag von Zuckerrüben wird neben dem Unkrautdruck ganz wesentlich von den Aussaatbedingungen, dem Bodenzustand sowie dem Wetter im Entwicklungszeitraum bestimmt. Die Applikation von (definitionsgemäss phytotoxischen) Herbiziden kann das Wachstum der Zuckerrüben ebenfalls beeinträchtigen und ein hoher Herbizideinsatz kann zu Ertragsminderungen führen. Bei HT-Zuckerrüben wird kein Mehrertrag gegenüber ähnlichen oder fast isogenen Sorten erreicht (Wolf, 2009), sondern vielmehr eine Ertragsstabilisation, indem übermässige Einbussen verhindert werden. In den letzten 20 Jahren konnte der Ertrag von Zuckerrüben in der Schweiz erheblich gesteigert werden (ZAF, 2013).

Bewertung aller Szenarien: +1

Der Anbau von HT-H7-1-Zuckerrüben erbringt auf deutschen und polnischen Versuchsfeldern dank einer effizienten Unkrautkontrolle einen Mehrertrag von 4 bis 18 % im Vergleich zu herkömmlichen Zuckerrüben (Nichterlein et al., 2013). Mehrere andere Forschungsberichte verzeichnen eine Ertragsstabilisierung oder sogar Mehrerträge in der Grössenordnung von 5 % (Albisser Vögeli et al. 2011) bzw. 8.8 % (Brookes und Barfoot, 2014).

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Preis

Der Erzeugerpreis für Zuckerrüben wird in der jährlichen Branchenvereinbarung festgelegt. Er setzt sich zusammen aus einem Richtpreis und unterschiedlichen variablen Bestandteilen (Zuckergehalt, technische Ausbeute, Fremdbesatz, Früh- und Spätbelieferung, Transportentschädigung). Ein wichtiger Bestandteil des Einkommens aus dem Zuckerrübenanbau stellt der Flächenbeitrag dar, der gemäss den allgemeinen Annahmen auch dem GVO-Anbau zuerkannt wird. Die Annahme und Verarbeitung von HT-Rüben würde zeitlich nach den gentechnikfreien Rüben erfolgen und erfordert eine neue Einteilung der Zeitabschnitte, für die Anspruch auf spezifische Prämien besteht.

Bewertung aller Szenarien: -1

Der Landwirt erhält einen geringeren Preis für ein GVO-Produkt, wenn GVO-Freiheit als Mehrwert eingestuft wird. Die Zuckerfabrik kann durch ihren Mehraufwand einen Preisdruck auf den Rohstoff ausüben.

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Produktionskosten

Die Produktionskosten des HT-Zuckerrübenanbaus verändern sich im Bereich der Betriebsmittel beziehungsweise Vorleistungen. Der Mehrpreis für GVO-Saatgut wird auf 30 % geschätzt (Albisser Vögeli et al., 2011). Die Pestizid-Kombinationen werden ersetzt durch Applikationen des Totalherbizids Glyphosat, dessen Ausbringung flexibler terminiert werden kann. Es erfolgt zudem eine Reduktion von drei auf zwei Spritzfahrten beim Anbau von GVO-Zuckerrüben. Obschon die Blüte erst im zweiten Jahr erfolgt, sind bestimmte Koexistenzmassnahmen zu treffen: Damit der Genfluss auf benachbarte Zuckerrübenparzellen verhindert wird, müssen Schosser, die ausnahmsweise auch im ersten Jahr auftreten können, entfernt werden (Albisser Vögeli et al., 2011). Diese Praxis wird bereits heute umgesetzt. Der Bundesrat schlug in seinem Koexistenz-Entwurf von 2013 für gentechnisch veränderte Zuckerrüben einen Isolationsabstand von 12 m vor (BAFU und BLW, 2013).

Bewertung aller Szenarien: +1

Durch Einsparungen im Herbizidbereich ist der Anbau von herbizidtoleranten HT-Zuckerrüben wirtschaftlich als leicht positiver zu bewerten. In Szenario A werden beim Anbau von HT-Zuckerrüben im Vergleich zu herkömmlichen Rüben 313 CHF pro Hektar eingespart, in Szenario B 434 CHF (Tabelle 6 und 7).

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Arbeitsaufwand

Die verminderte Applikation von Herbiziden beim Anbau von HT-Zuckerrüben lässt den Arbeitsaufwand etwas sinken und schafft Flexibilität. Es wird davon ausgegangen, dass diese Reduktion an Arbeitszeit durch den Zeitbedarf zur Umsetzung der Koexistenzmassnahmen kompensiert wird (Albisser Vögeli et al., 2011 / Agridea, 2013a).

Bewertung aller Szenarien: 0**Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit****Bewertung aller Szenarien: +1**

Der erzielte Grad an Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit wird von den Rahmenbedingungen bestimmt, die zur Gewährleistung von Koexistenz verordnet werden. Diese sollten dem Nutzen von GVO angepasst und nicht restriktiv sein (Demont und Devos, 2008). Der Grad an Eigentumsgarantie und an Wirtschaftsfreiheit nimmt zu, wenn der Anbau einer GVO-Sorte ermöglicht wird. Durch die Zulassung von GVO können Landwirte aus einer grösseren Bandbreite an Anbausystemen frei wählen, sofern die Vielfalt der Anzahl Sorten im Katalog erhalten bleibt (Hilbeck et al., 2013).

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Akzeptanz auf lokaler Ebene

Die Akzeptanz von GVO auf lokaler Ebene ist sehr sensibel. Die Umfrage von Schweiger und Sze-rencsits (2009) unter Landwirten in der Region Zürich zeigt, dass die Anbaubereitschaft für GVO stark von der Determinante «vermutete Nutzung durch [...] Nachbarn» sowie von der geltenden zivilrechtlichen Haftpflichtregelung in Bezug auf diese Anbaumethode abhängig ist. Die Zuckerfabriken Aarberg und Frauenfeld (ZAF) vermuten, dass die Akzeptanz der HT-Zuckerrübe im Falle eines gemeinsamen Maschinenparks und der gemeinsamen Nutzung von Transportressourcen problematisch wäre. Der Anbau von GVO-Zuckerrüben in einer Region würde sich also auf soziale und wirtschaftliche Netzwerke mit unterstützender Funktion auswirken.

Bewertung aller Szenarien: -1

Es wird davon ausgegangen, dass Landwirte, die HT-Zuckerrüben anbauen möchten, sowohl mit ihren Nachbarn als auch dem Abnehmer – den Verarbeitern ZAF – einen Konsens finden müssen. Die Hypothese eines potenziellen Konflikts konnte bei den Konsultationen mit der Branche nicht eindeutig widerlegt werden.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Agrarkultur

Der Einsatz der HT-Zuckerrübe geht einher mit flexibleren und weniger aufwendigen technischen Verfahren. Dies zahlt sich vor allem für Betriebe mit grösseren Flächen aus, die auch den Mehraufwand für die Koexistenz besser verkraften können (Speiser et al., 2013). Nach Ansicht der ZAF ist die HT-Zuckerrübe bei Landwirten in den USA vor allem wegen der damit einhergehenden Flexibilität so beliebt (ZAF, 2013).

Bewertung aller Szenarien: -1

Unter bestimmten Umständen wie zum Beispiel bei einer Resistenzentwicklung von Kräutern gegenüber bestimmten Herbiziden ist die Kenntnis der verschiedenen Schadpflanzen und des Wirkungsspektrums dieser Herbizide sehr wichtig. Beim Einsatz eines Totalherbizids könnte solches Wissen verlorengehen.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Innovationskraft

Die Zulassung von HT-Linien in der Schweiz würde eine Diversifizierung der Programme der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung, die sich für das Management invasiver Arten und anderer Unkräuter im Ackerbau interessieren, ermöglichen. Es ist sehr wichtig, dass eine solche Zulassung von einem soliden Monitoringprogramm begleitet wird, das eine optimale Wirksamkeit der gentechnisch herbeigeführten Eigenschaften ermöglichen würde. Durch solche Programme könnte sich die Schweiz als Agrarforschungsstandort weiter profilieren.

Bewertung aller Szenarien: +1***Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Vorleistungen (Saatgut)***

Aktuell gibt es in der Schweiz keine Zuckerrübenzüchtung und keine Zuckerrüben-Saatgutvermehrung (Liebegg, 2012). Saatgut der Schweizer Sortenliste (SFZ, 2013b) stammt von drei Unternehmen: Strube (Deutschland, 3 Sorten), KWS (Deutschland, 5 Sorten), Syngenta (Sitz Schweiz, 2 Sorten).

Bewertung aller Szenarien: 0

Die Möglichkeit, eine HT-Zuckerrübe anzubauen, hat keine Auswirkungen auf den Saatgutmarkt, wenn sämtliches Saatgut im Ausland produziert wird.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Vorleistungen (Pestizide, Dünger)

Da die im herkömmlichen Zuckerrübenanbau eingesetzten Herbizide durch Produkte auf Glyphosat-Basis ersetzt werden, wird eine entsprechende Verschiebung im Umsatz dieser Produkte vorhergesagt. Laut Agrarbericht 2012 ist die Zuckerrübe nach Obst und Kartoffeln jene Kultur, die am stärksten von Pestiziden (gemessen an der Wirkstoffmenge) abhängig ist (BLW, 2012). In unseren Szenarien werden bei den herbizidtoleranten Rüben weniger Wirkstoffe eingesetzt als beim Anbau herkömmlicher Rüben.

Bewertung aller Szenarien: -1

Beim Anbau von herbizidtoleranten Zuckerrüben werden weniger Wirkstoffe und geringere Wirkstoffmengen eingesetzt, was den Umsatz des Pflanzenschutzmittelmarktes reduziert.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Warenfluss, Identitätswahrung

Der Rübentransport erfolgt nach Angaben der Industrie immer im Kollektiv und daher in grossen Mengen. Eine effiziente Trennung wäre nur unter relativ hohem materiellem Aufwand möglich. In der Zuckerfabrik selbst ist eine Trennung in den derzeitigen Anlagen schwierig, da nur eine Produktionslinie vorhanden ist (nur ein Sammelbecken, fehlende Zellen für die getrennte Lagerung der Produkte ...). Deshalb müssten die GVO-Zuckerrüben zeitlich als letzte verarbeitet und entsprechend länger gelagert werden, was zu Lagerverlusten führen kann. Die Kennzeichnung des Zuckers wirft ebenfalls Probleme auf, da im Endprodukt Vermischungen nicht festzustellen sind.

Bewertung aller Szenarien: -2

Die Schaffung einer separaten Produktionslinie ist aufgrund der prohibitiv hohen Kosten derzeit problematisch.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – AbsatzmöglichkeitenBewertung aller Szenarien: -1

Durch die Monopolstellung der Zuckergewinnung in den ZAF wird die Errichtung einer neuen getrennten Wertschöpfungskette erschwert. Aufgrund der nicht gegebenen Absatzmöglichkeiten (sehr tiefe Akzeptanz der HT-Eigenschaft in der Bevölkerung (SBV, 2013), der schwierigen Rückverfolgbarkeit des Zuckers und seiner Nebenprodukte sowie der gesetzlichen Kennzeichnungspflicht (VGVL, 2005) sind die Marktperspektiven für Zucker aus gentechnisch veränderten Zuckerrüben in den zwei untersuchten Szenarien beschränkt.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Auswirkungen auf die Versorgung**Bewertung aller Szenarien: 0**

Zusätzlich zur inländischen Produktion wird in der Schweiz auch Zucker importiert. Die inländische Zuckerproduktion wird durch die Interprofession Zucker gesteuert. In Ermangelung eines signifikanten Mehrertrags würde der Selbstversorgungsgrad für Zucker mit grosser Wahrscheinlichkeit nicht gesteigert.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Kontrollstellen, -gewerbe**Bewertung aller Szenarien: +1**

Die Umsetzung von getrennten Verarbeitungslinien erfordert ein Kontrollsystem. Kontrollstellen bieten Dienstleistungen an, die je nach Umfang und Technik kostenintensiv sind: Eine quantitative Screeninguntersuchung eines Lebensmittels auf GVO kostet beispielsweise je Probe ca. 200 CHF. Eine detaillierte Untersuchung im Fall einer Positivprobe ist mit erheblichen Mehrkosten verbunden (SCNAT, 2013). Eine Untersuchung ermittelt einen Anteil an Analyse- und Kontrollkosten von 8 % an den Zusatzkosten für die Trennung (Moder et al., 2004). Demnach steigern Unternehmen aus der Kontroll- und Zertifizierungsbranche ihre Umsätze, wenn neue Aufgaben und Auftraggeber hinzukommen.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit**Bewertung aller Szenarien: 0**

Die Beschaffung von Rohstoffen für die Weiterverarbeitung verbindet das Agribusiness mit der Landwirtschaft, indem die nachgelagerten Unternehmen ihre Präferenzen in Verhandlungen mit den Landwirten kundtun. Wenn GVO zur Verwendung als Futter- und/oder Lebensmittel zugelassen sind, können Händler sowie Verarbeiter ggf. auch auf Importware zurückgreifen (falls eine entsprechende Zulassung in der EU vorliegt).

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Auswirkungen auf KMU**Bewertung aller Szenarien: -1**

In der Wertschöpfungskette von Rübenzucker sind im Produktionsprozess bis zum Produkt Zucker kaum KMU involviert. In der Zuckerproduktion gibt es nur sehr wenige Unternehmen. Neben der Verarbeitung durch die ZAF gibt es noch die Zuckermühle Rapperswil. Diese verarbeitet Rübenzucker aus der Schweiz, Frankreich und Deutschland sowie Rohrzucker. Abnehmer der Mühle Rapperswil ist beispielsweise McDonalds.

In der nachgelagerten Verarbeitung von Zucker, auf der Stufe der Bäckereien und Süswarenhersteller, sind hingegen sehr viele KMU aktiv. Wirtschaftliche Auswirkungen treten ein, wenn sich die Unternehmen entscheiden müssen, ob sie eine Trennung von GVO und gentechnikfreier Ware durchführen oder sich auf eine einzige Kategorie beschränken. Es ist möglich, dass manche Unternehmen infolge dieser Koexistenz mit Schwierigkeiten oder höherem Aufwand konfrontiert werden.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Image

Im In- und Ausland geniessen Produkte aus der Schweizer Landwirtschaft einen sehr guten Ruf. Dieser wird unter anderem der Qualität der Produkte zugeordnet, die bis heute frei von GVO sind. Diese Eigenschaft wird auch in der Charta zur Qualitätsstrategie der Schweizerischen Land- und Ernährungswirtschaft, die von Bauernverbänden, Labelverbänden und den führenden Detailhändlern unterzeichnet wurde, aufgeführt. Aus dem Verzicht auf Gentechnik ergeben sich aus Sicht der Branche wichtige Marktchance.

Bewertung aller Szenarien: -2

Der Mehrwert, den sich die Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft durch den allgemeinen Verzicht auf GVO verspricht, würde durch den Anbau von GVO in der Schweiz verlorengehen. Die Eigenschaft «Herbizidtoleranz» ist zudem bei den Konsumenten mit negativen Assoziationen verbunden.

Konsumenten – Wahlfreiheit

Um die Wahlfreiheit der Konsumenten zu ermöglichen, müssen die spezifischen Merkmale jedes vermarkteten Produkts deklariert werden. Das GVO-Anbauverbot wird als eine Einschränkung der Wahlfreiheit der Konsumenten betrachtet (Bonfadelli, 2010).

Bewertung aller Szenarien: +1

Wenn GVO-Produkte erhältlich sind, dann ergibt sich eine grössere Wahlfreiheit und die Konsumenten können zum Zeitpunkt des Kaufs eine Entscheidung treffen.

Konsumenten – Gesundheitswert

Im Anbau von herbizidtoleranten Zuckerrüben wird ein Totalherbizid auf Glyphosatbasis in Verbindung mit teilweise ebenfalls toxischen Begleitstoffen eingesetzt (BfR, 2013, Mesnage et al., 2013). Zudem besteht eine anhaltende Kontroverse bezüglich der möglichen krebserzeugenden Wirkung von Glyphosat. Untersuchungen verschiedener europäischer Gesundheitsagenturen kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen (IARC_2015, EFSA_2015). Wichtig ist hier der Hinweis, dass die Verwendung von Glyphosat in diesen Szenarien den Einsatz von anderen, nicht weniger toxischen Herbiziden verhindern könnte. Der Gehalt von Herbizidrückständen in den Endprodukten unterliegt jedoch strenge Kontrollen und Regelungen.

Bewertung aller Szenarien: 0

Die beim Anbau von GVO-Zuckerrüben applizierten Herbizide sind nicht toxischer als die im herkömmlichen Anbau eingesetzten Herbizide.

Konsumenten – Akzeptanz

Im Verkaufsexperiment von Aerni et al. (2011) zeigte sich, dass Schweizer Konsumenten unter gewissen Umständen auch Brot aus GVO-Mais kaufen würden. Dennoch ist die Ablehnung der Konsumenten gross (mündliche Mitteilung von SKS und FRC). Die Eurobarometerumfrage ergab, dass GVO auch in der Schweiz nicht befürwortet werden (65 % Ablehnung, 2015). Die Mehrheit der Konsumenten sieht keine Vorteile in GVO-Lebensmitteln oder hält sie für bedenklich beziehungsweise schädlich (Eurobarometer, 2010a).

Die Vorteile der Eigenschaft «Herbizidtoleranz» sind im Vergleich zu einer Schädlingsresistenz schwieriger zu kommunizieren (SBV, 2013).

Bewertung aller Szenarien: -2

Die Akzeptanz von GVO durch die Konsumenten ist aktuell tief. Zucker, der aus dem Anbau von herbizidtoleranten Zuckerrüben stammt, würde wahrscheinlich nicht oder kaum akzeptiert.

Konsumenten – Preisniveau

Das Preisniveau für den Abnehmer steigt, wenn höhere Produktionskosten sowie Kosten für Massnahmen zur Warenflusstrennung weitergegeben werden (Price et al., 2003). Die Preisbildung kann nur vermutet werden; tatsächlich sind GVO von mehreren Labelprogrammen ausgeschlossen. Die Kennzeichnung von Zucker aus GVO-Rüben wäre obligatorisch. Die ZAF geht derzeit nicht davon aus, dass Zucker aus GVO-Rüben zu einem anderen Preis verkauft werden kann als Zucker aus herkömmlichem Rübenanbau. Die Frage des zukünftigen Zusammenhangs zwischen GVO-Freiheit und Swissness als Label ist offen.

Bewertung aller Szenarien: -1

Da die Warenflusstrennung hohe Kosten verursacht, kann man davon ausgehen, dass zumindest ein Teil dieser Kosten auf die Produkte (GVO, gentechnikfrei) übertragen werden. Preisnachteile sind wahrscheinlich, wenn die Kosten der Warenflusstrennung nicht durch Ertragsvorteile ausgeglichen werden.

3.2.3.2 Umweltkriterien

Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – UZL (Umweltziele Landwirtschaft)-Arten

Bewertung Szenario A: -1

Beim Anbau von herbizidtoleranten Zuckerrüben im Szenario A ersetzt Glyphosat eine Mischung von Wirkstoffen (Metamitron, Phenmedipham, Ethofumesat und Desmedipham), die zur Unkrautbekämpfung verwendet werden. Insgesamt reduziert sich beim HT-Anbau die Menge ausgebrachten aktiven Wirkstoffes von 3.9 kg/ha auf 2.16 kg/ha. (Tabelle 6 und 7).

Feldversuche in Grossbritannien, die sogenannten *Farm Scale Evaluations (FSE)* haben gezeigt, dass Glyphosat Unkräuter effizienter bekämpfen kann, als das Pflanzenschutzmanagement im herkömmlichen Anbau (Champion, 2011). Diese verbesserte Unkrautkontrolle kann indirekt einen negativen Effekt auf Vogelarten haben: Weniger Pflanzen entwickeln insgesamt weniger Samen, welche für gewisse Vogelarten eine wichtige Nahrungsquelle darstellen können (Gibbons et al., 2006, Chamberlain et al., 2007, Jahn et al., 2013, Auskunft der Schweizerischen Vogelwarte per Mail, Dezember 2013). Dieser Effekt ist unabhängig von der Zuckerrübensorte und einzig auf die effizientere Unkrautbekämpfung zurückzuführen.

Die Daten zur (akuten, aber vor allem chronischen) Toxizität von Glyphosat sowie von anderen herkömmlichen Herbiziden und ihren Adjuvantien (Typ POEA, siehe oben) auf Säugetiere (Hasen, Biber ...), Vögel, Reptilien, Amphibien, Insekten und Fische sind lückenhaft. Was an Informationen vorliegt, deutet auf eine niedrige bis mittlere chronische Toxizität hin (Duke und Powles, 2008). Ein genauer toxikologischer Vergleich zwischen Glyphosat und seinen Adjuvantien und den im herkömmlichen Anbau genutzten Herbiziden ist gemäss heutigem Wissensstand schwierig (Poletta et al., 2009, Relyea und Jones, 2009, Mamy et al., 2010). Es wird deshalb unterstellt, dass der Einfluss der GVO-Systeme und der herkömmlichen Systeme auf die Ökosysteme gleich bleibt.

Wie sich die Herbizide, das veränderte Pflanzenschutzmanagement und die verbesserte Unkrautkontrolle auswirken, kann aufgrund fehlender Daten nur teilweise beurteilt werden. Sie können aber die Vielfalt der Arten von Flechten, Moosen und Pilzen beeinflussen (Newmaster et al., 1999).

Die verbesserte Unkrautkontrolle im HT-Zuckerrübenanbau korreliert negativ mit der Häufigkeit von mit Unkräutern assoziierten Insekten (z. B. Schmetterlingen) (Haughton et al., 2003). Analog zu den Vögeln gibt es bei solchen Insektenarten ebenfalls eine positive Korrelation mit dem Vorhandensein von Unkräutern, welche ihnen als Lebensraum dienen können.

Schliesslich gehen durch die verbesserte Unkrautbekämpfung ökologische Nischen verloren, vor allem für Vögel, was insgesamt einen negativen Einfluss auf das gesamte Ökosystem haben könnte.

Bewertung Szenario B: -1

Beim Anbau von HT-Zuckerrüben im Szenario B ersetzt der Wirkstoff Glyphosat die im herkömmlichen Anbau eingesetzten Substanzen. Gesamthaft reduziert sich beim HT-Anbau die Menge aktiven Wirkstoffes um mehr als die Hälfte (von 4.57 kg/ha auf 2.16 kg/ha., Tabelle 7)

Die bei starkem Befall verwendeten zusätzlichen Herbizide (Chloridazon, Dimethenamid und Triflusaluron-methyl) sind moderat bis geringfügig akut toxisch für Vögel, Reptilien, Säugetiere und Amphibien (SIS, 2013). Es sind keine Daten zur chronischen Toxizität dieser Substanzen und ihrer Tenside (Erdöl) verfügbar.

Analog zum Szenario A führt die verbesserte Unkrautbekämpfung zu einem Verlust an Diversität und Nischen für die Tierwelt, vor allem für Vögel, was insgesamt einen negativen Einfluss auf das gesamte Ökosystem haben könnte.

Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – Genfluss auf verwandte Wildpflanzen und Invasivität in natürliche Habitate

Bewertung aller Szenarien: 0

Die Zuckerrübe besitzt keine verwandten Wildpflanzen in der Schweiz, womit ein Genfluss auf verwandte Wildarten ausgeschlossen werden kann (Sweet und Bartsch, 2012). Die Herbizidtoleranz führt nicht a priori zu einem Fitnessvorteil in natürlichen Habitaten, deshalb ändert sich auch die Invasivität gegenüber herkömmlichen Zuckerrüben nicht (Sweet und Bartsch, 2012). Der Anbau von HT wird in diesem Kriterium deswegen gleichwertig bewertet wie der Anbau von herkömmlichen Zuckerrüben.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – BestäuberBewertung Szenario A: -1

Beim Anbau von HT-Zuckerrüben werden keine Insektizidapplikationen eingespart und die akute Toxizität der verwendeten Herbizide wird bei beiden Verfahren als gleichwertig bewertet. Die Verringerung der Art und Menge der Unkräuter kann einen direkten Effekt auf die Bestäubung haben (Hawes et al., 2003), auch wenn Feldversuche keine Veränderungen in den Bestäuberpopulationen am Rand von HT-Zuckerrüben-Feldern zu Tage gefördert haben (Roy et al., 2003). Es wird eine verringerte Bestäubung beim Anbau von HT-Zuckerrüben erwartet.

Bewertung Szenario B: -1

Die Bewertung von Szenario B erfolgt analog zu Szenario A.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Natürliche SchädlingsbekämpfungBewertung Szenario A: -1

Glyphosat und die Herbizide, die es ersetzt (Tabelle 6), sind nur leicht bis moderat toxisch für nützliche Insekten (die parasitische Wespe *Aphidius rhopalosiphi*, die Raubmilbe *Typhlodromus pyri* und die Florfliege *Chrysoperla carnea*).

Eine positive Korrelation zwischen Unkrautbiomasse und der Anzahl bestimmter räuberischer Arthropoden wie z. B. Kurzflügler und Laufkäfer wurde beobachtet (Hawes et al., 2003). Generell führt die Unkrautkontrolle zu reduzierter Unkrautbiomasse und zu geringerer Arthropodenhäufigkeit, inklusive nützlicher Arten (Bigler und Albajes, 2011).

In Feldern mit HT-Zuckerrüben wurden am Ende einer Anbausaison weniger Parasitoide als im konventionellen Anbau (Hawes et al., 2003) gefunden. Die Unterschiede im Pflanzenschutzmanagement zwischen dem Anbau von HT-Zuckerrüben und dem herkömmlichen Zuckerrübenanbau fallen jedoch deutlich weniger ins Gewicht als beispielsweise die unterschiedlichen saisonalen Bedingungen.

Beim Anbau von HT-Zuckerrüben hat die Reduktion wichtiger Ressourcen (Lebensraum und dort ansässige Beute) negative Auswirkungen auf die in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzten Nützlinge.

Bewertung Szenario B: -1

Die Bewertung von Szenario B erfolgt analog zu Szenario A.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem BodenBewertung Szenario A: 0

Die akute und chronische Toxizität von Glyphosat für Erdwürmer und Nematoden ist, wie auch diejenige der Wirkstoffe Metamitron, Phenmedipham, Ethofumesat, und Desmedipham, moderat. Einzig Ethofumesat hat gewisse Auswirkungen auf die Kohlenstoff- und Stickstoffmineralisation (s. Kriterium *Ressourcen*).

Die Erdwürmer- und Nematodenpopulationen werden vorrangig durch die Art der Bodenbearbeitung und die Wetterbedingungen beeinflusst, die in den verschiedenen Szenarien vergleichbar sind (Squire et al., 2003).

In beiden Anbausystemen sind keine bzw. nur geringfügige Auswirkungen auf Bodenorganismen und deren Funktionen im zu beobachten.

Bewertung Szenario B: 0

Keine erhöhte Toxizität der im herkömmlichen Anbau zusätzlich verwendeten Herbizide für die Ökosysteme des Bodens.

Die Bewertung von Szenario B erfolgt analog zu Szenario A.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem WasserBewertung Szenario A: 0

Glyphosat und seine Adjuvantien sowie die Wirkstoffe der im herkömmlichen Zuckerrübenanbau eingesetzten Herbizide sind wenig bis moderat akut toxisch für Fische, aquatische Invertebraten, Krustentiere und Algen.

Die Änderung des Herbizid-Moleküls im technischen Verfahren hat wenig oder keine Auswirkungen auf die Wasser-Ökosysteme.

Bewertung Szenario B: 0

Die Bewertung von Szenario B erfolgt analog zu Szenario A.

Umweltqualität – Luft – Treibhausgase – KohlendioxidBewertung Szenario A: +1

Der Einsatz der HT-Zuckerrübe bietet mehr Flexibilität und Einsparungen bei den Spritzfahrten. Durch die Koexistenz bedingte zusätzliche Transportwege erfolgen auf der Schiene. Es resultiert eine geringfügig bessere Bewertung für den Anbau von HT-Zuckerrüben im Szenario A.

Bewertung Szenario B: +1

Keine zusätzlichen Spritzfahrten im Vergleich zu Szenario A
Die Bewertung von Szenario B erfolgt analog zu Szenario A.

Umweltqualität – Luft – Treibhausgase – StickoxideBewertung aller Szenarien: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – AmmoniakBewertung aller Szenarien: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – Stickoxide**Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – Dieselruß**Bewertung Szenario A: +1

Der Einsatz der HT-Zuckerrübe bietet mehr Flexibilität und Einsparungen bei den Spritzfahrten. Durch die Koexistenz bedingte zusätzliche Transportwege erfolgen auf der Schiene. Es resultiert eine geringfügig bessere Bewertung für den Anbau von HT-Zuckerrüben im Szenario A.

Bewertung Szenario B: +1

Keine zusätzlichen Spritzfahrten im Vergleich zu Szenario A
Die Bewertung von Szenario B erfolgt analog zu Szenario A.

Manganmangel bei glyphosatresistenten Zuckerrüben

Der Mikronährstoff Mangan ist essenziell für den pflanzlichen Stoffwechsel und die Entwicklung von Pflanzen (Hänsch und Mendel, 2009). Erfahrungen beim Anbau von Glyphosat-toleranten Kulturpflanzen und insbesondere von Sojabohnen weisen darauf hin, dass Glyphosat die Aufnahme von Mikronährstoffen beeinträchtigen und Manganmangel hervorrufen kann; allerdings sind diese Ergebnisse zum Teil umstritten (Cakmak et al., 2009). Aus diesem Grund empfiehlt der Hersteller (Monsanto) die Applikation gewisser Mikronährstoffe im Nachgang zur Behandlung (Huber, 2007). Allerdings lässt sich das Auftreten von Manganmangelsymptomen bei Soja offenbar nicht auf die Zuckerrübe übertragen (Holtschulte et al., 2011). Bei der Evaluation der herbizidtoleranten Zuckerrübe wird davon ausgegangen, dass sich der Nährstoffhaushalt im Vergleich zur herkömmlichen Rübe nicht verändert und keine zusätzlichen Mikronährstoffdüngungen notwendig sind. Dies müsste unter Schweizer Anbaubedingungen noch experimentell bestätigt werden.

Umweltqualität – Wasser – DüngerabflussBewertung aller Szenarien: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements
(Siehe Kasten «Manganmangel bei herbizidtoleranten Zuckerrüben»).

Umweltqualität – Wasser – PestizidabflussBewertung Szenario A: +1

Die geringere Belastung der Ressource Wasser durch die reduzierte Menge ausgebrachten aktiven Wirkstoffes (Tabelle 6) und die gegenüber den herkömmlichen Mitteln nicht erhöhte Toxizität für

Wasserorganismen von Glyphosat führen dazu, dass der Anbau von HT geringfügig besser als der herkömmliche Zuckerrübenanbau bewertet wird.

Bewertung Szenario B: +2

Das Potenzial über abfließendes Regenwasser in Gewässer transportiert zu werden ist bei Glyphosat und bei Ethofumesat mittelhoch, bei Metamitron, Phenmedipham, Chloridazon, Dimethenamid und Triflursulfuron-methyl gering. Das Potenzial, ins Grundwasser zu sickern, ist hingegen bei Metamitron und Ethofumesat hoch (PPDB). Die Verringerung der Art und Menge der ausgebrachten Wirkstoffe bewirkt, dass der Anbau von HT-Zuckerrüben bezüglich der Pestizidrückstände im Wasser deutlich weniger ins Gewicht fällt als der herkömmliche Zuckerrübenanbau (Daouk et al., 2013).

Umweltqualität – Boden – Physische Belastung – Erosion

Bewertung aller Szenarien: 0

Gemäss Direktzahlungsverordnung gelten in der Schweiz die Direkt-, die Streifenfräs-, die Streifen- und die Mulchsaat als schonende Bodenbearbeitung (DZV, 2014). Gegenüber der herkömmlichen Bodenbearbeitung mit Pflugeinsatz können solche Methoden gewisse Umweltauswirkungen des Ackerbaus verringern. So können dadurch u. a. die Stabilität und die Struktur des Bodens verbessert, die Erosion und der Oberflächenabfluss verhindert, der Energieverbrauch gesenkt und die CO₂-Emissionen verringert werden (Holland, 2004).

Beim Anbau von Zuckerrüben in der Schweiz wird neben der herkömmlichen Bodenbearbeitung mit Pflug vor allem die Mulchsaat eingesetzt, während die Direktsaat vergleichsweise wenig praktiziert wird (mündliche Auskunft der Fachstelle für Zuckerrübenbau SFZ, 2013). Dies lässt sich jedoch nicht nur auf die dabei erschwerte Unkrautkontrolle zurückführen, sondern hat auch damit zu tun, dass die Zuckerrübe hohe Ansprüche an ihr Saatbeet stellt. Eine schonendere Bodenbearbeitung (v.a. die Direktsaat) ist besonders auf schweren, nicht durchlässigen Böden schwierig und oft nicht praktikabel (SFZ, 2003) und führt bei den klimatischen Verhältnissen in der Schweiz lediglich zu einer geringen Kohlenstoffbindung (Soane et al., 2012).

Generell kann der Anbau von herbizidtoleranten Kulturpflanzen eine schonendere Bodenbearbeitung begünstigen, denn so können Unkräuter weiterhin effektiv bekämpft werden. In den USA wurden durch den Anbau von HT-Zuckerrüben schonendere Bodenbearbeitungsmethoden gefördert und das Pflügen reduziert (Kniss, 2010, Stachler et al., 2011). Wo der Boden dies zulässt, wird die schonende Bodenbearbeitung im schweizerischen Zuckerrübenbau bereits heute angewandt.

Der Anbau von herbizidtoleranten Zuckerrüben hat verglichen mit dem herkömmlichen Zuckerrübenanbau keinen Einfluss auf die Bodenbearbeitung und somit auch keinen Einfluss auf die Erosion, welche dadurch entstehen kann (siehe Box «schonende Bodenbearbeitung im Zuckerrübenanbau»).

Umweltqualität – Boden – Physische Belastung – Verdichtung

Bewertung aller Szenarien: +1

Die Verringerung der Anzahl Feldbefahrungen für die Ausbringung von Herbiziden von drei auf zwei führt zu einer Reduktion der Bodenverdichtung.

Umweltqualität – Boden – Chemische Belastung – Dünger

Bewertung aller Szenarien: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements

Umweltqualität – Boden – Chemische Belastung – Pestizide

Bewertung Szenario A: +1

Reduktion der Menge ausgebrachten aktiven Wirkstoffes und gegenüber den herkömmlichen Mitteln nicht erhöhte Toxizität von Glyphosat für Bodenorganismen. Der Anbau von HT wird geringfügig besser bewertet als der herkömmliche Zuckerrübenanbau.

Bewertung Szenario B: +2

Geringere Belastung der Ressource Boden durch die um mehr als die Hälfte reduzierte Menge ausgebrachten aktiven Wirkstoffes und die gegenüber den herkömmlichen Mitteln nicht erhöhte Toxizität von Glyphosat für Bodenorganismen. Der Anbau von HT wird als substantiell besser bewertet als der herkömmliche Zuckerrübenanbau.

Ressourcenbedarf – WasserBewertung aller Szenarien: 0

Kein Einfluss auf die Verwendung der Ressource Wasser.

Ressourcenbedarf – EnergieBewertung aller Szenarien: -2

Die Kosten für die Koexistenzmassnahmen (Transport, Lagerstätten, Trennungseinrichtungen) würden zu einem erhöhten Bedarf an Energie und mithin zu einem Nachhaltigkeitsverlust führen.

Ressourcenbedarf – LandBewertung aller Szenarien: +1

Dieses Kriterium ist ertragsabhängig und es ist von einem besseren Ertrag pro Flächeneinheit auszugehen (damit der Landwirt zu dieser HT-Sorte greift). Die Ertragswirksamkeit der HT-Eigenschaft ist allerdings bescheiden (Fernandez - Cornejo et al., 2014).

Ressourcenbedarf – PestizideBewertung Szenario A: +1

Durch die Reduktion der Pestizid-Applikation (Tabelle 6) reduziert sich der Bedarf an aktiven Wirkstoffen (Verbesserung des Kriteriums der Nachhaltigkeit).

Bewertung Szenario B: +2

Die Reduktion der Pestizid-Applikation ist bei starkem Unkrautbefall grösser (kein zusätzlicher Herbizideinsatz, Tabelle 7). Der Pestizidbedarf ist entsprechend geringer (starke Verbesserung der Nachhaltigkeit).

Ressourcenbedarf – DüngerBewertung aller Szenarien: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements.

3.2.4 Zusammenfassung der Nachhaltigkeitsanalyse für die HT-Zuckerrübe

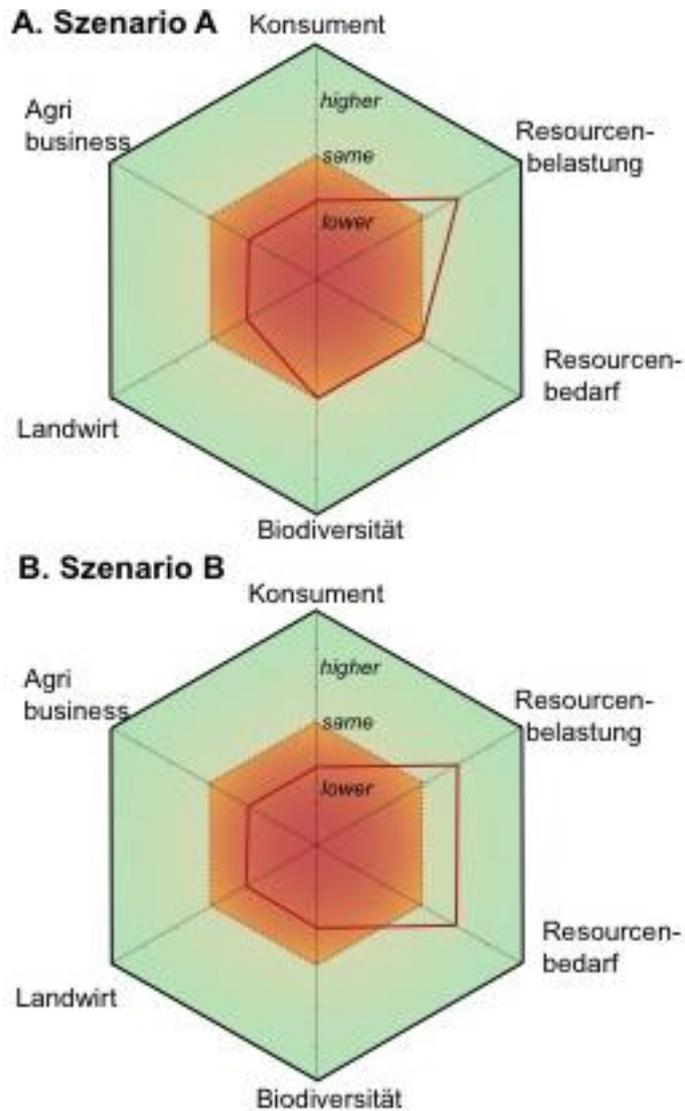
Die zwei Szenarien zum Einsatz der HT-Zuckerrübe zeigen nach der Analyse durch unser MCDA-Modell eine wesentlich geringere Nachhaltigkeit in der sozioökonomischen Dimension als die herkömmlichen Systeme (Abbildung 5). Der Einsatz einer GVO-Sorte wirkt sich negativ auf die drei Hauptkomponenten Landwirte, Agribusiness und Konsumenten aus. Die Ergebnisse der Konsultationen mit der Zuckerindustrie (im Wesentlichen die Zuckerfabriken Aarberg und Frauenfeld) zeigen, dass eine Anpassung der vorhandenen Strukturen zur Trennung der Warenflüsse so grosse Auswirkungen hätte, dass auf einen Anbau von GVO verzichtet werden könnte. Die Warenflusstrennung und die Qualitätskontrollen sind für die Zuckerindustrie zentral. Aufgrund des Beitrags der Gentechnikfreiheit zum positiven Image der Schweizer Landwirtschaft und ihrer Produkte bleibt offen, ob KMU und andere Unternehmen sich für GVO öffnen. Berücksichtigt man darüber hinaus, dass nicht klar ist, ob die Eigenschaft «HT» bei der Zuckerrübe einen agronomischen Nutzen im Sinne eines Ertragsvorteils bringt (siehe Abschnitt 3.2.3.2) und die potenziellen agronomischen Vorteile (aufgrund der damit verbundenen Verwendung eines Totalherbizids) den Konsumenten nur schwer zu vermitteln sind, so wird deutlich, dass der Anbau von HT-Zuckerrüben wirtschaftlich kaum tragfähig ist.

Aus ökologischer Sicht ist die Nachhaltigkeit des Anbaus von HT-Zuckerrüben proportional zum Unkrautbestand im Feld. In beiden Szenarien haben die weniger aufwendigen technischen Verfahren und die Ersetzung der aktiven toxischen Moleküle durch das Glyphosat positive Auswirkungen auf die Ressourcenbelastung und -nutzung (nur Szenario B). Keines der beiden hier vorgestellten Szenarien beinhaltet Methoden wie den pfluglosen Anbau. Diese sind in der Schweiz zwar zugelassen, aber wenig gebräuchlich. Der Beitrag der HT-Zuckerrüben an die Umweltqualität ist zwiespältig: Einerseits wirkt sich die Eindämmung der Unkräuter durch den Einsatz eines Totalherbizid negativ auf die biologische Vielfalt aus, andererseits hat die Vereinfachung der technischen Verfahren positive Auswirkungen auf die Erosion und die Verdichtung des Bodens. Anzumerken ist, dass das verwendete Modell (MCDA) die Dauerhaftigkeit der Resistenz im Zeitverlauf (Auftreten von HT-Unkräutern) und die Aus-

wirkungen der Fruchtfolge auf die konkurrierenden Populationen nur unzureichend wiedergibt (Speiser et al., 2013).

Fazit: Ohne die Garantie markant höherer Erträge besteht kaum Aussicht, dass sich die HT-Zuckerrübe für die Schweizer Landwirtschaft als wirtschaftlich tragfähig erweist (siehe Sensitivitätsanalyse, Abbildung 7), und dies trotz des nachweislich vorhandenen Problems im Bereich der Unkrautkontrolle.

Abbildung 5. Bewertung der herbizidtoleranten Zuckerrübe H7-1, Szenario A.



3.3 Kraut- und Knollenfäule-resistente (KKR)-Kartoffel

3.3.1 Einleitung

In der Schweiz werden seit 2010 jährlich ca. 11 000 ha Kartoffeln angebaut (BLW, 2013). Dies entspricht einem deutlichen Rückgang gegenüber früher. So wurden 1965 fast dreimal mehr Kartoffeln produziert als heute (swisspatat, 2014). Diese Entwicklung ist darauf zurückzuführen, dass die Bedeutung der Kartoffel auf dem Speiseplan der Schweizerinnen und Schweizer an Wichtigkeit verloren hat: Jährlich werden ca. 43 kg Kartoffeln pro Kopf verzehrt (LID, 2014). Von ca. 450 000 Tonnen geernteten Kartoffeln finden ca. je ein Drittel als Speisekartoffel und als Veredelungskartoffeln Verwendung (BLW, 2013).

Die durch den Pilz *Phytophthora infestans* verursachte Kraut- und Knollenfäule ist die wichtigste Kartoffelkrankheit und kann, wenn der Befall früh und stark ausfällt, eine Kartoffelernte vollständig vernichten. Man geht davon aus, dass jährlich 20 % der weltweiten Kartoffelernte durch die Kraut- und Knollenfäule verloren gehen. Der Kraut- und Knollenfäule-Druck variiert von Jahr zu Jahr, hauptsächlich aufgrund der Wetterbedingungen. In der Schweiz wird die Krankheit effizient mit Fungiziden bekämpft, wenn auch unter hohem Aufwand. Die Landwirte werden durch das Online-Tool «Phytopre» (www.phytopre.ch) in der Bekämpfung unterstützt. Aufgrund der aktuellen Befallslage und des Wetters erstellt Phytopre Prognosen über das Aufkommen des Pilzes und Empfehlungen für dessen Bekämpfung.

Die Sorte Agria, die Hauptsorte der Schweizer Kartoffelproduzenten (VSKP, 2013), wurde 2013 auf 22 % der Schweizer Kartoffelflächen angebaut (swisspatat, 2014). Sie ist anfällig für die Kraut- und Knollenfäule. Hauptsächlich wird sie für die Veredelung zu Pommes frites und Chips verwendet. Agria war die Züchtungsgrundlage für die Sorte Fontane (Hebeisen et al., 2013). Die Kartoffelsorte Fontane wiederum war Grundlage für die Entwicklung der transgenen Kraut- und Knollenfäule-resistenten Kartoffelsorte Fortuna (Biotechnologie.de, 2011).

In die Fortuna-Kartoffel wurden zwei Gene der mexikanischen Wildkartoffelart *Solanum bulbocastanum*, *Rpi-blb1* und *Rpi-blb2* eingeschleust. Die beiden Gene spielen eine Rolle in der pflanzeigenen hypersensitiven Reaktion: Das Aufkommen des Pilzes induziert unmittelbar den lokalen Zelltod, wodurch die Infektion gestoppt wird. Die Firma BASF hat im November 2011 einen Antrag auf die Zulassung der Fortuna-Kartoffel zum Anbau und zur Vermarktung als Lebensmittel und Futtermittel eingereicht. Im Januar 2013 hat die Gesuchstellerin diesen sowie alle anderen hängigen Anträge bei der europäischen Zulassungsbehörde zurückgezogen. Begründet wird der Rückzug mit strategischen Überlegungen: Angesichts der Komplexität des Zulassungsverfahrens und des Widerstands einer breiten Öffentlichkeit sieht die Firma für die nächste Zeit zu wenig Chancen auf dem europäischen Markt.

Geplante Freisetzungsversuche mit KKR-Kartoffeln

Im Jahr 2015 wurden Anbauversuche mit KKR-Kartoffeln auf dem «Protected Site» am Agroscope-Standort Zürich-Reckenholz durchgeführt. Es handelt sich dabei um mehrere Kartoffel-Linien, welche unterschiedliche Resistenzgene tragen. Diese wurden von der Universität Wageningen entwickelt (Jo et al., 2013). Es soll untersucht werden, ob die im geschlossenen System beobachtete Resistenz auch im Freien greift (Agroscope, 2014b). Die ersten Ergebnisse werden derzeit ausgewertet.

3.3.2 Szenario

Es wird angenommen, dass in beiden Szenarien die konventionelle Sorte Agria und die GV-Sorte Fortuna zur Produktion von Pommes Frites angebaut werden. Beim Anbau von KKR-Kartoffeln finden im Vergleich zu herkömmlichen Sorten ausser der veränderten Krankheitsbekämpfung keine weiteren Änderungen (z. B. bei der Düngung, Bewässerung, Unkrautbekämpfung, Bodenbearbeitung) im Anbau statt. Es wird von einem durchschnittlichen Befall durch *Phytophthora infestans* ausgegangen. Basierend auf den Annahmen von Speiser et al. (2012) werden beim Anbau von resistenten Fortuna-Kartoffeln, verglichen mit der Produktion von anfälligen Agria-Kartoffeln, Pestizidapplikationen reduziert (siehe Tabelle 8).

Weiter gelten folgende Annahmen:

- Alle anderen Pflanzenschutzmassnahmen bleiben beim Anbau von Fortuna-Kartoffeln gleich wie

beim Anbau von Agria. Gesamthaft erfolgt eine Reduktion der Fungizidapplikationen von acht auf drei.

- Während des Anbaus wird durchschnittliches Wetter ohne länger anhaltende Nässeperioden angenommen, daraus folgt ein durchschnittlicher *Phytophthora infestans*-Befall
- Der Einsatz von Fungiziden schützt auch die Agria-Kartoffeln erfolgreich gegen einen Schaden durch die Kraut- und Knollenfäule.
- Die bei Kartoffeln üblichen Gewichtsverluste während der Lagerung (~1 % pro Monat (DBK, 2010) sind bei Fortuna-Kartoffeln gleich wie bei Agria.
- Für gentechnisch veränderte Kartoffeln gelten dieselben Qualitäts- und Handelsbestimmungen wie für herkömmliche Kartoffeln.
- Es wird angenommen, dass beim Transport in den nachgelagerten Bereich keine längeren Transportwege anfallen.
- Es wird angenommen, dass für die Veredelung zu Pommes frites keine zusätzlichen Produktionsstätten errichtet werden, sondern dass der Warenfluss bei der Lagerung der Kartoffeln räumlich und im Veredelungsprozess zeitlich auf bereits vorhandenen Produktionslinien getrennt wird.
- Für die Evaluation wird angenommen, dass die Veredelung der GVO-Kartoffeln nach der Verarbeitung herkömmlicher Kartoffeln erfolgt und vor der ausführlichen wöchentlichen Reinigung. Diese bereits heute stattfindende Reinigung der Produktionsanlage ist effektiv und ausreichend, um danach herkömmliche Kartoffeln ohne Vermischungsrisiko verarbeiten zu können.
- Die Kartoffelverarbeiter schliessen wie gehabt mit den Landwirten Anbauverträge ab.

Tabelle 8. Fungizidanwendungen zur Kontrolle der Kraut- und Knollenfäule im Kartoffelbau

| Anbausystem | Produkt | Spritzfahrten, Dosierung (l, kg / ha) | Wirkstoffmenge (g / l, kg) | Beistoffe | Menge aktiver Wirkstoff (kg / ha) | Preis Produkt (CHF / l, kg) | Preis (Gesamtmenge) CHF |
|---------------|-----------------|---------------------------------------|--|---------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Konv. | Consento | 3 x 2.0 | 375 Propamocarb hydrochlorid 75 Fenamidon | nicht bekannt | 2.70 | 32.5 | 195 ¹⁰ |
| | Acrobat MZ WG | 2 x 2.5 | 667 Mancozeb 75 Dimethomorph | nicht bekannt | 3.71 | 31.6 | 158 ¹¹ |
| | Dithiane Neotec | 3 x 3.0 | 750 Mancozeb | Méthénamine | 4.5 | 18.3 | 165 ¹² |
| Total: | | | | | 10.91 | | 518 |
| GVO | Consento | 1 x 2.0 | 375 Propamocarb hydrochlorid 75 Fenamidon | nicht bekannt | 0.90 | 32.5 | 65 |
| | Acrobat MZ WG | 1 x 2.5 | 667 Mancozeb 75 Dimethomorph | nicht bekannt | 1.855 | 31.6 | 79 |
| | Dithiane Neotec | 1 x 3.0 | 750 Mancozeb | Methenamin | 1.5 | 18.3 | 55 |
| Total: | | | | | 4.255 | | 199 |

¹⁰ Strickhof, Pflanzenschutzmittel im Feldbau (Strickhof, 2014).

¹¹ Strickhof, Pflanzenschutzmittel im Feldbau (Strickhof, 2014).

¹² Strickhof, Pflanzenschutzmittel im Feldbau (Strickhof, 2014).

3.3.3. Bewertung der Nachhaltigkeit

3.3.3.1. Sozioökonomische Kriterien

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Produktionskosten

Bewertung: 0

Das Ertragspotenzial der gegen Kraut- und Knollenfäule resistenten Kartoffelsorte Fortuna wird als gleich gross eingeschätzt wie jenes der herkömmlichen Kartoffelsorte Agria. Allgemein sind die Ertragsverluste, welche durch die Kraut- und Knollenfäule entstehen können, stark von den saisonalen Bedingungen abhängig (so fördert z. B. Feuchtigkeit die Entwicklung des Pilzes). Sie werden durch den Einsatz von Fungiziden begrenzt.

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Marktpreis

Unter derzeitigen rechtlichen Bedingungen müssen Händler von Kartoffeln unterscheiden, ob das Produkt gentechnisch verändert ist oder nicht. Niedrigere Preise für den Landwirt, der GVO abgibt, sind wahrscheinlich, da die Abnehmer aufgrund der zusätzlich entstehenden Kosten einen Preisdruck auf die Landwirte ausüben dürften (Kohler, 2005). Ein Mehrwert für kontrolliert GVO-freie Produkte erscheint ebenfalls wahrscheinlich (Bock et al., 2002). Davon zeugt auch die wachsende Bedeutung von Systemen zur Identitätswahrung wie getrennte Warenströme, die dort zum Einsatz kommen, wo durch bestimmte Qualitätsmerkmale höhere Preise zu erzielen sind (Oehen et al., 2006). Die Preise für Kartoffeln werden von den Erzeuger-, Handels- und Industrieverbänden im Verbund (swisspatat) zweimal jährlich festgelegt. Dadurch soll das Einkommen der Landwirte gesichert werden, ein weiteres Ziel ist der Erhalt der Anbaubereitschaft.

Bewertung: -1

GVO-Kartoffeln dürften einen niedrigeren Marktpreis erzielen als Kartoffeln aus herkömmlichem Anbau.

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Produktionskosten

Derzeit betragen die Kosten für Pflanzkartoffeln rund 3000 CHF pro Hektar (Agridea 2013a). Die Saatgutkosten dürften beim Anbau von Kraut- und Knollenfäule resistenten Kartoffeln um rund 30 % höher liegen; die Mehrkosten betragen rund 900 CHF pro Hektar (Speiser et al., 2013). Im Gegenzug sinken die Kosten für Pestizide, die gegen den Pilzbefall eingesetzt werden. Die Einsparungen betragen bei aktuellen Preisen rund 320 CHF pro Hektar exklusive Maschinenkosten (Strickhof, 2014). Zur Bekämpfung von weiteren Pilzen und für das Resistenzmanagement werden auch beim Anbau von Kraut- und Knollenfäule-resistenten Kartoffeln einige wenige Fungizidapplikationen (siehe Tabelle 8) benötigt. Insgesamt steigen beim Anbau von gegen KKR-Kartoffeln die Gesamtkosten der Produktion. Die Kosten für allfällige Koexistenzmassnahmen sind dabei noch nicht berücksichtigt. Aufgrund der fortpflanzungsbiologischen Eigenschaften der Kartoffel ist gemäss der Koexistenz-Verordnung des Bundesrates (BAFU und BLW, 2013) ein Isolationsabstand von 12m einzuhalten. Ein Mehraufwand ergibt sich dennoch durch die Trennung von GVO-Kartoffeln und gentechnikfreien Kartoffeln im Betrieb, da Landwirte in der Regel verschiedene Kartoffelsorten anbauen, um das Risiko sowie Arbeitsspitzen zu streuen (mündliche Auskunft von swisspatat, 2014).

Bewertung: -1

Beim Anbau von KKR-Kartoffeln sind im Vergleich zu konventionellen Kartoffeln höhere Produktionskosten zu erwarten.

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Arbeitsaufwand

Die durch den verringerten Pestizid-Applikationsaufwand eingesparten Arbeitskraftstunden betragen rund 0,86 Akh pro Hektar (Agridea, 2013b). Diese Einsparungen werden durch die Umsetzung strenger Koexistenzmassnahmen kompensiert (Isolationsabstand einrichten, Trennung von Anbauverfahren).

Bewertung: 0

Deshalb wird der Arbeitsaufwand beim Anbau von KKR-Kartoffeln und von herkömmlichem Kartoffeln als gleichwertig bewertet.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsгарantie und Wirtschaftsfreiheit

Der erzielte Grad an wirtschaftlicher und persönlicher Eigentumsгарantie und Wirtschaftsfreiheit wird von jenen Rahmenbedingungen bestimmt, die zur Gewährleistung der Koexistenz verordnet werden (Demont & Devos, 2008). Es kann angenommen werden, dass der Grad an Eigentumsгарantie und an Wirtschaftsfreiheit zunimmt, wenn der Anbau einer GVO-Sorte ermöglicht wird. Durch die Zulassung von GVO können Landwirte aus einer grösseren Bandbreite an Anbausystemen frei wählen. Der Entscheid zugunsten einer Bewirtschaftungspraxis, die von spezifischen Produkten und spezifischem Saatgut abhängig ist, könnte diese relative Freiheit jedoch beeinträchtigen (Speiser et al., 2013). Sind die Koexistenzmassnahmen effektiv, erlauben sie auch den benachbarten Produzenten gemäss ihren Präferenzen zu wirtschaften.

Bewertung: +1

Die Zulassung zum Anbau von GVO ermöglicht den Landwirten eine grössere Auswahl zwischen den Anbausystemen.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Akzeptanz auf lokaler Ebene

Die Akzeptanz von GVO auf der Ebene der lokalen Agrarstrukturen ist sehr gering. Die Umfrage von Schweiger und Szerencsits (2009) unter Landwirten in der Region Zürich zeigt, dass die Anbau-bereitschaft für GVO stark von der Determinante «vermutete Nutzung durch [...] Nachbarn» abhängig ist. Die Akzeptanz ist auch von den geltenden Haftungsbedingungen im Streitfall abhängig. Weitere Stakeholder auf der lokalen Ebene, die durch den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen betroffen sind, sind die Imker (Stellungnahme zur Koexistenzvorlage von Apisuisse, 2013).

Bewertung: -1

Die lokale Akzeptanz der KKR-Kartoffel ist geringer als diejenige der Kartoffel aus herkömmlichem Anbau.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Agrarkultur

Mit dem Anbau von KKR-Kartoffeln wechseln die Landwirte die Methode des Pflanzenschutzmanagements. Durch die Vereinfachung der Bekämpfung der Pilze wird für die Landwirte die Abhängigkeit von engen Applikationszeitfenstern reduziert. Der Krankheitsdruck bei Kartoffeln ist neben der Witterung auch von prophylaktischen Massnahmen auf dem Feld und dem Einsatz von gesundem Saatgut abhängig. Die gewonnene Flexibilität könnte auf Kosten des Know-hows und eines integrativen Pathogenmanagements gehen.

Bewertung: 0

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hat keine signifikanten Auswirkungen auf die Agrarkultur.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Innovationskraft

Der Anbau von KKR-Kartoffeln würde es ermöglichen, die Relevanz dieser Technologie für die Schweiz zu untersuchen. Anzunehmen ist, dass im Rahmen einer schrittweisen Freisetzung gemäss den gesetzlichen Vorschriften genügend Daten Aufschluss über die Vor- und Nachteile eines solchen Systems geben würden. Mehr Forschung über die Dynamik der in Feldversuchen verwendeten Resistenzgene wäre nötig, um deren langfristige Effizienz zu verbessern.

Bewertung aller Szenarien: +1

Die Erprobung der KKR-Sorte im Feld könnte zu einem Erkenntnisgewinn bezüglich der Resisdynamiken und -mechanismen führen, was sich mittelfristig positiv auf die Innovationskraft auswirken könnte.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Vorleistungen (Saatgut)

Derzeit wird der gesamte Bedarf der Schweizer Landwirte nach Pflanzkartoffeln durch Importe gedeckt. Der Anbau von KKR-Kartoffeln bringt diesbezüglich keine Änderung.

Bewertung: 0

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Vorleistungen (Pestizide)

In der Schweiz gehört die Kartoffel zu den Ackerkulturen, die besonders stark auf Pestizide angewiesen sind. Gemäss der Zusammenfassung im Agrarbericht 2012 werden durchschnittlich rund 14 kg Wirkstoffe in bis zu 15 Anwendungen pro Jahr und Hektar ausgebracht. Etwas mehr als die Hälfte davon sind Fungizidapplikationen. Die Reduktion der Fungizidapplikationen ist ein Ziel der KKR-Kartoffel

(in unserem Szenario: rund 6,6 kg) und dementsprechend würde sich auch der Pestizidabsatz reduzieren.

Bewertung: -1

Der Anbau von KKR-Kartoffeln ermöglicht Einsparungen bei den Pestiziden, was einen Rückgang des Verkaufs von Wirkstoffen zur Folge hat.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Warenfluss, Identitätswahrung

Der Transport der Veredelungskartoffel führt vom Feld meist über dezentrale Zwischenlager, von welchen die verarbeitenden Betriebe dann die nötigen Chargen beziehen. Die verarbeitenden Betriebe haben selbst auch ein Lager. In den Lagern werden die Kartoffeln bei der Anlieferung zur Preisbestimmung gewogen sowie unterschiedlichen Qualitätstests unterzogen. Die Lagerung erfolgt unter Schutzatmosphäre, um Lagerungsverluste klein zu halten und die Keimung von Kartoffeln zu unterbinden (durch die Applikation von Keimhemmern und konstante Temperaturen). Der Transport und die Lagerung erfolgen in der Schweiz in Kisten (Paloxen), die ein Etikett mit den Herkunftsangaben tragen. Die allfällige Trennung der KKR-Kartoffeln würde keinen Mehraufwand verursachen (mündliche Auskunft von swisspatat, 2014).

Zum Zeitpunkt der Verarbeitung erfolgt eine chargenweise Einspeisung in die Produktionsanlage, wodurch die vollständige Rückverfolgbarkeit vom landwirtschaftlichen Betrieb bis zum Endprodukt (Pommes frites im verschweissten Beutel usw.) sichergestellt wird. Bei der Produktion von Pommes frites fallen laufend Kartoffelreste an und die Schalen, wie auch Kartoffelteile, die zur Herstellung von Rösti, Kroketten oder Kartoffelstock verwendet werden, müssen getrennt werden. Kartoffelreste, welche nicht für die Verarbeitung zu Lebensmitteln geeignet sind, werden als Tierfutter oder für die Verwertung in Biogasanlagen genutzt. Eine Trennungs- und Deklarationspflicht besteht auch hier. Die derzeitigen Produktionsanlagen von Pommes frites sind nicht auf räumliche Warenflusstrennung ausgerichtet.

Im Fall einer Verarbeitung von KKR-Kartoffeln wäre somit eine zeitliche Trennung erforderlich, wie dies derzeit bei der Reihenfolge von Bio- und herkömmlichen Kartoffeln erfolgt (Reinigung der Anlage); eventuell müssten sogar getrennte neue Einrichtungen für GVO erstellt werden.

Bewertung: -2

Die Warenflusstrennung ist beim Anbau von KKR-Kartoffeln aufwendig und kostspielig.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Absatzmöglichkeiten

Die Kennzeichnungsvorschriften sorgen dafür, dass GVO-Produkte für den Endabnehmer erkennbar sind. Angesichts der fehlenden Nachfrage müssen entweder höhere Margen angesetzt werden oder es muss ein erhöhter Kundennutzen anfallen. Die KKR-Kartoffel erfüllt keines dieser beiden Kriterien (Konsultation mit Konsumentenschutzorganisationen).

Bewertung: -1

Die Absatzmöglichkeiten für KKR-Kartoffeln sind gering.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Auswirkungen auf die Versorgung

Durch gesetzliche Regelungen des Marktzugangs werden Importkontingente festgelegt. Innerhalb dieses Rahmens werden Kartoffeln importiert, wie zum Beispiel Frühkartoffeln für den Frischkonsum. Die Versorgung mit Frites-Kartoffeln wird bereits mit inländischen Kartoffeln gewährleistet.

Bewertung: 0

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hat keine Auswirkungen auf die Landesversorgung.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Kontrollstellen, -gewerbe

Dieselben Auswirkungen wie beim Mais (s. oben).

Bewertung: +1

Die Unternehmen aus der Kontrollbranche profitieren von der verstärkten Kontrolle der GVO.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsгарantie und Wirtschaftsfreiheit

Die Zulassung des Anbaus von KKR-Kartoffeln ändert nichts an den Importmöglichkeiten.

Bewertung: 0

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hat keine Auswirkungen auf die Wirtschaftsfreiheit.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Auswirkungen auf KMU

Die Lagerung und Verarbeitung von Kartoffeln in der Schweiz finden in einem konzentrierten Umfeld statt. Die verarbeitende Branche ist somit überschaubar (Kartoffelchips-Produktion, Produktion von Pommes frites, Rösti usw.). Es gibt jedoch eine Vielzahl regionaler Sammelstellen, welche Kartoffeln an die Verarbeitung liefern. Wirtschaftliche Auswirkungen treten ein, wenn sich die Unternehmen entscheiden müssen, ob sie eine Trennung von GVO und gentechnikfreier Ware durchführen oder sich auf eine Kategorie beschränken. Diese Effekte betreffen sowohl den Einkauf als auch den Absatz ihrer Erzeugnisse. Es ist möglich, dass Unternehmen mit Akzeptanzproblemen bei ihren Kunden konfrontiert werden, die sich in Absatzschwierigkeiten widerspiegeln.

Bewertung: -1

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hätte Auswirkungen auf die KMU (vor allem die Verarbeiter).

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Image

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hat ähnliche Auswirkungen auf das Image des Agribusiness wie derjenige des Bt-Mais (s. oben).

Bewertung: -1

Der Mehrwert, den sich die Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft durch den allgemeinen Verzicht auf GVO verspricht, würde durch den Anbau von KKR-Kartoffeln verlorengehen.

Konsumenten – Wahlfreiheit

Das GVO-Verbot wird in der Literatur zum Teil als Beschneidung der Wahlfreiheit der Konsumenten gewertet (Bonfadelli et al., 2007).

Bewertung: +1

Der Anbau von KKR-Kartoffeln erhöht die Auswahl der Konsumenten.

Konsumenten – Gesundheitswert

Produkte aus GVO-Anbau dürfen in der Schweiz in den Verkehr gebracht werden, wenn ihre Unbedenklichkeit für die Gesundheit nachgewiesen ist. Der Mechanismus der Kraut- und Knollenfäule-Resistenz und allfällige Änderungen des Stoffwechsels in den Kartoffeln müssten vor dem Inverkehrbringen analysiert werden. Denkbar ist indessen auch, dass die verminderte Applikation von Fungiziden einen positiven Einfluss auf die Rückstände im Endprodukt hat. Zu vermerken ist, dass in den USA kürzlich eine GVO-Kartoffel in Verkehr gebracht wurde, die beim Frittieren weniger Acrylamid bildet, was Auswirkungen auf die Gesundheit der Konsumenten haben kann (Zhu et al., 2016).

Bewertung: 0

Es ist schwierig, die tatsächlichen Auswirkungen des Anbaus von KKR-Kartoffeln auf die Gesundheit der Konsumenten zu beurteilen; es wird hier unterstellt, dass diese gleich Null sind.

Konsumenten – Akzeptanz

Im In- und Ausland geniessen Produkte aus der Schweizer Landwirtschaft einen sehr guten Ruf. Dieser wird unter anderem der Qualität der Produkte zugeordnet, die bis heute frei von GVO sind. Dieses Merkmal wird auch in der Charta zur Qualitätsstrategie der Schweizerischen Land- und Ernährungswirtschaft, die von Bauernverbänden, Labelverbänden und den führenden Detailhändlern unterzeichnet wurde, aufgeführt. Aus dem Verzicht auf Gentechnik ergeben sich aus Sicht der Branche wichtige Marktchancen.

Bewertung: -1

Der Mehrwert, den sich die Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft durch den allgemeinen Verzicht auf GVO verspricht, würde durch den Anbau von KKR-Kartoffeln in der Schweiz verloren gehen.

Konsumenten – Preisniveau

Das Preisniveau für den Abnehmer steigt, wenn höhere Produktionskosten sowie Kosten für Massnahmen zur Warenflusstrennung weitergegeben werden (Price et al., 2003). Die Auswirkungen auf den Einzelhandelspreis können nur in groben Zügen abgeschätzt werden. Laut heutigen Statuten sind GVO von mehreren Labelprogrammen ausgeschlossen. Dadurch erzielen sie im Durchschnitt einen niedrigeren Preis.

Bewertung: -1

Da die Warenflusstrennung hohe Kosten verursacht, kann man davon ausgehen, dass zumindest ein Teil dieser Kosten auf die Produkte (GVO und gentechnikfrei) übertragen werden.

3.3.3.2 Umweltkriterien

Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – UZL (Umweltziele Landwirtschaft)-Arten

Beim Anbau von KKR-Kartoffeln werden Fungizidapplikationen reduziert (Tabelle 8). Die beim herkömmlichen Kartoffelanbau ausgebrachten Wirkstoffe Fenamidon, Propamocarb, Dimethomorph und Mancozeb sind unterschiedlich (d. h. wenig bis hoch) toxisch für Säugetiere, Vögel, Reptilien, Amphibien und Insekten (Geiger et al., 2010, McConnell und Sparling 2010). So hat Mancozeb teratogene Effekte bei Fröschen und verzögert die Regeneration von Gliedmassen bei Molchen und die Entwicklung von Kaulquappen von Amphibien (Harris et al., 2000). Ergebnisse deuten ausserdem darauf hin, dass Mancozeb den Schlüpfertag und das Überleben gewisser Amphibien-Embryonen in der natürlichen Umgebung negativ beeinflussen kann (Howard et al., 2002). Überdies sind die Eigenschaften gewisser Beistoffe dieser Pestizide, insbesondere ihre mögliche Toxizität, nur mangelhaft dokumentiert.

Mangels veröffentlichter wissenschaftlicher Daten kann nicht abschliessend evaluiert werden, wie sich die Reduktion der Fungizidapplikationen beim Anbau von KKR-Kartoffeln tatsächlich auswirkt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass sich der verminderte Fungizideinsatz insgesamt positiv auf diese Arten auswirkt.

Bewertung: +1

Der Anbau von KKR-Kartoffeln wirkt sich insgesamt positiv auf die tierischen und pflanzlichen Nützlinge aus.

Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – Genfluss auf verwandte Wildpflanzen und Invasivität in natürliche Habitate

In der Schweiz gibt es keine verwandten Wildpflanzen von Kartoffeln (Felber et al., 2007). Somit kann ein Genfluss auf verwandte Wildarten ausgeschlossen werden. Kartoffeln gelten in der Schweiz als nicht invasiv (Speiser et al., 2013).

Bewertung: 0

Es wird davon ausgegangen, dass der Anbau von KKR-Kartoffeln weder Auswirkungen auf die Genflüsse hat noch deren Invasivität erhöht.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Bestäuber

Analog zum Kriterium *UZL-Arten* wird beim Anbau von KKR-Kartoffeln die Anzahl Applikationen von Fungiziden theoretisch reduziert. Die eingesetzten Fungizide (Tabelle 8) haben Auswirkungen auf die Insekten auf Populationsebene. Fungizide können das Bestäubungspotenzial von Honigbienen reduzieren (Alarcon et al., 2009), das Vorkommen nützlicher symbiotischer Pilze in Bienenkolonien reduzieren (Yoder et al., 2012) und die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass Honigbienen an einer Parasiteninfektion erkranken (Pettis et al., 2013). Die Auswirkungen auf Bestäuber, die sich durch die Reduktion der angewendeten Pestizide ergeben, können mangels Daten aus Feldstudien nicht abschliessend evaluiert werden.

Es wird hier davon ausgegangen, dass die Fungizide nur geringe Auswirkungen auf die Bestäuber haben, wenn die Anwendungsempfehlungen (insbesondere die Applikation ausserhalb der Bestäuberflugzeiten) genau befolgt werden.

Bewertung: 0

Der Anbau von KKR-Kartoffeln wird verglichen mit Kartoffeln aus herkömmlichem Anbau als gleichwertig beurteilt, obschon für eine genaue Bewertung weitere Daten erforderlich wären.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Natürliche Schädlingsbekämpfung

Die beim herkömmlichen Kartoffelanbau ausgebrachten Fungizide sind wenig bis moderat toxisch für die standardmässig in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzten Organismen: die Raubmilbe *Typhlodromus pyri*, die parasitische Wespe *Aphidius rhopalosiphii* und *Trichogramma ca-coeciae* (CESAR, 2014). Mancozeb ist schädlich für gewisse entomopathogene Pilze (Lagnaoui und Radcliffe, 1998) wie *Beauveria bassiana*, welcher den Kartoffelkäfer befällt (Kahn et al., 2012). Man-

cozeb hat negative Auswirkungen auf die Raubmilbenpopulationen (Bernard et al., 2004, Auger et al., 2003, Barbar et al., 2007, Li et al., 2006).

Aufgrund der Auswirkungen der synthetischen Fungizide auf diese Nützlingspopulationen wird der Anbau von KKR-Kartoffeln bei diesem Parameter besser bewertet.

Bewertung: +1

Der Anbau von KKR-Kartoffeln erlaubt es, die negativen Auswirkungen der Fungizide auf die in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzten Nützlingspopulationen zu beschränken.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem Boden

Fungizide haben generell einen grösseren Einfluss auf Bodenorganismen als Herbizide und Insektizide, da sie direkt auf nützliche Pilze im Boden einwirken und gleichzeitig gewisse Bakterienpopulationen beeinträchtigen (Bünemann et al., 2006, Riah et al., 2014). Andererseits beeinflussen Mancozeb, Azoxystrobin und Strobilurin die Dehydrogenaseaktivität und die Kohlenstoffmineralisierung im Boden (Cernohlavkova et al., 2009, Howell 2011). Gewisse dieser Moleküle haben auch einen schädlichen Einfluss auf die Erdwürmer- und Nematodenpopulationen, aber auch auf Arthropoden und Milben (PPD, 2013, Al-Assiuty et al., 2014). Überdies werden die Leistungen von im Ökosystem Boden wichtigen funktionellen mikrobiellen Gruppen (z. B. Destruenten, Denitrifizierern und Nitrifizierern) nicht generell durch eine Reduktion ihrer Diversität beeinträchtigt (Griffits et al., 2001, Wertz et al., 2007). Weiter wird darauf hingewiesen, dass Pestizide theoretisch nur geringe oder reversible Auswirkungen auf Mikroorganismen im Boden haben, wenn diese entsprechend den Empfehlungen angewendet werden (Imfeld und Vuilleumier 2012, Riah et al., 2014).

Bewertung: 0

Auch hier wird der Einfluss des Anbaus von KKR-Kartoffeln auf das Ökosystem Boden mangels Daten aus Schweizer Versuchsfeldern im Vergleich zum herkömmlichen Anbau als vernachlässigbar eingeschätzt.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem Wasser

Alle Fungizide, deren Applikation beim Anbau von KKR-Kartoffeln reduziert wird (Tabelle 8), sind moderat bis stark akut toxisch für Wasserorganismen (Fische, Invertebraten, aquatische Pflanzen, Algen) und können in Gewässern längerfristig eine schädliche Wirkung haben (PPDB, 2013). Analog zu den anderen Ökosystemen wird unterstellt, dass eine den geltenden Auflagen entsprechende Applikation dieser Mittel negative Effekte auf Wasserorganismen zu minimieren vermag (PSMV 2010).

Die Belastung des Wassers wird beim Kriterium *Umweltqualität* berücksichtigt.

Bewertung: 0

Es wird davon ausgegangen, dass der Anbau von KKR-Kartoffeln keinen signifikanten Effekt auf das Ökosystem Wasser hat.

Umweltqualität – Luft – Treibhausgase – Kohlendioxid

Beim Anbau von KKR-Kartoffeln werden im Vergleich zum herkömmlichen Kartoffelanbau drei Feldbefahrungen zum Ausbringen von Fungiziden eingespart. Der Transport vom Feld in die nachgelagerte Verarbeitung bleibt unverändert.

Bewertung: +1

Die Reduktion der Spritzfahrten beim Anbau von KKR-Kartoffeln führt zu geringeren Emissionen von Treibhausgasen.

Umweltqualität – Luft – Treibhausgase – Ammoniak

Bewertung: 0

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hat keinen Einfluss auf die Ammoniakemissionen, da das Düngermanagement gleich bleibt wie beim herkömmlichen Anbau.

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – Stickoxide

Bewertung: +1

Analog zum CO₂

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – DieselerussBewertung: +1Analog zum CO₂**Umweltqualität – Wasser – Dünger**Bewertung: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements

Umweltqualität – Wasser – Pestizide

Wie bei den Kriterien UZL sowie *Ökosysteme des Wassers und des Bodens* dargestellt, wird beim Anbau von KKR-Kartoffeln ein geringerer Fungizidverbrauch vorausgesetzt als beim herkömmlichen Anbau (Tabelle 8).

Bewertung: +1**Umweltqualität – Boden – Physische Belastung – Erosion**

Keine Veränderung der Bodenbearbeitung und somit auch kein Einfluss auf die Erosion, welche dadurch entstehen kann.

Bewertung: 0**Umweltqualität – Boden – Physische Belastung – Verdichtung**

Durch die Reduktion der Feldbefahrungen zum Ausbringen von Fungiziden wird der Boden weniger verdichtet.

Bewertung: +1

Der Anbau von KKR-Kartoffeln führt somit zu einer Reduktion der Bodenverdichtung (Nachhaltigkeitsgewinn bei diesem Kriterium).

Umweltqualität – Boden – Chemische Belastung – Dünger

Keine Veränderung des Düngermanagements

Bewertung: 0**Umweltqualität – Boden – Chemische Belastung – Pestizide**

Die Reduktion der Fungizidapplikationen beim Anbau von KKR-Kartoffeln führt zu einer Verringerung der Bodenbelastung. Das Kriterium der Nachhaltigkeit wird deshalb leicht besser bewertet.

Bewertung: +1**Ressourcenbedarf – Wasser**

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf den Wasserverbrauch im Feld.

Bewertung: 0**Ressourcenbedarf – Energie**

Für die Errichtung einer neuen getrennten Wertschöpfungskette, welche die Koexistenz dieses neuen Warenflusses gewährleistet, wird mehr Energie benötigt als im Anbau durch die Reduktion der Spritzfahrten eingespart wird.

Bewertung: -1

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hat einen höheren Energiebedarf zur Folge. Das Kriterium energetischer Nachhaltigkeit wird deshalb im Vergleich zum herkömmlichen Anbau schlechter bewertet.

Ressourcenbedarf – Land

Der Anbau von KKR-Kartoffeln hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf die Verwendung der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Bewertung: 0

Ressourcenbedarf – Pestizide

Beim Anbau von KKR-Kartoffeln reduziert sich die Menge ausgebrachten aktiven Wirkstoffes (Tabelle 8).

Bewertung: +1

Der Anbau von KKR-Kartoffeln führt zu einer Senkung des Fungizidbedarfs. Das Kriterium, das die Nachhaltigkeit in Bezug auf den Pestizideinsatz beurteilt, wird deshalb im Vergleich zum herkömmlichen Anbau geringfügig besser bewertet.

Ressourcenbedarf – Dünger**Bewertung: 0**

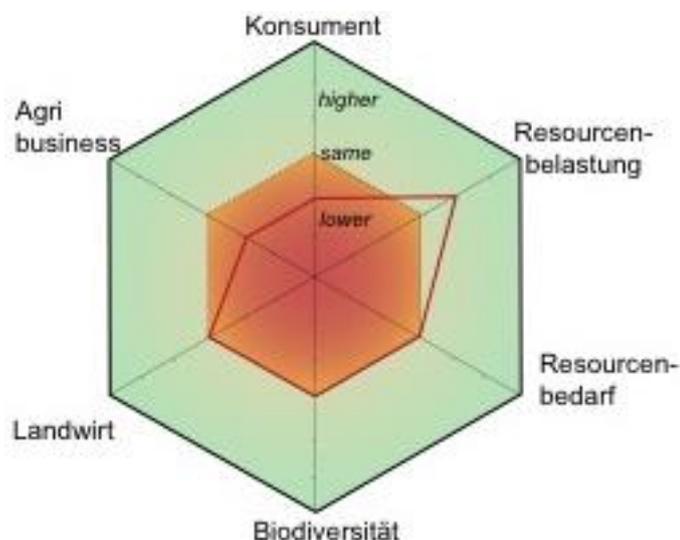
Keine Veränderung des Düngermanagements.

3.3.4. Zusammenfassung der Nachhaltigkeitsanalyse für die KKR-Kartoffel

Die sozioökonomische Nachhaltigkeit der Kraut- und Knollenfäule-resistenten Kartoffel ist bei einem Anbau in den heutigen Agrarsystemen der Schweiz insgesamt gering (Abbildung 6). Das hier dargestellte Szenario bezieht sich auf einen Sektor, in dem die Versorgung mit inländischen Kartoffeln gewährleistet ist, und es nicht vorhersehbar ist, welche Folgen die Zulassung von GVO in der Schweiz auf die Importe und Exporte mit den übrigen EU-Ländern hätte. Wie in den vorgängig analysierten Fällen des Mais und der Zuckerrübe sind die Absatzmöglichkeiten für die KKR-Kartoffel wegen der fehlenden Akzeptanz stark eingeschränkt (Frites-Kartoffeln). Hinzu kommen technische Einschränkungen aufgrund der Koexistenzregeln, die notwendig sind, um die Wahlfreiheit der Konsumenten zu gewährleisten. Der mit der Reduktion der Fungizidapplikationen verbundene Flexibilitätsgewinn dürfte durch weitergehende agronomische Feldversuche zweifellos bestätigt werden. Analog zur Herbizid- oder Insektizidresistenz müssten die möglichen Resistenzdynamiken der Kraut- und Knollenfäulestämme vor einem allfälligen Anbau eingehend untersucht werden mit dem Ziel, die Dauerhaftigkeit dieser Linien über die Zeit hinweg zu optimieren. In diesem Zusammenhang wird auch die strikte Anwendung der Fruchtfolgeregeln von Bedeutung sein.

Sollte sich der verminderte Fungizideinsatz beim Anbau von KKR-Kartoffeln experimentell bestätigen, wäre dies ein deutlicher Vorteil, der sich in der ökologischen Dimension niederschlägt (Abbildung 6). Diese Reduktion des Pestizideinsatzes hat in mechanischer Hinsicht eine Bodenverbesserung und eine Verringerung der Treibhausgasemissionen zur Folge, was in Bezug auf Nachhaltigkeit ebenfalls ein Schritt in die richtige Richtung ist. Es besteht allerdings ein Mangel an Daten zur Wirkung der Introgression des Resistenzgens auf den Stoffwechsel der Zielkartoffel und auf die mit der Pflanze verbundenen Mikroorganismen. Um die Bewertung verfeinern zu können, bedarf es einer Reihe von weiteren Studien in geschlossenen Systemen und im Freiland.

Abbildung 6. Bewertung der Kraut- und Knollenfäule-resistenten Kartoffel.



3.4 Schorf- und Feuerbrand resistenter (SFR)-Galaapfel

3.4.1 Einleitung

In der Schweiz waren 2012 4138 ha Nutzfläche dem Apfelanbau gewidmet. Dies entspricht ca. 0.4 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Mit fast 15 kg pro Kopf und Jahr ist der Apfel die am meisten konsumierte Obstsorte in der Schweiz (BLW, 2013). Der Apfelanbau ist jedoch durch viele Krankheiten bedroht und deshalb eine der Kulturen mit dem höchsten Pestizidbedarf. In der Schweiz sind der Schorf (Pilzkrankheit, verursacht durch *Venturia inaequalis*) und der Feuerbrand (Bakterieninfektion, verursacht durch *Erwinia amylovora*) besonders schwerwiegende Apfelkrankheiten. Es gibt zwar Apfelsorten, die gegen diese Krankheitserreger resistent sind, doch sind die am meisten angebaute Apfelsorten heute weder gegen Schorf noch gegen Feuerbrand resistent. Die robusteren Sorten, die Resistenzgene enthalten, sind oft schwieriger zu vermarkten. Die Akzeptanz der Konsumenten ist die zentrale Grösse für die Marktchancen einer neuen Sorte (Eigenmann et al., 2005). Sie hängt von einzelnen Eigenschaften wie Fruchtfleischfestigkeit, Zuckergehalt, Säuregehalt und vom Zusammenspiel dieser Eigenschaften sowie von weiteren Faktoren wie z. B. dem Aussehen ab (Baumgartner et al., 2007).

In Zusammenarbeit mit internationalen Partnern hat Prof. Gessler von der ETH Zürich Schorf- und Feuerbrand-resistente Apfelbäume entwickelt. Zwei Schorffresistenzgene (*HcrVf2/Rvi6* et *Rvi15*) und ein Feuerbrandresistenzgen (*FB_MR5*) wurden in einzelne Galaapfelinien eingeführt. Die Resistenzgene wurden aus wilden Apfelbäumen isoliert und ihre Fähigkeit, Resistenz zu vermitteln, überprüft (Broggini et al., 2014, Krens et al., 2015, Vanblaere et al., 2011). Die Expression der Resistenzgene wird in diesen Linien durch arteigene regulatorische Sequenzen kontrolliert: Deshalb werden die Linien auch als *cisgen* bezeichnet. Die Cisgenese wird als Alternative zur Transgenese vorgeschlagen, da dabei nur DNA-Fragmente von Arten verwendet werden, die sich theoretisch selbst bestäuben könnten. Anzuführen ist, dass es noch viele Jahre dauern wird, bis ein solcher Apfel entwickelt und marktfähig ist. Durch die Cisgenese könnte die Entwicklungsdauer neuer Sorten verkürzt werden. Seit der Emeritierung von Prof. Gessler (April 2014) wird diese Forschung von Agroscope weitergeführt. Im Vordergrund stehen dabei Fragen der Dauerhaftigkeit der identifizierten Resistenzen (siehe Kasten).

Resistenzentwicklung von Schorf und Feuerbrand gegen SFR-Äpfeln

Eine mögliche Resistenzentwicklung der Zielorganismen ist der Schwachpunkt bei einer künftigen Nutzung des SFR-Apfels. Beim Apfel sind verschiedene Resistenzgene gegenüber dem Schorfpilz *Venturia inaequalis* bekannt (Gessler et al., 2006). Die heute bereits angebaute schorffresistente Apfelsorten (z. B. Florina und Topaz) basieren auf einer Resistenz, die «R»-Gene verwendet, welche vom Wildapfel *Malus floribunda* stammen. Ein solches Gen ist *Rvi6* (ehemals *HcrVf2*), mit welchem eine cisgene Galalinie hergestellt wurde (Jänsch et al., 2013). In Feldversuchen weist diese Galalinie eine erhöhte Schorffresistenz auf. Im Fall von Feuerbrand, verursacht durch *Erwinia amylovora*, verleiht das *FB-MR5* den Galaäpfeln eine Gen-zu-Gen-Resistenz gegenüber diesen Feuerbrand-Bakterien. Dieses Gen wurde ebenfalls für die Herstellung von cisgenen Galalinien verwendet, die im Gewächshaus getestet wurden und derzeit das Genehmigungsverfahren für die Kultivierung in Feldversuchen durchlaufen.

Bei monogen vermittelten Resistenzen kommt es häufig rasch zu deren Umgehung (Szankowski et al., 2009, Vogt et al., 2013). Der Zeithorizont eines solchen Ereignisses ist schwer vorherzusagen, da dieses von mehreren Faktoren wie z. B. dem Anbauvolumen und dem damit einhergehenden Selektionsdruck der resistenten Sorte auf den Pilz respektive das Bakterium abhängig ist. In der Tat wurde die durch das *Rvi6*-Gen vermittelte Resistenz bereits von einigen *V. inaequalis*-Populationen überwunden (Trapman, 2006). Ebenso wurde die Resistenz des Kultivars, der *FB_MR5* exprimiert, bereits von zwei Feuerbrandstämmen überwunden (Vogt et al., 2013). Eine Pyramidisierung von Resistenzgenen gegen diese beiden Krankheitserreger wird deshalb zweifellos notwendig sein, um die Resistenz des SFR-Galaapfels langfristig zu sichern.

3.4.2 Szenario

Herkömmliche Galaäpfel sind anfällig für Schorf und Feuerbrand, während der SFR-Galaapfel gegen beide resistent ist. Dadurch fallen die in der herkömmlichen Produktion von Galaäpfeln eingesetzten Pestizide teilweise weg. Die Pestizidapplikationen für herkömmliche sowie für SFR-Galaäpfel werden in Tabelle 9 dargestellt. Sie basieren auf den Annahmen von Speiser et al. (2013). Es wird ein durchschnittlicher Schorf- und Feuerbrandbefall angenommen.

Tabelle 9. Pestizidapplikationen zur Kontrolle von Schorf und Feuerbrand im herkömmlichen Apfelanbau

| Anbausystem | Produkt | Spritzfahrten, Dosierung (l, kg / ha) | Wirkstoffmenge (g / l, kg) | Menge aktiver Wirkstoff (kg / ha) | Preis Produkt (CHF / l, kg) | Preis (Gesamtmenge) CHF |
|---------------|---------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Konv. | Delan WG | 4 x 0.8 | 700 Dithianon | 2.24 | 72.2 ¹³ | 231.0 |
| | Captan 80 WDG | 3 x 2.4 | 800 Captan | 5.76 | 25.9 ¹⁴ | 186.5 |
| | LMA | 1 x 20 | 800 Kalium-Aluminiumsulfat | 16 | 11.75 | 235 ¹⁵ |
| | Regalis | 1 x 2.5 | 100 Prohexadion-Calcium | 0.25 | 160.8 ¹⁶ | 401.9 |
| | Total: | | | 24.38 | | 1'197.9 |
| GVO | Delan WG | 2 x 0.8 | 700 Dithianon | 1.12 | 72.2 | 115.5 |
| | Captan 80 WDG | 2 x 2.4 | 800 Captan | 3.84 | 25.9 | 124.3 |
| Total: | | | 4.96 | | 239.8 | |

Aufgrund der jüngsten Anpassungen des rechtlichen Rahmens bezüglich der Feuerbrandbekämpfung (BLW, 2014a / BLW 2014b) wird angenommen, dass beim Anbau von herkömmlichen Galaäpfeln einmal LMA (Kaliumaluminiumsulfat) eingesetzt wird. LMA ist sowohl bei der Bekämpfung in der Blühphase, als auch in der Bekämpfung nach Hagelschlag zugelassen.

Weiter gelten folgende Annahmen:

- Alle anderen Pflanzenschutzmassnahmen bleiben beim Anbau von SFR-Galaäpfeln unverändert. Somit bleiben die Annahmen bezüglich der Gesamtzahl an Spritzfahrten gleich wie bei Speiser et al. (2013). Es wird angenommen, dass bei einem durchschnittlichen Befallsdruck und daraus resultierender geringer Infektionsrate mit Feuerbrand, das Zurückschneiden befallener Bäume ausreicht, um den Baum zu kurieren.
- Es besteht kein Preisunterschied zwischen einem SFR-Jungbaum und einem herkömmlichen Jungbaum, da die Sorten patentfrei und ohne «technology fee» verfügbar sind.
- Koexistenzmassnahmen: Um den Bienenflug in SFR-Apfelplantagen zu verhindern, werden diese eingehagt. Seitlich werden Insektennetze angebracht. Für das Dach reicht das in professionellen Apfelplantagen übliche Hageldach. Die Bestäubung innerhalb der SFR-Apfelplantagen wird durch die Freilassung von Hummeln sichergestellt.
- Galaäpfel werden primär als Tafeläpfel gehandelt. Im nachgelagerten Bereich werden nur die

¹³ Leu+Gygax, abrufbar unter: http://www.leugygax.ch/inhalt_d/produkte_detail.php?id=38

¹⁴ Leu+Gygax, abrufbar unter:

http://www.leugygax.ch/inhalt_d/produkte_detail.php?id=30&rubrik=&anwendungsgebiet=&kulturen=&name=captan

¹⁵ Strickhof, abrufbar unter: <http://www.strickhof.ch/>

¹⁶ Stähler Suisse SA, abrufbar unter: <http://www.staehler.ch/de/produkte/info/regalis-1.html>

Auswirkungen des Anbaus von SFR-Galaäpfeln in der Warenflusskette der Tafeläpfel betrachtet. Diese werden von Grosshändlern zur Lagerung aufgekauft, um sie bei Bedarf im Laufe des Jahres an die Detailhändler zu liefern. Die Verwertung von Äpfeln in der Saftproduktion wird nicht berücksichtigt.

- In diesem Bereich wird angenommen, dass keine zusätzlichen Verarbeitungs- und Produktionsstätten errichtet werden müssen, sondern dass der Warenfluss zeitlich und/oder räumlich auf verschiedenen bereits vorhandenen Produktionsschienen getrennt wird.

Des Weiteren wird angenommen, dass die Transportwege nach der Ernte hin zur Lagerungsstätte der Grosshändler und den nachfolgenden Abnehmern unverändert bleiben.

3.4.3 Bewertung der Nachhaltigkeit

3.4.3.1 Sozioökonomische Kriterien

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Ertrag

Die Feuerbrandresistenz ist nicht per se ertragsrelevant, sondern sie trägt über die Baumgesundheit indirekt zum Ertrag bei. Ein Rückgang der Schorfbildung durch die entsprechende Resistenz führt dazu, dass ein höherer Anteil Äpfel in der höchsten Qualitätsstufe klassifiziert wird. Speiser et al. (2013) nehmen keine Differenz in der Ertragsbildung an, die Anteile der Aufwertung in eine höhere Qualitätsklasse (III → II und II → I) betragen durchschnittlich 0,8 % und 0,2 %. Die Ertragsleistung ist auch in herkömmlichen Apfelplantagen hoch, da die Strategien zur Krankheitsbekämpfung im Apfelbau sehr effizient sind.

Bewertung: 0

Es wird kein spezifischer Mehrertrag in t/ha erwartet. Ein entsprechendes Potenzial besteht im Schadensfall, der in diesem Szenario aber nicht besonders ausgeprägt ist (im untersuchten Szenario wird ein durchschnittlicher Schorf- und Feuerbrandbefall angenommen).

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Verkaufspreis

In den letzten 15 Jahren sind die Produzentenpreise bei Äpfeln um rund 20 % gesunken. Im Vergleich zum Obstsektor insgesamt fiel der Rückgang jedoch geringer aus. Die Preise sind unter anderem von den Witterungsbedingungen abhängig, die den Ertrag beeinflussen (Bitzer et al., 2012). Für die Erlöse aus der Apfelproduktion ist der Preis der Äpfel der höchsten Qualitätsklasse ein Schlüsselfaktor (Mouron und Carint, 2001). Die Schorffresistenz trägt dazu bei, den Anteil an Äpfeln der Klassen I und II zu steigern. Speiser et al. (2013) nehmen keine Preisdifferenz für herkömmliche und gentechnisch veränderte Äpfel an. Diese Annahme wurde für diese Bewertung nicht übernommen, da heute eher von einer geringeren Zahlungsbereitschaft für gentechnisch veränderte Äpfel ausgegangen wird.

Bewertung: 0

Die relative Preissteigerung aufgrund des höheren Anteils an GVO-Äpfeln in den besseren Qualitätsklassen wird durch die geringere Nachfrage nach gentechnisch veränderten Äpfeln ausgeglichen.

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Produktionskosten

Für ein Vollertragsjahr werden nach Speiser et al. (2013) folgende Unterschiede im Anbau anfälliger und resistenter Sorten zugrunde gelegt: Arbeitskosten -5 %; Pflanzenschutz -22 %; Produktionskosten gesamt -9 %; Erlös +1 % bei gleichen Preisen durch höhere Qualitätseinstufung.

Lässt man die Koexistenzmassnahmen beiseite, verbessern sich somit der Profit und der jährliche Cash-Flow, wenn SFR-Äpfel anstelle von herkömmlichen angebaut werden. Eine Besonderheit des Apfelbaus im Vergleich zum Ackerbau ist die Langfristigkeit der Anbauentscheidung (mehrere Jahrzehnte). Speziell bei gentechnisch veränderten Äpfeln müssen die Akzeptanz und die Abnahmegarantie gesichert sein, denn die Rodung einer Plantage vor dem Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer ist ökonomisch sehr unvorteilhaft.

Die Koexistenzmassnahmen, die eine Einnetzung von GVO-Apfelanlagen vorsehen, sind mit Mehrkosten verbunden. Diese Kosten sind auch hoch, wenn nur ein seitliches Insektennetz als Ergänzung zum derzeit in professionellen Obstanlagen meist vorhandenen Hageldach errichtet wird (mündliche Mitteilung des Schweizer Obstverbandes). Zudem muss eine künstliche Bestäubung (Bienen, Hummeln) innerhalb der eingetzten Plantagen durchgeführt werden. Andererseits ist denkbar, dass die hohen Errichtungskosten während der langen Nutzungsdauer der Apfelplantage amortisiert werden können.

Bewertung: -2

Die zusätzlichen baulichen Massnahmen in der Plantage haben negative Auswirkungen auf das Kriterium *Produktionskosten*.

Landwirt – Gewinnbilanz – Variable Kosten – Arbeitsaufwand

Der Arbeitsaufwand wird im Apfelbau stark vom Bedarf an Pflanzenschutzmassnahmen bestimmt. Bei SFR-Bäumen reduziert sich die Anzahl der Spritzfahrten und entsprechend auch der nötige Arbeitseinsatz. Bei Feuerbrandresistenz entfällt der situationsbedingt arbeitsintensive Baumschnitt theoretisch. Allerdings wird diese Reduktion durch den zusätzlichen Zeitbedarf für die Umsetzung der Koexistenzmassnahmen aufgehoben.

Bewertung: 0

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit

Der erzielte Grad an wirtschaftlicher und persönlicher Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit wird von den Koexistenzregeln bestimmt. Diese sollten dem Nutzen von GVO angepasst und nicht restriktiv sein (Demont und Devos, 2008). Es wird davon ausgegangen, dass der Grad an Eigentumsgarantie und an Wirtschaftsfreiheit zunimmt, wenn der Anbau einer GVO-Sorte ermöglicht wird. Sind die Koexistenzmassnahmen effektiv, erlauben sie auch den benachbarten Produzenten gemäss ihren Präferenzen zu wirtschaften. SFR-Äpfel sind eine zusätzliche Alternative.

Bewertung: +1

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Akzeptanz auf lokaler Ebene

Die Akzeptanz von GVO auf der Ebene der lokalen Agrarstrukturen ist sehr gering. Die Umfrage von Schweiger und Szerencsits (2009) unter Landwirten in der Region Zürich zeigt, dass die Anbaubereitschaft für GVO stark von der Determinante «vermutete Nutzung durch [...] Nachbarn» abhängig ist. Die Akzeptanz ist auch von den geltenden Haftungsbedingungen im Streitfall abhängig.

Weitere Stakeholder auf der lokalen Ebene, die durch den Anbau von gentechnisch veränderten Pflanzen betroffen sind, sind die Imker (Stellungnahme zur Koexistenzvorlage von Apisuisse, 2013). Imker sind gegen den Anbau von GVO, weil der Polleneintrag in ihren Honig nicht verhindert werden kann. Allerdings kommt es durch die komplette Einnetzung und den Einsatz von Hummeln im geschlossenen System zu keinem Bienenflug zwischen gentechnisch veränderten und herkömmlichen Apfelbäumen.

Bewertung: -1

Die lokale Akzeptanz der SFR-Apfelbäume ist geringer als der herkömmlichem Apfelanbau.

Landwirt – Sozioökonomische Strukturen – Agrarkultur

Alternativen zu Pflanzenschutzmitteln erfordern eine Reorganisation der Anbauverfahren, können den Anbau insgesamt aber erleichtern (Meissle et al., 2010, Speiser et al., 2013). Entsprechend könnten Betriebe mit grösseren Flächen den GVO-Anbau effektiver nutzen als Betriebe mit kleinen Flächen. Intensiv wirtschaftende, spezialisierte Betriebe sind in der Tat eher in der Lage, Kosten zu reduzieren (Speiser et al., 2013). Durch die geänderte Praxis ist jedoch davon auszugehen, dass Know-how zur Krankheitsprophylaxe in der Kulturführung verloren gehen und die Dauerhaftigkeit der eingesetzten Resistenzen beeinflussen könnte.

Bewertung: -1

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Innovationskraft

Die Zucht von resistenten Apfelsorten stellt einen dringend nötigen Beitrag zur Reduktion der Umweltbelastung durch Pestizide im Obstbau dar. Staatliche Züchtung, wie sie beispielsweise durch das Institut für Pflanzenbauwissenschaften von Agroscope Changins-Wädenswil durchgeführt wird, ist aus volkswirtschaftlicher Perspektive zweifellos am effizientesten (mündliche Mitteilung von Cesare Gessler). Der Anbau von SFR-Äpfeln würde es erlauben, wichtige Daten zu sammeln, die zum Verständnis der Dynamiken von Resistenzen gegen Krankheitserreger beitragen.

Bewertung: +1

Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Vorleistungen (Saatgut)

Die Forschungsanstalt Agroscope Changins-Wädenswil (Institut für Pflanzenbauwissenschaften) erhebt im Gegensatz zu privatwirtschaftlichen Unternehmern meist keinen Anspruch auf Patente. Entsprechend ist davon auszugehen, dass auch auf die Erhebung einer «technology fee» verzichtet würde. Die Sorten würden auf herkömmliche Weise in die Sortenliste aufgenommen (Züchterrechtszertifikat) und der Zugang für die Züchter wäre garantiert.

Bewertung: 0**Agribusiness – Gewinnbilanz – Vorgelagerter Bereich – Vorleistungen (Pestizide)**

Die Reduktion von Pestiziden (Tabelle 9) um rund 20 kg pro Hektar hätte negative Auswirkungen auf den Pestizidabsatz.

Bewertung: -

Beim Anbau von resistenten Bäumen geht die Nachfrage nach Pestiziden zurück.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Warenfluss, Identitätswahrung

Der Grosshandel übernimmt die Lagerung, Sortierung, Verpackung und den Transport zum Detailhandel. Ausser bei der Direktvermarktung ist die Produktion auf dem landwirtschaftlichen Betrieb abgeschlossen, sobald die Äpfel im Erntegebilde am Feldrand zum Transport bereitstehen. Der Grosshandel übernimmt die Äpfel und über das ganze Jahr hinweg werden die eingelagerten Äpfel tranchenweise sortiert und zum Kauf angeboten. Der Sektor unterliegt einem starken Konzentrationsdruck. Kleine Betriebe müssen sich auf Nischen und regionale Märkte spezialisieren. Die wichtigsten Kostenpunkte für Grosshändler sind der Einkauf beim Produzenten (~47 % der Kosten), Infrastrukturkosten, Transportkosten, Lagerhaltungskosten sowie Kosten für das Sortieren und Abpacken (Bitzer et al., 2012). Die Lagerung erfolgt in Kisten à ca. 300 kg, die Sortierung und Verpackung erfolgt unmittelbar vor der Auslieferung an die Detaillisten. Lückenlose Rückverfolgbarkeit ist für die Einhaltung von Produktionsregeln generell unabdingbar und daher bereits heute gegeben (mündliche Mitteilung vom Schweizer Obstverband).

Bewertung: 0

Da bereits heute jeder Apfel bis zu seinem Herkunftsbetrieb zurückverfolgt werden kann, wird der Aufwand für die Warenflusstrennung nicht grösser, wenn GV-Äpfel produziert würden und als Tafeläpfel auf den Markt kämen.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Absatzmöglichkeiten

Gemäss Bitzer et al. (2012) besteht im mehrjährigen Durchschnitt ein Überangebot an Äpfeln. Der Konsum ist stabil und die Absatzmöglichkeiten im Ausland sind aufgrund der hohen Produktionskosten in der Schweiz beschränkt. Die Produzentenrichtpreise werden mit dem Produktzentrum Tafelobst ausgehandelt und publiziert. Die Etablierung einer Apfelsorte am Markt ist eine langwierige Aufgabe. Der Apfel befindet sich in der Schweiz in umkämpften und gesättigten Märkten: grosse Bedrohung durch neue Konkurrenten, grosse Verhandlungsstärke der Lieferanten und Abnehmer, wenig Ersatzprodukte, sehr grosse Rivalität in der Branche. Der Konsument schätzt ein breites Angebot an Obst und sucht die Abwechslung; ein (noch) höherer Verzehr an Äpfeln könnte nur auf Kosten anderer Früchte entstehen. Dies führt zu einer grösseren Nachfrage nach qualitativ hochstehenden Produkten, die mit dem als GVO gekennzeichneten Apfel unvereinbar ist.

Bewertung: -1

Verringerte Herstellungskosten sind durch den Anbau von SFR-Äpfeln nicht zu erwarten und die Absatzmöglichkeiten sind aufgrund der mangelnden Akzeptanz der Konsumenten gering.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Auswirkungen auf die Versorgung

Der Selbstversorgungsgrad bei Tafeläpfeln liegt in der Schweiz bei 95 %, ebenso verhält es sich bei Apfelsaft aus Mostäpfeln (Bitzer et al., 2012). Da kein Mehrertrag bei resistenten Äpfeln erwartet wird, tragen diese Äpfel nicht zu einer Steigerung der Versorgungslage bei.

Bewertung: 0

Da der Selbstversorgungsgrad heute bereits sehr hoch ist, kann beim Anbau von SFR-Äpfeln nicht von einer Steigerung ausgegangen werden.

Agribusiness – Gewinnbilanz – Nachgelagerter Bereich – Kontrollstellen, -gewerbe

Die Unternehmen aus der Kontrollbranche profitieren von den verstärkten Kontrollen auf das Vorhandensein von GVO.

Bewertung: +1

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Eigentumsgarantie und Wirtschaftsfreiheit

Die Zulassung von SFR-Apfelbäumen hat lediglich einen geringen Einfluss auf die Eigentumsgarantie und die Wirtschaftsfreiheit der Branche.

Bewertung: 0

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Auswirkungen auf KMU

Die Wertschöpfungskette bei Tafeläpfeln ist relativ kurz. Schweizweit gibt es rund 50 Grosshändler, die bei den Produzenten Tafeläpfel abholen und einlagern. Speziellen Anforderungen von gentechnisch veränderten Äpfeln kann möglicherweise durch erhöhte Aufmerksamkeit Rechnung getragen werden (Kennzeichnung von Kisten), ohne separate Warenflüsse aufbauen zu müssen.

Bewertung: 0

Veränderungen für die KMU sind durch den Anbau von SFR-Äpfeln nicht zu erwarten, da bereits ein gutes System zur Rückverfolgbarkeit vorhanden ist.

Agribusiness – Sozioökonomische Strukturen – Image

Der Anbau von SFR-Äpfeln hat ähnliche Auswirkungen auf das Image wie derjenige des Bt-Mais und der KKR-Kartoffeln (s. oben).

Bewertung: -1

Der Mehrwert, den sich die Schweizer Land- und Ernährungswirtschaft durch den allgemeinen Verzicht auf GVO verspricht, würde durch den Anbau von GVO in der Schweiz verlorengehen.

Konsumenten – Wahlfreiheit

Das GVO-Verbot wird in der Literatur zum Teil als Beschneidung der Wahlfreiheit der Konsumenten gewertet (Bonfadelli et al., 2007).

Bewertung: +1

Durch den Anbau von SFR-Äpfeln erhöht sich die Wahlfreiheit der Konsumenten (auch wenn gleichzeitig Galaäpfel aus herkömmlichem Anbau verfügbar sind).

Konsumenten – Gesundheitswert

Auch wenn die Pestizidrückstände aus zugelassenen Molekülen stammen, deren Menge und Unschädlichkeit getestet wurden, fehlt es an Daten aus Feldversuchen, um diese mit den Rückständen in SFR-Äpfeln zu vergleichen. Der Gedanke liegt nahe, dass die Verringerung dieser Rückstände für diese Form von Cisgenese sprechen könnte. Mangels verfügbarer Daten über die Zusammensetzung der SFR-Äpfel im Vergleich zu herkömmlichen Äpfeln kann über deren potenzielle Unbedenklichkeit nur spekuliert werden. Zudem müsste gemäss GTG und FrSV vor dem Inverkehrbringen wie für alle zugelassenen GVO eine (toxikologische) Risikobewertung durch die Gesundheitsbehörden durchgeführt werden.

Bewertung: 0

Mangels veröffentlichter Daten wird davon ausgegangen, dass die SFR-Äpfel *a priori* nicht schädlicher sind als die entsprechenden herkömmlichen Äpfel.

Konsumenten – Akzeptanz

In einer Eurobarometerumfrage (2010b) zeigte sich, dass cisgene Pflanzen positiver beurteilt werden als transgene Pflanzen. Dies könnte zu einem Marketingargument werden.

Bewertung: -1

Die Akzeptanz von GVO durch die Konsumenten ist aktuell tief und es herrscht eine starke Entschlossenheit in der Branche, weiterhin auf GVO-Freiheit zu setzen.

Konsumenten – Preisniveau

Das Preisniveau für den Abnehmer steigt, wenn höhere Produktionskosten sowie Kosten für Massnahmen zur Warenflusstrennung weitergegeben werden (Price et al., 2003). Die Auswirkungen auf den Einzelhandelspreis können nur in groben Zügen abgeschätzt werden. Laut heutigen Statuten sind GVO von mehreren Labelprogrammen ausgeschlossen. Dadurch erzielen sie im Durchschnitt einen niedrigeren Preis.

Bewertung: -1

Da die Warenflusstrennung hohe Kosten verursacht, ist davon auszugehen, dass zumindest ein Teil dieser Kosten auf die Produkte (GVO und gentechnikfrei) übertragen wird.

3.4.3.2. Umweltkriterien

Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – UZL(Umweltziele Landwirtschaft)-Arten

Beim Anbau von SFR-Galaäpfeln werden weniger Pestizide gespritzt als beim Anbau herkömmlicher Galaäpfel (Tabelle 9). Die eingesetzten Wirkstoffe (Dithianon, Captan, Prohexadion) sind moderat bis stark akut toxisch für Vögel, Reptilien, Säugetiere, Fische, Amphibien, Mollusken sowie Insekten wie z. B. Bienen (Geiger et al., 2010, Kegley et al., 2010a & b). Zum Wirkstoff LMA liegt wenig Datenmaterial vor. Wie sich die Reduktion der Anzahl Wirkstoffapplikationen auf die Tierwelt auswirkt, ist nicht dokumentiert. Die anderen Substanzen (Herbizide ...) werden in vergleichbarer Weise eingesetzt.

Der Einsatz von anorganischen Düngern und Pestiziden in Obstgärten hat komplexe Auswirkungen auf die Ökosysteme, insbesondere auf Moose und Flechten (NECR090, 2014, Ruoss, 1000, Mc Cune et al., 2006).

Es ist realistisch anzunehmen, dass feuerbrandanfällige Arten in der Umgebung von Obstanlagen von Apfelanlagenbetreibern eher toleriert werden, wenn deren Obstanlagen gegen die Krankheit resistent sind (Speiser et al., 2013).

Bewertung: +1

Die Auswirkungen des Anbaus von SFR-Äpfeln (d. h. die Verringerung der Pestizidapplikationen) auf die UZL-Arten wird logischerweise als positiv bewertet, wobei auch hier Daten aus Feldversuchen erforderlich wären, um diese Hypothese zu stützen.

Biodiversität – Erhaltung der Biodiversität – Genfluss auf verwandte Wildpflanzen und Invasivität in natürliche Habitats

Die Bestäubung von Wildäpfeln (z. B. Holzapfel *M. sylvestris*) durch Pollen von kommerziellen Apfelsorten ist möglich und Hybridisierungen sind häufig (Sweet und Bartsch, 2012). Auch Arten der Gattungen *Sorbus* und *Pyrus* sind mögliche Kreuzungspartner des Apfels und bei beiden Gattungen existieren wild wachsende Arten in der Schweiz. Solche Hybride überleben jedoch nur selten. Die Feuerbrandresistenz kann resistenten Galaäpfeln gegenüber anfälligen herkömmlichen Äpfeln und Wildäpfeln potenziell einen Vorteil verschaffen (Speiser et al., 2013) und somit können SFR-Galaäpfel theoretisch invasiver sein als herkömmliche Galaäpfel. Hingegen wird nicht erwartet, dass die Schorfresistenz den resistenten Galaäpfeln einen ähnlichen Vorteil verleihen kann.

Bewertung: 0

Bei Einhaltung der Koexistenzmassnahmen wird die Wahrscheinlichkeit eines vertikalen Gentransfers des Transgens auf verwandte Wildarten als extrem tief eingeschätzt, weswegen für dieses Kriterium die Wahrscheinlichkeit eines Genflusses vernachlässigbar bzw. gleich zu bewerten ist wie für herkömmliche Äpfel.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Bestäuber

Die Auswirkungen auf Bestäuber, die sich durch die Reduktion der angewendeten Fungizide ergeben, sind vergleichbar mit denjenigen beim Anbau von KKR-Kartoffeln (s. oben).

Bewertung: 0

Der Anbau von SFR-Äpfeln wird verglichen mit Äpfeln aus herkömmlichem Anbau als gleichwertig beurteilt, obschon für eine genauere Bewertung weitere Daten erforderlich wären.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Natürliche Schädlingsbekämpfung

Die beim Apfelanbau ausgebrachten Fungizide (Dithianon, Captan, Prohexadion) sind in unterschiedlichem Mass schädlich für *Typhlodromus pyri*, *Aphidius rhopalosiphii* und gewisse entomopathogene Pilze (Cuthbertson und Murchie, 2003, CESAR, 2014, APVMA, 2006, Sapiha-Waszkiewicz et al., 2004, Shah et al., 2014).

Bewertung: +1

Der Anbau von SFR-Äpfeln erlaubt es, die negativen Auswirkungen der Fungizide auf die in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzten Nützlingspopulationen zu beschränken.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem Boden

Generell wird die Auffassung vertreten, dass Fungizide einen direkten Einfluss auf Bodenorganismen haben (Bünemann et al., 2006, Riah et al., 2014); dadurch werden die Stickstoff- und Kohlenstoffbindungseigenschaften direkt (durch Pilze) und indirekt (durch Bakterien) verändert (Yang et al., 2011, Piotrowska et al., 2008). Der Wirkstoff LMA ist wenig chronisch toxisch für Erdwürmer (Oker-Chemie GmbH, 2013).

Mangels Daten aus Schweizer Versuchsfeldern lässt die Veränderung der mikrobiellen Diversität (Griffits et al., 2001, Wertz et al., 2007) jedoch nicht auf eine mögliche Veränderung auf der Ökosystemebene schliessen (Imfeld und Vuilleumier 2012).

Bewertung: 0

Mangels verfügbarer Daten wird davon ausgegangen, dass die Funktionen im Ökosystem Boden trotz eines geringeren Pestizideinsatzes in beiden Anbausystemen die gleichen sind.

Die Reduktion der Menge des ausgebrachten aktiven Wirkstoffs beim Anbau von SFR-Äpfeln wird beim Kriterium *Umweltqualität* berücksichtigt und an dieser Stelle ausgeklammert.

Biodiversität – Ökosystemfunktionen – Funktionen im Ökosystem Wasser

Die Reduktion der applizierten Wirkstoffe beim Anbau von SFR-Äpfeln trägt zur Stärkung der Widerstandskraft der Wasserökosysteme bei, obschon die rechtlichen Rahmenbedingungen für ihren Einsatz eigentlich sicherstellen sollten, dass diese Ökosysteme nicht beeinträchtigt werden. Mangels verfügbarer Daten werden die beiden Anbausysteme jedoch als gleichwertig beurteilt.

Bewertung: 0

Die Reduktion der Menge der ausgebrachten Wirkstoffe beim Anbau von SFR-Galaäpfeln wird beim Kriterium *Umweltqualität – Wasser* berücksichtigt und bei der Bewertung des Kriteriums Funktionen im Ökosystem Wasser ausgeklammert.

Umweltqualität – Luft – Treibhausgase – Kohlendioxid

Beim Anbau von SFR-Galaäpfeln werden sechs Spritzfahrten eingespart: Von 28 Spritzfahrten im herkömmlichen Anbau zu noch 22 beim Anbau von SFR-Galaäpfeln. Die Transportwege bleiben unverändert.

Bewertung: +1

Der reduzierte Treibstoffverbrauch in der Plantage führt dazu, dass die Kohlendioxidemissionen beim Anbau von SFR-Galaäpfeln verringert werden.

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – Ammoniak

Bewertung: 0

Der Anbau von SFR-Galaäpfeln hat keinen Einfluss auf die Ammoniakemissionen, da das Düngermanagement gleich bleibt wie beim herkömmlichen Anbau.

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – Stickoxide

Bewertung: +1

Analog zum CO₂.

Umweltqualität – Luft – Luftschadstoffe – Dieselruß

Bewertung: +1

Analog zum CO₂.

Umweltqualität – Wasser – Dünger

Bewertung: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements.

Umweltqualität – Wasser – PestizideBewertung: +1

Wie bei den Kriterien *UZL-Arten* sowie *Ökosysteme des Wassers und des Bodens* dargestellt, wird beim Anbau von SFR-Äpfeln ein geringerer Fungizidverbrauch unterstellt als beim herkömmlichen Anbau (Tabelle 9).

Umweltqualität – Boden – Physische Belastung – ErosionBewertung: 0

Keine Veränderung der Bodenbearbeitung und somit auch kein Einfluss auf die Erosion, welche dadurch entstehen kann.

Umweltqualität – Boden – Physische Belastung – VerdichtungBewertung: +1

Durch die Reduktion der Feldebefahrungen zum Ausbringen von Fungiziden wird der Boden weniger verdichtet.

Umweltqualität – Boden – Chemische Belastung – DüngerBewertung: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements.

Umweltqualität – Boden – Chemische Belastung – PestizideBewertung: +1

Die Reduktion der Pestizid applikationen beim Anbau von SFR-Äpfeln führt zu einer Verringerung der Bodenbelastung. Das Nachhaltigkeitskriterium wird deshalb leicht besser bewertet.

Ressourcenbedarf – WasserBewertung: 0

Der Anbau von SFR-Galaäpfeln hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf die Verwendung der Ressource Wasser in der Apfelplantage.

Ressourcenbedarf – EnergieBewertung: +1

Aufgrund der geringeren Anzahl Spritzfahrten und der Tatsache, dass die Branche bereits jetzt zur Kennzeichnung und zur Warenflusstrennung in der Lage ist, wird dieses Kriterium für den Anbau von SFR-Äpfeln positiv bewertet.

Ressourcenbedarf – LandBewertung: 0

Der Anbau von SFR-Äpfeln hat verglichen mit dem herkömmlichen Anbau keinen Einfluss auf die Verwendung der landwirtschaftlichen Nutzfläche.

Ressourcenbedarf – PestizideBewertung: +2

Die theoretische Reduktion der applizierten Wirkstoffe (Tabelle 9) beim Anbau von SFR-Äpfeln hat positive Auswirkungen auf dieses Kriterium.

Ressourcenbedarf – DüngerBewertung: 0

Keine Veränderung des Düngermanagements.

3.4.4. Zusammenfassung der Nachhaltigkeitsanalyse für den SFR-Apfel

Der wichtigste ökologische Effekt beim Anbau von SFR-Äpfeln ist theoretische Reduktion der applizierten Wirkstoffe – hauptsächlich Fungizide und antibakterielle Wirkstoffe. Dies hat logischerweise Auswirkungen auf die Ressourcennutzung (Abbildung 7), wie dies schon bei den anderen drei untersuchten Kulturen der Fall war. Überraschenderweise ergibt die Analyse durch das MCDA-Modell eine

geringere Nachhaltigkeit des Anbaus von SFR-Äpfeln sowohl für die Landwirte als auch für die Konsumenten. Der Grund für diese niedrige sozioökonomische Nachhaltigkeit ist die fehlende Akzeptanz transgener wie auch cisgener Organismen. Aus den Ergebnissen geht allerdings deutlich hervor, dass viele Daten fehlen, vor allem Daten zu den Umweltkriterien. Nur zusätzliche Studien auf herkömmlichen Apfelbäumen könnten diesbezüglich Aufschluss geben. So ist wenig bis gar nicht dokumentiert, wie sich die Veränderung der technischen Verfahren, beispielsweise die Reduktion der Fungizidapplikation, auf die Ökosysteme der Obstplantage auswirkt.

Das MCDA-Modell ist für die Bewertung der Nachhaltigkeit wenig hilfreich (Bohanec et al., 2008). Die Ergebnisse dieser vergleichenden Analyse des Anbaus von SFR-Äpfeln sind deshalb für zukunftsbezogene Aussagen nur beschränkt verwendbar. So ist die Dauerhaftigkeit von Resistenzen im Freiland sehr schwer vorhersehbar. Dieser Aspekt bedarf ebenfalls weiterer Untersuchungen, ebenso wie die tatsächlichen Auswirkungen der «Anhäufung» von mehreren Resistenzgenen auf die Dauerhaftigkeit dieser Resistenzen gegen Schorf und gegen Feuerbrand. Schliesslich ist bekannt, dass die Methoden zur Behandlung von Feuerbrand in der Schweiz im Wandel begriffen sind und dass der vorübergehende Einsatz bestimmter Antibiotika fortan verboten ist. Die prophylaktischen Methoden zur Bekämpfung von Schorf in Kombination «genetischen» Bekämpfungsmethoden wie solchen, die hier erörtert wurden, müssen erst noch konzipiert werden.

Abbildung 7. Bewertung des SFR-Galaapfels

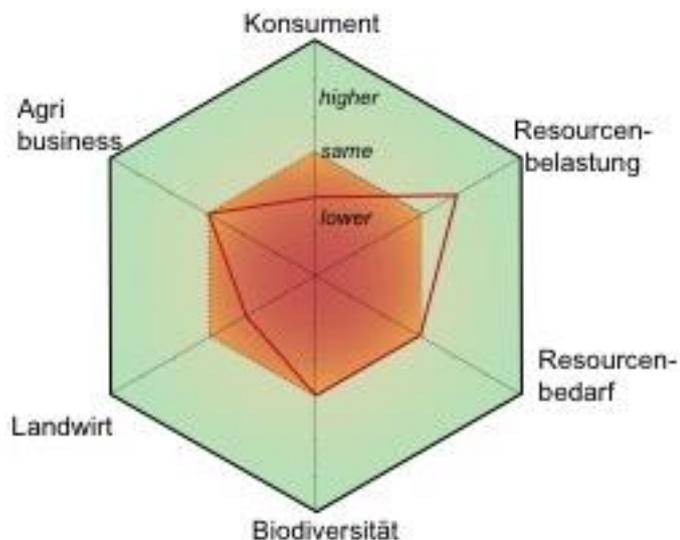


Tabelle 10. Evaluation der sechs GVO-Anbausysteme im Vergleich zu denjenigen des konventionellen Landbaus. Verwendet wurde eine fünfstellige Skala: -2, deutlich geringere; -1, geringere; 0, gleiche; 1, bessere; 2, deutlich bessere Nachhaltigkeit der GVO-Anbausysteme im Vergleich zu den konventionellen Systemen. Eine detaillierte Beschreibung der Szenarien findet sich in Tabelle 1.

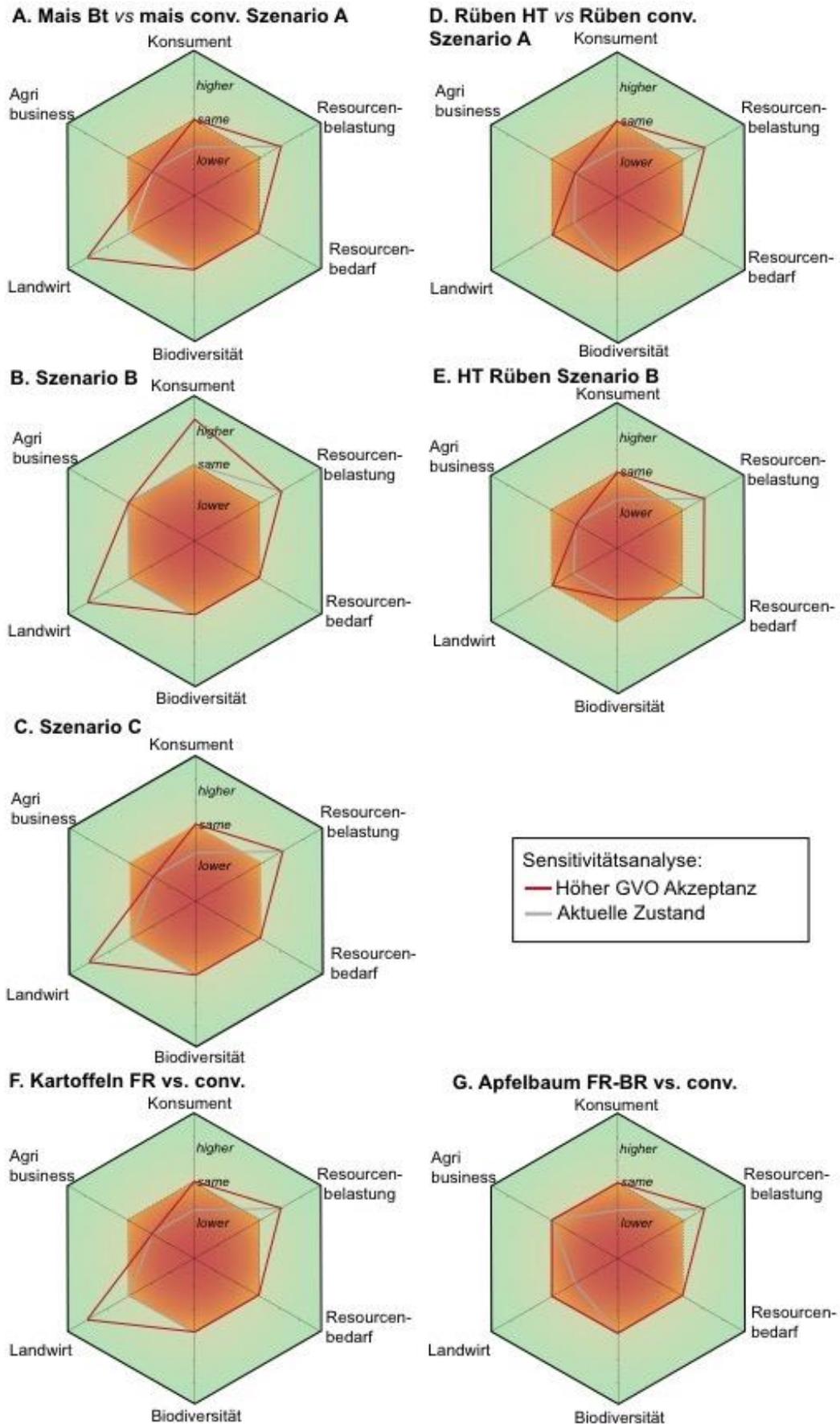
| | Bt Maize A | Bt Maize B | Bt Maize C | HT Beetroot A | HT Beetroot B | FR Potato | FR BR Apple |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|-----------|-------------|
| Sozioökonomische Kriterien | | | | | | | |
| Ertrag | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Verkaufspreis | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| Produktionskosten | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | 0 |
| Arbeitsaufwand | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Landw. Wirtschaftliche Unabhängigkeit | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Lokale Akzeptanz | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Agrarkultur | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | -1 |
| Innovation | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Saatgutselektion | -1 | -1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pestizide/Dünger | 0 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Warenfluss | -2 | 0 | -2 | -2 | -2 | -2 | 0 |
| Märkte | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Auswirkungen auf die Versorgung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Kontrollen | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Agrob. Wirtschaftliche Unabhängigkeit | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Auswirkungen auf KMU | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | 0 |
| Image/Ruf | -1 | -1 | -1 | -2 | -2 | -1 | -1 |
| Wahlfreiheit | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Gesundheitliche Folgen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Akzeptanz | -1 | 0 | -1 | -2 | -2 | -1 | -1 |
| Kaufpreis | -1 | 0 | -1 | -1 | -1 | -1 | -1 |
| Umweltkriterien | | | | | | | |
| Geschützte Arten | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| Genflüsse | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Invasivität | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 |
| Bestäuber | 0 | 0 | 0 | -1 | -1 | 0 | 0 |
| Biologische Schädlingsbekämpfung | 0 | 0 | 0 | -1 | 0 | 1 | 1 |
| Ökosysteme des Bodens | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ökosysteme des Wassers | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| CO ₂ -Emissionen | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| N ₂ O-Emissionen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Verflüchtigung Dünger/Pestizide | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Dieseleruss | -1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Pestizidabfluss | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| Düngerabfluss | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Erosionsrisiko | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Verdichtungsrisiko | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Pestizide | 1 | -1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Dünger | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Wasser | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Energie | -1 | 0 | 0 | -2 | -2 | -1 | 1 |
| Böden | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

3.5 Analyse der Sensitivität des Modells

Eine konstante Erkenntnis, die aus dem Vergleich der sieben GVO-Anbausysteme mit ihren herkömmlichen Pendanten resultiert, ist die geringe sozioökonomische Nachhaltigkeit, die im Wesentlichen auf die fehlende Akzeptanz von GVO zurückzuführen ist. Um genauer schätzen zu können, welchen Einfluss Veränderungen der Akzeptanz auf die Nachhaltigkeit der Anbausysteme haben, wurde das Modell einer Sensitivitätsanalyse unterzogen (Abbildung 8). Die im Modell gestützt auf die Konsultation der verschiedenen beteiligten Akteure implementierten Parameter wurden durch andere ersetzt, wobei eine maximale Akzeptanz von GVO seitens der Landwirte und Konsumenten unterstellt wurde. Es zeigt sich, dass der Bt-Mais und die KKR-Kartoffeln unter diesen Voraussetzungen für die Landwirte einen grösseren Nutzen bringen, während die Verbesserung der Nachhaltigkeit bei den gentechnisch veränderten Äpfeln und Zuckerrüben minim wäre.

Diese Analyse ist zwar spekulativ, sie zeigt aber, wie wichtig es ist, vor einem Anbau von GVO über die Akzeptanz der Konsumenten und der Landwirte zu verfügen, wenn ein Einsatz grüner Biotechnologien ins Auge gefasst wird. Selbstverständlich haben diese beiden Gruppen nicht dieselbe Sichtweise, was landwirtschaftliche Produkte angeht. Dies geht auch aus der Struktur des MCDA-Modells hervor (Abbildung 2 und 3). Eine Definition der Ansprüche jeder dieser Gruppen ist notwendig, um gegebenenfalls die wirtschaftliche Tragfähigkeit eines bestehenden oder in Entwicklung befindlichen GVO garantieren zu können. Diese ergänzende Analyse widerspiegelt die hohen Ansprüche der einzelnen betroffenen Gruppen und die starke Polarisierung der Debatte über die grüne Biotechnologie. Durch eine Kosten-Nutzen-Darstellung auf der obersten Ebene im Modell liesse sich nun ermitteln, welche Weichenstellungen und Anforderungen notwendig sind, um die Nachhaltigkeit des Agrarsystems insgesamt zu sichern.

Abbildung 8. Zusammenfassung der Änderungen der verschiedenen Komponenten der Nachhaltigkeit in Abhängigkeit von der theoretischen Veränderung der GVO-Akzeptanz aller Akteure



4 Diskussion

4.1 Die Unterscheidung zwischen kurzfristiger und langfristiger Nachhaltigkeit ist zentral

Die *Ex-Ante*-Analyse der Anbausysteme mit GVO erlaubte es, eine Methodik zur Schnellevaluation auf der Basis einer multikriteriellen Entscheidungs-Analyse (MCDA) bereitzustellen. Das Modell ermöglicht es, die potenziellen Auswirkungen eines beliebigen GVO im spezifischen sozioökonomischen und ökologischen Kontext der Schweizer Agrarsysteme zu beurteilen. Für die Modellierung und Implementierung wurden Daten aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen und die Meinungen von Experten aus den spezifischen Bereichen herangezogen (siehe Danksagungen). Auch das Design des Modells (Baumstruktur) ist das Ergebnis zahlreicher Konsultationen. Es darf jedoch angenommen werden, dass sich die Methode auch für andere (namentlich europäische) Agrarsysteme eignen würde. Die Stärke eines solchen Ansatzes liegt darin, dass quantitative und qualitative Daten zusammengeführt werden können, welche Aufschluss geben über die beiden Hauptkomponenten der Nachhaltigkeit: die sozioökonomische Komponente (die mitunter getrennt betrachtet wird, Lichtfouse et al., 2009) und die ökologische Komponente (Raymond Park et al., 2011).

Zwei weitere Studien befassen sich mit den möglichen Auswirkungen der Einführung von GVO in der Schweiz: eine umfassende Untersuchung des Forschungsinstituts für biologischen Landbau (Speiser et al., 2013) und ein Bericht der Schweizerischen Akademie der Wissenschaften (SCNAT, 2013). Abgesehen von der methodischen Neuerung, die hier eingebracht wird, bekräftigen die Resultate dieser beiden Studien die Schlussfolgerungen, zu denen wir hier gelangen. In einigen Punkten wie der Akzeptanz der Konsumenten oder dem Ausmass von Umweltauswirkungen sind Unterschiede festzustellen: Dies verdeutlicht sehr gut, wie wichtig der Kontext und die Berücksichtigung verschiedener Standpunkte bei Kosten-Nutzen-Analysen sind. Ziel dieser Studie war es, möglichst viele beteiligte Akteure (Stakeholder) zu berücksichtigen und dabei keinen zu begünstigen. Selbstverständlich lässt sich das gleiche Modell verwenden, indem die Struktur entsprechend den Prioritäten und Zielen dieser einzelnen Akteure angepasst wird.

Der Einsatz des MCDA-Modells in diesem Kontext stösst an Grenzen. Eine Grenze rührt daher, dass das Modell ein System zu einem bestimmten Zeitpunkt abbildet und sich nur beschränkt zur Beurteilung der langfristigen Entwicklung dieser Agrarsysteme eignet (Bohanec et al., 2008). So ist zum Beispiel die Beibehaltung von Fruchtfolgesystemen ein zentraler Bestandteil der Förderprogramme (Direktzahlungen) zugunsten der Landwirtschaft, und es ist ungewiss, wie sich der Anbau von GVO auf gewissen Parzellen diesbezüglich auswirken würde, wie Speiser et al. (2013) deutlich aufgezeigt haben. Ausserdem würde eine etwaige Zulassung in der Schweiz nur für bestimmte, durch die Koexistenzregeln vorgegebene Gebiete gelten, und es ist deshalb noch fraglicher, welche Wahlmöglichkeiten die Bauern bezüglich der möglichen Fruchtfolgen in diesen Gebieten wirklich hätten. Ebenso haben die vier Haupttypen von Resistenzen, die in den hier getesteten Szenarien zum Einsatz kommen (Resistenzen gegen Lepidoptera, Herbizide, Pilze und Bakterien) alle gezeigt, dass ihre Lebensdauer begrenzt ist (Brookes & Barfoot, 2013, Vogt et al., 2013, Fahrentrapp et al., 2013, Jin et al., 2015). Insbesondere die Bt-Systeme, die etliche wirtschaftliche und ökologische Vorteile aufwiesen (Hutchison et al., 2010, Lu et al., 2012, Edgerton et al., 2012), haben nach dem Auftreten von Resistenzen gegen Insektizid-Toxine an Wirksamkeit eingebüsst (Tabshnik et al., 2009, Gassmann et al., 2011). Auf das Problem der Resistenzen gegenüber Bt-Toxinen wurde schon vor längerer Zeit reagiert (Tabshnik et al., 1994). Die Agroindustrie trägt diesen Resistenzen bei ihren Entwicklungsprogrammen Rechnung, indem sie fortan Pflanzen verwendet, welche mehrere Varianten des Toxins exprimieren: In den USA sind derzeit 13 verschiedene Bt-Proteine zugelassen (Meissle et al., 2011, Abbas et al. 2013).

Befürwortet wird auch die Bereitstellung von natürlichen Rückzugsräumen, um den Druck auf die Schädlinge in ein Gleichgewicht zu bringen (Jin et al., 2015), ergänzt durch eine Erhöhung der Menge eingesetzter synthetischer Insektizide im Laufe der Zeit.

Bei den herbizidtoleranten Kulturpflanzen ist das Auftreten von Herbizidresistenzen mit 44 Arten Glyphosat-resistenten Arten, die 10 verschiedenen Pflanzenfamilien angehören, klar ausgewiesen (Green, 2014). Es kommen mehrere Strategien zum Einsatz, um Pflanzen Glyphosat-tolerant zu machen (Mutation des EPSPS, Überexprimierung des EPSPS, Acetylierung des Glyphosats), deren Lebensdauer ist aber wahrscheinlich nicht länger. Parallel dazu werden weitere Herbizid-/Toleranzen-

Kombinationen (Glufosinat, Dicamba, Sulfonylharnstoffe ...) eingesetzt. Die stark gestiegene Anwendung dieser meist schon seit Jahrzehnten eingesetzten Herbizide (mit bekannten Resistenzen) könnte neue Probleme im Bereich des Gesundheitsschutzes verursachen. Andererseits offenbaren auch gewisse Resistenzen gegen Krankheitserreger ihre Grenzen. Die vom *FB-MR5-Gen* verliehene Resistenz gegenüber dem Feuerbrand wurde bereits durch eine einfache Punktmutation durchbrochen (Vogt et al., 2013). Als Antwort darauf wird die Akkumulation verschiedener Gene (gene stacking) propagiert (Broggini et al., 2015).

Die vorliegende Analyse konzentriert sich auf monogene Eigenschaften: Die Kombination multipler Resistenzen sowohl gegen Insekten als auch gegen Herbizide (Typ SmartStax-Mais) wurde nicht implementiert, da davon ausgegangen wird, dass deren Einsatz in der Schweiz in naher Zukunft kaum wahrscheinlich ist. Anzuführen ist, dass jeder Einsatz solcher Linien mit einer massgeschneiderten, umfassenden Bewirtschaftungsstrategie (Fruchtfolgen, Rückzugsräume, Monitoring der Unkräuter und Resistenzen) einhergehen müsste, um eine maximale Lebensdauer dieser Systeme zu gewährleisten. Obschon mitnichten die absolute und endgültige Lösung, hat der breite Einsatz von GVO der ersten Generation (die sich im Wesentlichen auf agronomische Eigenschaften konzentrieren) auf anderen Kontinenten wiederholt gezeigt, wo deren Möglichkeiten und Grenzen liegen (Fernandez - Corejo et al., 2014). Die Komplexität der Pathogen-Wirt-Interaktionen erfordert 1) koordinierte Forschungsanstrengungen zur Klärung der genutzten Mechanismen und ihrer Lebensdauer, 2) einen individuell gestalteten (und lokalen) Ansatz für das Resistenzmanagement und die dadurch angeregten genetischen Lösungen, 3) ein zeitnahes und präzises Management der Entwicklung der Pathogene.

4.2 Koexistenz beeinflusst die Nachhaltigkeit

Die Koexistenzmassnahmen sollen die Trennung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und der Warenflüsse gewährleisten, um 1) die Umwelt zu schützen, 2) die Wahlfreiheit der Konsumenten zu erhalten und 3) die Reversibilität und eine zivilrechtliche Haftpflichtregelung im Falle möglicher Schäden durch GVO sicherzustellen. Die spezifischen Massnahmen zur Gewährleistung der Koexistenz werden derzeit durch die Behörden ausgearbeitet und beziehen die in Europa seit einem Jahrzehnt laufenden Arbeiten mit ein (MESSEAN et al., 2006). Unsere Studie hat gezeigt, dass die Errichtung einer neuen getrennten GVO-Wertschöpfungskette, (die in mancher Hinsicht vergleichbar wäre mit der Koexistenz zwischen konventionellem und biologischem Anbau), in vielen Fällen negative Auswirkungen auf die sozioökonomische Nachhaltigkeit hat. An dieser Stelle muss betont werden, wie schwierig es trotz der publizierten Daten und zahlreicher Expertenkonsultationen ist, herauszufinden, ab welchem Punkt der GVO-Anbau für die Landwirte wirtschaftlich rentabel wäre (MESSEAN et al., 2006). Beim Getreide wurden Mehrkosten von 5-15 % modelliert, damit ein maximaler Schwellenwert für Verunreinigungen von 0.9 % eingehalten werden kann, ab dem eine Kennzeichnungspflicht besteht (Messean et al., 2006, Menrad et al., 2009, Albisser Vögeli et al., 2011). Auch der Trennabstand zwischen GVO-Maiskulturen und Wildpflanzen ist ein Punkt, der intensiv diskutiert und oft jenseits jeder wissenschaftlichen Rechtfertigung als Mittel genutzt wird, um eine bestimmte Politik zu gestalten und durchzusetzen (Devos et al., 2009). In dieser Analyse sind die zu treffenden Koexistenzmassnahmen von den einzelnen Kulturen und von den Gegebenheiten der Strukturen im vor- und nachgelagerten Bereich abhängig. Verschiedene Faktoren haben einen Einfluss darauf, wie stark sich die Koexistenz auf die wirtschaftliche Tragfähigkeit der Kulturen auswirkt: die zusätzlichen Tests, die Kennzeichnung, neue Warenbewirtschaftungsstrategien (entsprechende Maschinen)...

Fazit: Will man insbesondere die Wahlfreiheit der Konsumenten erhalten, muss ein auf die einzelnen Kulturen zugeschnittener, klarer und strenger Rechtsrahmen für die Koexistenz implementiert werden, bevor ein GVO-Anbau in der Schweiz möglich und zukunftsfähig ist.

5 Schlussfolgerungen

In dieser Studie wurde eine Methode zur Beurteilung der Nachhaltigkeit von gentechnisch veränderten Pflanzen in der Schweiz entwickelt. Dies entspricht dem Auftrag des Artikels 187d LwG – Übergangsbestimmungen zur Änderung vom 22. März 2013. Diese Methode erlaubt eine schnelle und genaue Diagnose der möglichen Auswirkungen von GVO auf die Schweizer Agrarsysteme. Gestützt auf aktuelle wissenschaftliche Veröffentlichungen und eine Reihe von Konsultationen der beteiligten Akteure wurde ein Modell einer multikriteriellen Entscheidungsanalyse erstellt. Vier für die Schweizer Landwirtschaft wichtige Kulturpflanzen wurden in sieben verschiedenen Szenarien modelliert und getestet. Dabei wurden jeweils GVO-Anbausysteme und konventionelle Systeme verglichen. In jedem der sieben Szenarien wurden die sozioökonomische und die ökologische Nachhaltigkeit bewertet.

Die wichtigsten Ergebnisse der Analyse zeigen, dass ein möglicher Umweltnutzen von GVO im Wesentlichen darin besteht, dass die Menge an ausgebrachten Pestiziden im Vergleich zum herkömmlichen Anbau verringert werden könnte. Hingegen ist die sozioökonomische Nachhaltigkeit in sechs der sieben implementierten Szenarien gering. Grund dafür sind hauptsächlich die fehlende Akzeptanz von GVO seitens der Landwirte und der Konsumenten sowie die mit diesen Kulturen verbundenen Koexistenzmassnahmen. Der Anbau von Bt-Mais (Typ MON810) und HT-Zuckerrüben (Type H7-1) wäre derzeit für die Schweizer Wertschöpfungsketten nicht rentabel. Die KKR-Kartoffeln RM RTFB und die SFR-Apfelbäume sind erst in der Entwicklungsphase und noch nicht auf dem Markt verfügbar (Abbildung 8). Diese GVO gelten alle als GVO der ersten Generation: Sie wurden durch klassische Transgenese gezüchtet, um spezifische agronomische Eigenschaften herbeizuführen. Die HT- und Bt-Eigenschaften wurden typischerweise im Kontext einer intensiven Landwirtschaft mit Nutzflächen von mehreren hundert Hektar entwickelt, mit dem Ziel, die technischen Verfahren zu erleichtern bzw. zu flexibilisieren. Es ist daher wenig überraschend, dass sich diese beiden Kulturen – übertragen auf Schweizer Verhältnisse (wo die durchschnittliche Betriebsgrösse 17 beträgt, BLW, 2014) – als wenig geeignet erweisen und einen geringen sozioökonomischen und ökologischen Nutzen generieren (Speiser et al., 2013).

Die von unserem Modell aufgezeigten Grenzen der Bt- und HT-Systeme vermitteln allerdings ein etwas restriktives Bild des Potenzials der Biotechnologien (während das bestehende kommerzielle Angebot perfekt abgebildet wird). Seit einigen Jahren fokussieren Forschung und Entwicklung zunehmend auf Eigenschaften, die nicht nur auf die Ertragsstabilisierung sondern auf qualitative Verbesserungen der Kulturpflanzen ausgerichtet sind: glutenfreier Weizen, Biofortifikation des Reis (Anreicherung mit Mikronährstoffen wie Provitamin A, Eisen oder Zink), acrylamidfreie Kartoffeln, Äpfel, deren Farbe sich nicht verändert, wenn sie oxidieren... Sollten die Konsumenten und/oder der Handel darin einen qualitativen Vorteil erkennen, der einen signifikanten Marktmehrwert generieren würde, könnte der Druck auf den vorgelagerten Bereich zugunsten ihres Anbaus steigen. Die mangelnde Akzeptanz von GVO im landwirtschaftlichen Bereich, die im Widerspruch steht zur relativen Gleichgültigkeit (oder sogar positiven Haltung) gegenüber dem verbreiteten Einsatz von GVO im medizinischen Bereich (red biotech), ist ein entscheidender Faktor im Hinblick auf die Zukunftsfähigkeit von GVO im Agrarsektor. Die Ablehnung der europäischen Bevölkerungen, die der Debatte über den Nutzen von GVO in der Landwirtschaft vorgreift, ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen: zum Beispiel den fehlenden wissenschaftlichen Konsens, was die gesundheitliche Unbedenklichkeit der GVO und der mit ihrem Anbau verbundenen Pestizide angeht (Hilbeck et al, 2015), und ein allgemeines Misstrauensverhältnis gegenüber den Risiken der modernen TechnoWissenschaft (Bonneuil & Joly 2013, Habermas 1968).

Ein Punkt, der in dieser Studie nicht angesprochen wurde, ist das Aufkommen einer neuen Generation von transgenen Organismen (erzeugt durch Genom-Bearbeitungstechniken), welche eine rasante Entwicklung verzeichnen (Ledford 2015). Während die Insertion des Transgens bzw. die hervorgerufenen Mutationen bei den ersten Generationen von GVO zufällig erfolgten, erlauben es diese neuen Technologien, Gene gezielt an einer vordefinierten Stelle in das Genom einzuschleusen. Diese Technologien führen kombiniert mit den wachsenden Kapazitäten, die DNA zu lesen (Next Generation Sequencing) und zu schreiben (synthetische Biologie), dazu, dass das Potenzial dieser Techniken in den kommenden Jahren exponentiell steigen wird. Diese neuen Eigenschaften bringen zwei Hauptprobleme mit sich: ihren rechtlichen Status und ihre Rückverfolgbarkeit. Durch diese rasante Entwicklung werden der bestehende Rechtsrahmen sowohl in Europa (Richtlinie 2001/18CE) als auch in der

Schweiz (GTG, 814.91) voraussichtlich bald überholt sein. Aufgrund des Forschungsstands, der genannten Unsicherheiten sowie der Tatsache, dass sich die meisten durch diese Techniken erzeugten Transformationsereignisse nach heutigem Wissensstand nicht nachweisen lassen, haben wir es vorgezogen, uns an die GVO der ersten Generation zu halten. Das hier vorgestellte Modell liesse sich gegebenenfalls auch auf konkrete Fälle aus dieser neuen Generationen von GVO anwenden.

Abbildung 9. Beispiele von GVO-Kulturen, die in der Schweiz entwickelt und getestet wurden: A. Cisgene, Feuerbrand-resistente Apfelbäume und B. Feldversuch mit Kraut- und Knollenfäule-resistenten Kartoffeln auf dem «Protected Site» von Agroscope. Fotos Agroscope Reckenholz.

A.



B.



Ein Schlüsselthema in der Debatte um die Nachhaltigkeit von GVO sowohl in Bezug auf die Akzeptanz als auch in Bezug auf den Zugang zu den Technologien ist ihr Status bezüglich der Rechtsvorschriften über geistiges Eigentum. Sowohl der Bt-Mais als auch die HT-Zuckerrübe sind durch zwei Regelungen des geistigen Eigentums geschützt: das Pflanzenschutzzertifikat gemäss den in der Schweiz geltenden Regeln der UPOV91, welches die Pflanzensorte schützt, und ein Patent zum Schutz des Systems der Insektenresistenz bzw. der Herbizidtoleranz. Der SFR-Apfelbaum wiederum wurde von öffentlichen Einrichtungen entwickelt (ETH Zürich und Agroscope) und wäre nicht durch diese Patente geschützt. Er würde somit Züchtern und Landwirten frei zur Verfügung stehen. Die Klärung des Status von GVO als Erzeugnisse patentierter Technologien, aber auch als patentierbare Gegenstände (siehe den Fall des Melonenpatents, Europäisches Patentamt) könnte dazu beitragen, 1) dass die Akzeptanz der Biotechnologien durch die Konsumenten steigt, weil diese nicht als alleiniges Spielfeld industrieller Oligopole wahrgenommen würden, und 2) ein dezentraler, vermehrt auf die Hauptnutzer (die Landwirte) ausgerichteter Zugang ermöglicht wird.

Abschliessend können wir feststellen, dass die gegenwärtigen grünen Biotechnologien ohne eine auf den Kontext und die Problemstellungen der Schweizer Agrarsysteme zugeschnittene Weiterentwicklung, welche die Bedürfnisse der Landwirte mit den Anforderungen der Konsumenten auf einen Nenner bringt, in der Schweiz wenig zukunftsfähig sind (Baur & Nitsch, 2013). Das Beispiel des von Agroscope entwickelten SFR-Apfelbaums erscheint in diesem Lichte vielversprechend, obschon sich die in unserem Modell getestete Eigenschaft als relativ wenig nachhaltig erwies. In diesem Zusammenhang kommt der Fortführung und Förderung von transparenten Forschungsprogrammen zu lokalen Themen, flankiert durch moderne Pflanzenschutzprogramme, eine grosse Bedeutung zu (SCNAT, 2013). Es gilt für eine Vielzahl von agronomischen Problemen – wie z. B. Kontrolle von Pathogenen und Krankheiten, Toleranz gegenüber abiotischem Stress (Trockenheit) und Klimawandel, Belastung durch Schwermetalle, Erntequalität und ökologische Nachhaltigkeit – geeignete Lösungen zu finden. Der SFR-Apfel und der Mehltau-resistente Weizen (Brunner et al., 2012) sind gute Beispiele für konkrete Antworten auf zentrale Probleme. Obschon in einem Grossteil der heutigen Labelproduktion (IP, Bio) formell verboten, wird der Einsatz der Biotechnologien in nichtintensiven landwirtschaftlichen Systemen immer wieder propagiert (Kahan et al., 2013, Jacobsen et al., 2013, Andersen et al., 2015, Palmgren et al., 2015, Jacobsen et al., 2015).

Ungeachtet der Fronten zwischen Befürwortern und Gegnern der Gentechnik stellt sich die Frage, ob nicht neu darüber nachgedacht werden sollte, welche Rolle die Toolbox Gentechnik in der Schweizer Landwirtschaft von morgen spielen könnte. Die Kombination dieser Techniken mit Produktionssystemen mit geringem Betriebsmittelaufwand oder mit dem biologischen Anbau könnte eine neue nachhaltige Form der Landwirtschaft ermöglichen.

6 Anhang

6.1 Abkürzungen

| Abkürzungen | Bedeutung |
|-------------|--|
| GVO | Gentechnisch veränderter Organismus |
| Bt | Insektizides Toxin, das von der Bakterie <i>Bacillus thuringiensis</i> produziert wird |
| KKR | Kraut- und Knollenfäule-resistent |
| SFR | Schorf- und Feuerbrand-resistent |
| konv. | konventionnel |
| MCDA | Multikriterielle Entscheidungs-Analyse |

6.2 Literaturverzeichnis

Abbas HK, Zablotowicz RM, Weaver MA, et al (2013) Implications of Bt Traits on mycotoxin contamination in maize: Overview and recent experimental results in southern United States. In: Journal of Agricultural and Food Chemistry. pp 11759–11770

Aerni, P., Scholderer, J., Ermen, D. (2011): How would Swiss consumers decide if they had freedom of choice? Evidence from a field study with organic, conventional and GM corn bread. In: Food Policy 36: 830-838.

Agridea (2013a): Deckungsbeiträge 2013. Kann bezogen werden unter: www.agridea.ch > Übersicht > Publikationen > Betrieb, Familie, Diversifizierung > Buchhaltung, Betriebsplanung, Zahlen > Betriebsplanung (Stand 13.06.2014).

Agridea (2013b): Wirz Handbuch. Pflanzen und Tiere 2013 (wird jährlich neu aufgelegt).

Agridea (2014): Datenblätter Ackerbau. Kapitel Bekämpfungsschwellen. Kann bezogen werden unter: www.agridea.ch > Publikationen > Pflanzenbau > Ackerbau > Datenblätter Ackerbau (Stand 13.06.2014).

Agroscope (2014a): Erste Glyphosat-Resistenz in der Schweiz (PDF). Kann abgerufen werden unter: www.agroscope.ch > Aktuell > Medieninformationen > Mitteilungen für Fachmedien.

Agroscope (2014b): Geplanter Feldversuch mit cisgenen Kartoffeln mit Resistenz gegen die Kraut- und Knollenfäule. Kann abgerufen werden unter: <http://www.news.admin.ch,NSBSubscriber,message,attachments,37237.pdf> (Stand 26.11.2014)

Agroscope (2014c): Mykotoxine. Kann abgerufen werden unter: <http://www.agroscope.admin.ch,ernaehrung,01082,01110,01114,index.html?lang=de> (Stand: 06.06.2014).

Alarcon, Jr R.N., Hoffman, G.D., Wardell, G., (2009): Fungicides Can Reduce Pollination Potential. Western Farm Press. Vol 31(7) pp. 17 & 21.

Al-Assiuty, A. I.M., Khalil, M. A., Ismail, A. A., van Straalen, N.M. , Ageba, M. F. (2014): Effects of fungicides and biofungicides on population density and community structure of soil oribatid mites. Science of the Total Environment 466–467 (2014) 412–420.

Albisser Vögeli, G. , Burose, F. , Wolf, D. , Lips, M (2011): Wirtschaftlichkeit gentechnisch-veränderter Ackerkulturen in der Schweiz: Mit detaillierter Berücksichtigung möglicher Koexistenz-Kosten. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Ettenhausen.

- Andersen MM, Landes X, Xiang W, et al (2015) Feasibility of new breeding techniques for organic farming. *Trends Plant Sci* 20:426–34.
- Apisuisse (2013): Stellungnahme zur Koexistenzverordnung. Kann abgerufen werden unter: www.vdrb.ch > Aktuelles > Archiv (Stand 13.06.2014).
- APVMA = Australian Pesticides & Veterinary Medicines Authority (2006): Evaluation of the new active Prohexadione-Calcium in the Product Regalis Plant Growth Regulator. Kann abgerufen werden unter: http://www.apvma.gov.au/registration/assessment/docs/prs_prohexadione_calcium.pdf (Stand 21.05.2014).
- Auger, P., Kreiter, S., Mattioda, H., Duriatti, A. (2003): Side effects of mancozèbe on *Typhlodromus pyri* (Acari: Phytoseiidae) in vineyards: results of multi-year field trials and a laboratory study. *Experimental and Applied Acarology* 33: 203–213, 2004.
- Babendreier, D., Kuske, S., Bigler, F. (2003a): Non-target host acceptance and parasitism by *Trichogramma brassicae* Bezdenko (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in the laboratory. *Biological Control* 26 (2003) 128–138.
- Babendreier, D., Schoch, D., Kuske, S., Dorn, S., Bigler, F. (2003b): Non-target host acceptance and parasitism by *Trichogramma brassicae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae): what are the risks for endemic butterflies? *Agricultural and Forest Entomology* (2003) 5, 199–208.
- Babendreier, D., Rostas, M., Jöfte, C.J., Kuske, S., Bigler, F. (2003c): Effects of mass releases of *Trichogramma brassicae* on predatory insects in maize. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 108: 115–124.
- Biondi, Antonio, Mommaerts, Veerle, Smagghe, Guy, Vinuela, Elisa, Zappala, Lucia, Desneu, Nicolas (2012): The non-target impact of Spinosyns of beneficial arthropods. *Pest Management Science*, 2012; 68: 1523–1536.
- BAFU, BLW (2008): Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. Umwelt-Wissen Nr. 0820. Bundesamt für Umwelt, Bern: 221 S. Kann abgerufen oder bezogen werden unter: www.bafu.admin.ch > Dokumentation > Publikationen > Biodiversität (Stand 19.05.2014).
- BAFU, BLW (2013): Erläuternder Bericht betreffend die Änderung des Gentechnikgesetzes (Berücksichtigung der Ergebnisse des NFP 59 und der GVO-freien Gebiete). Entwurf vom 30. Januar 2013.
- Bantleon, G. (2012): Feuerbrand: Charakterisierung und Bekämpfungsmaßnahmen, Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften an der Universität Hohenheim.
- Barbar, Z. / Tixier MS., Kreiter S. (2007): Assessment of pesticide susceptibility for *Typhlodromus exhilaratus* and *Typhlodromus phialatus* strains (Acari: Phytoseiidae) from vineyards in the south of France. *Experimental and Applied Acarology* June 2007, Volume 42, Issue 2, pp 95-105.
- Baumgartner, D., Gilliard, A., Höhn, E. (2007): Essqualität von Äpfeln und Infrarotspektroskopie, Schweiz. Z. Obst-Weinbau; 20,07.
- Baur P, Nitsch H (2013) Umwelt- und Tierschutz in der Landwirtschaft: Ein Vergleich der Schweiz mit ausgewählten europäischen Ländern unter besonderer Berücksichtigung des Vollzugs.
- Beckert M, Dessaux Y, Tibi A. (2011). Variétés végétales tolérantes aux herbicides. Effets agronomiques, environnementaux, socio-économiques. Rapport d'expertise collective de l'INRA.
- Bernard, M. B., Horne, P. A., Hofmann, A. A. (2004): Developing an Ecotoxicological Testing Standard for Predatory Mites in Australia: Acute and Sublethal Effects of Fungicides on *Euseius victoriensis* and *Galendromus occidentalis* (Acarina: Phytoseiidae), *Journal of Economic Entomology* 2004 Jun; 97(3):891-9.

- Bigler, F., Albajes, R. (2011): Indirect effects of genetically modified herbicide tolerant crops on biodiversity and ecosystem services: the biological control example. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* (2011) 6 (Suppl 1): S79–S84.
- Biotechnologie.de (2011): BASF beantragt Zulassung für weitere Biotech-Kartoffel. Kann abgerufen werden unter: <https://www.biotechnologie.de/BIO/Navigation/DE/root,did=137496.html> (Stand 17.06.2014).
- Bitzer, A., Bregy, G., Schuler, R. (2012): Perspektiven für den Schweizer Apfel. Masterarbeit MBA 1004, Hochschule Luzern HSLU.
- BLW (2012): Agrarbericht 2012. Kann abgerufen werden unter: www.blw.admin.ch > Dokumentation > Publikationen > Archiv (Stand 13.06.2014).
- BLW (2013): Agrarbericht 2013. Kann abgerufen werden unter: www.blw.admin.ch > Dokumentation > Publikationen > Agrarbericht 2013 (Stand 13.06.2014).
- BLW (2014): Allgemeinverfügung über die Zulassung eines Pflanzenschutzmittels in besonderen Fällen. Sulfate de potassium-aluminium. Kann abgerufen werden unter: www.blw.admin.ch > Themen > Produktionsmittel > Pflanzenschutzmittel (Stand, 20.06.2014).
- Bock, A.-K., Lheureux, K., Libeau-Dulos, M., Nilsagard, H., Rodriguez-Cerezo, E. (2002): Scenarios for co-existence of genetically modified, conventional and organic crops in European agriculture. Report EUR 20394EN. Europäische Kommission: Joint Research Center.
- Bohanec M, Messéan A, Scatasta S, et al (2008) A qualitative multi-attribute model for economic and ecological assessment of genetically modified crops. *Ecol Modell* 215:247–261.
- Bonfadelli, H. (2010): Grüne Gentechnik im öffentlichen Diskurs: Interessen, Konflikte und Argumente. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH.
- Bonneuil C, Joly PB (2013). *Sciences, techniques et sociétés*. Ed. La Découverte.
- Broggini GA, Wöhner T, Fahrenttrapp J, Kost TD, Flachowsky H, Peil A, Hanke MV, Richter K, Patocchi A, Gessler C. (2014): Engineering fire blight resistance into the apple cultivar 'Gala' using the FB_MR5 CC-NBS-LRR resistance gene of *Malus x robusta* 5. *Plant Biotechnol J*. 12(6):728-33.
- Brookes G, Barfoot P (2013) Key environmental impacts of global genetically modified (GM) crop use 1996-2011. *GM Crops Food* 4:109–19. doi: 10.4161/gmcr.24459.
- Brookes, G., Barfoot, P. (2014): Global income and production effects of GM crops 1996-2012, *GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain 2014*, 5.1, 1-11.
- Bruck, D. (2009): Impact of fungicides on *Metarhizium anisopliae* in the rhizosphere, bulk soil and in vitro, *BioControl Journal of the International Organization for Biological Control*, 10.1007, s10526-009-9213-1
- Bundesinstitut für RisikoEvaluation (BfR) (2013): Das BfR hat einen Entwurf zur Neuevaluation des gesundheitlichen Risikos von Glyphosat erstellt. Kann abgerufen werden unter: http://www.bfr.bund.de/de,das_bfr_hat_einen_entwurf_zur_neuevaluation_des_gesundheitlichen_risikos_von_glyphosat_erstellt-188579.html (Stand 07.06.2014).
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2011): Maiszünsler – Ein raffinierter Schädling. Kann abgerufen werden unter: <http://www.biosicherheit.de/basisinfo/126.raffinierter-schaedling.html> (Stand 06.06.2014).
- Bünemann, E.K, Schwenke, G.D, Van Zwieten, L (2006): Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review, *Australian Journal of Soil Research*, 2006, 44, 379–406.

- Brunner S, Stirnweis D, Diaz Quijano C, et al (2012) Transgenic Pm3 multilines of wheat show increased powdery mildew resistance in the field. *Plant Biotechnol J* 10:398–409.
- Cakmak, I., Yaziki, A., Tutus, Y., Ozturk, L. (2009): Glyphosate reduced seed and leaf concentrations of calcium, manganese, magnesium, and iron in non-glyphosate resistant soybean. *European Journal of Agronomy* 31:114–119. doi:10.1016/j.eja.2009.07.001.
- Chamberlain, D.E., Freeman, S.N., Vickery, J.A. (2007): The effects of GMHT crops on bird abundance in arable fields in the UK. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 (2007) 350–356.
- Champion, G. (2011): Lessons learned from the farm scale evaluation of GMHT crops. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*. May 2011, Volume 6, Issue 1 Supplement, pp 73-78.
- Charta zur Qualitätsstrategie in der Schweizerischen Land- und Ernährungswirtschaft. Kann abgerufen werden unter: <http://www.qualitaetsstrategie.ch/de> (Stand 06.06.2014).
- Cheeke, T. E., Cruzan, M. B., Rosenstiel, T.N. (2013): Field Evaluation of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Colonization in *Bacillus thuringiensis* Toxin-Expressing (Bt) and Non-Bt Maize, *Applied and Environmental Microbiology*, 2013, 79(13):4078.
- CERA = Center for Environmental Risk Assessment (2010): A Review of the Environmental Safety of the CP4 EPSPS Protein, kann abgerufen werden unter: http://cera-gmc.org/docs/cera_publications/pub_01_2010.pdf (Stand 22.05.2014).
- Cernohlavkova, J., Jarkovsky, J., Hofman, J. (2009): Effects of fungicides mancozèbe and dinocap on carbon and nitrogen mineralization in soils, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72(2009)80–85.
- CESAR = Centre for Environmental Stress and Adaptation Research. Kann abgerufen werden unter: www.cesar.org.au > Beneficials > Search by Active ingredient > Captan (Stand 22.05.2014).
- CESAR = Centre for Environmental Stress and Adaptation Research. Kann abgerufen werden unter: www.cesar.org.au > Beneficials > Search by Active ingredient > Mancozèbe (Stand 22.05.2014).
- Comas, C., Lumbierres, B., Pons, X., Albajes, R. (2013): No effects of *Bacillus thuringiensis* maize on nontarget organisms in the field in southern Europe: a meta-analysis of 26 arthropod taxa. *Transgenic Research*, 2014, 23, Issue 1, pp 135-143.
- Cuthbertson, A.G.S., Murchie, A.K. (2003): The impact of fungicides to control apple scab (*Venturia inaequalis*) on the predatory mite *Anystis baccarum* and its prey *Aculus chlechtendali* (apple rust mite) in Northern Ireland Bramley orchards. *Crop Protection* 22 (2003) 1125–1130.
- Cycon, M., Piotrowska-Seget, Z., Koxdroj, J. (2010): Responses of indigenous microorganisms to a fungicidal mixture of mancozèbe and Diméthomorphe added to sandy soils. *International Biodegradation & Biodegradation* 64 (2010) 316-323.
- Dahinden, M., Romeis, J., Selter, L., Folkers, G. (2014): Gentechnikfreie Schweiz – (k)ein Szenario für die Zukunft. Kann abgerufen werden unter: www.plantsciences.uzh.ch > Outreach > Conferences & Symposia > Fachtagungen.
- Daouk S, De Alencastro LF, Pfeifer HR. (2013) The herbicide glyphosate and its metabolite AMPA in the Lavaux vineyard area, western Switzerland: proof of widespread export to surface waters. Part II: the role of infiltration and surface runoff. *J Environ Sci Health B*. 48(9):725-36.
- Délye, C., Jasieniuk, M., Le Corre, V. (2013): Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. *Trends in Genetics* (2013) Volume 29, Issue 11, November 2013, Pages 649–658.

- Demont, M., Devos, Y. (2008): Regulating coexistence between GM and non-GM crops without jeopardizing economic incentives. In: Trends in Biotechnology, 26(7); 353-358.
- Devos Y, Demont M, Dillen K, et al (2009) Coexistence of genetically modified (GM) and non-GM crops in the European Union. A review. Agron Sustain Dev 29:11–30.
- Dietiker, D., Stamp, P., Eugster, W. (2011): Predicting seed admixture in maize combining flowering characteristics and a Lagrangian stochastic dispersion model ; Field Crops Research, 2011, doi: 10.1016/j.fcr.2010.12.009.
- Dinter, A., Wiles, J. A. (2000): Safety of the new DuPont insecticide «Indoxacarb» to beneficial arthropods: an overview. Integrated Control in Viticulture IOBC, wprs Bulletin Vol. 22 (9) 2000 pp. 149 – 156.
- Duan, J.J., Marvier, M., Huesing, J., Dively, G., Huang, Z. Y. (2008): A Meta-Analysis of Effects of Bt Crops on Honey Bees (Hymenoptera: Apidae), PLoS ONE, 3(1): e1415. doi:10.1371/journal.pone.0001415
- Duke, S. O., Powles, S. B. (2008): Mini-review Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. Pest Management Science, 64 (2008), 319–325.
- Edgerton MD, Fridgen J, Anderson JR, et al (2012): Transgenic insect resistance traits increase corn yield and yield stability. Nat Biotechnol 30:493–496.
- Eggenschwiler, C., Lehmann, B., Rudmann, C., Wolf, H.P. (1999): Betriebswirtschaftliche Analyse des Einsatzes biologisch-technischen Fortschrittes unter Einbezug gentechnischer Varianten: Technischer Bericht. ETH Zürich: Institut für Agrarwirtschaft.
- Eidgenössisches Departement des Inneren (2005): Verordnung des EDI über gentechnisch veränderte Lebensmittel (VGVL). Stand: 23. November 2005.
- Eidgenössisches Institut für geistiges Eigentum (s.a.): Swissness. Schutz der Bezeichnung «Schweiz» und des Schweizerkreuzes. Kann abgerufen werden unter: <https://www.ige.ch/de/juristische-infos/rechtsgebiete/swissness.html> (Stand 06.06.2014).
- Eigenmann, C., Höhn, E., Kellerhals, M.; Apfel: was wollen die Konsumenten? Schweiz. Z. Obst-Weinbau, 19,05.
- EPA (2010): Biopesticides registration action document Cry1Ab and Cry1F Bacillus thuringiensis (Bt) Corn Plant-Incorporated Protectants. Kann abgerufen werden unter: <http://www.epa.gov/opp00001/biopesticides/pips/cry1f-cry1ab-brad.pdf> (Stand 13.06.2014).
- Eurobarometer (2010a): Biotechnologie Bericht. Europäische Kommission: Eurobarometer Spezial 328.
- Eurobarometer (2010b): Europeans and biotechnology in 2010 – Winds of change? Europäische Kommission: Technical Report.
- Fahrentrapp J, Brogini GA, Kellerhals M, et al (2013): A candidate gene for fire blight resistance in Malus x robusta 5 is coding for a CC–NBS–LRR. Tree Genet Genomes 9:237–251.
- Felber, F., Kozłowski, G., Arrigo, N., Guadagnuolo, R. (2007): Genetic and Ecological Consequences of Transgene Flow to the Wild Flora, Advances in Biochemical Engineering, Biotechnology (2007) 107: 173-205.
- Felke, M., Langebruch, G. (2005): Auswirkungen des Pollens von transgenem Mais Bt auf ausgewählte Schmetterlingslarven. BfN Skripten 157, 2005. Kann abgerufen werden unter www.bfn.de > Service > Veröffentlichungen > BfN Skripten > Gentechnik (Stand 16.05.2014).

- Fernandez-Cornejo, F., Wechsler, S., Livingston, M., Mitchell, L. (2014): Genetically Engineered Crops in the United States. United States Department of Agriculture. Economic Research Report Number 162.
- Gassmann AJ, Petzold-Maxwell JL, Keweshan RS, Dunbar MW (2011): Field-evolved resistance to Bt maize by Western corn rootworm. *PLoS One*.
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W. W., Emmerson, M., Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tschardtke, T., Winqvist, C., Eggers, S., Bommarco, R., Pärt, T., Bretagnolle, V., Plantegenest, M., Clement, L.W., Dennis, C., Palmer, C., Onate, J. J., Guerrero, I., Hawro, V., Aavik, T., Thies, C., Flohre, A., Hänke, S., Fischer, C., Goedhart, P.W., Inchausti, P. (2010): Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11(2010)97–105.
- Gessler, C., Patocchi, A., Sansavini, S., Tartarini, S., Gianfranceschi, L. (2006): *Venturia inaequalis* Resistance in Apple, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25:6, 473-503
- Gibbons, D. W., Bohan, D. A., Rothery, P., Stuart, R. C., Haughton, A. J., Scott, R. J., Wilson, J.D., Perry, J. N., Clark, S.J., Dawson, R. J.G. , Firbank, L. G. (2006): Weed seed resources for birds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences*, (2006) 273 1921-1928.
- Giesy, JP., Dobson, S., Solomon, K. (2000): Ecotoxicological risk assessment for Roundup® herbicide. In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 2000,8: 269-278.
- Gómez-Barbero, M., Rodríguez-Cerezo, E. (2006): Economic impact of GM crops worldwide: A review. Report EUR 22547 EN. Europäische Kommission: Joint Research center.
- Gómez-Barbero, M., Berbel, J., Rodríguez-Cerezo, E. (2008): Adoption and performance of the first GM crop introduced in EU agriculture: Bt maize in Spain. Report EUR 22778 EN. Europäische Kommission: Joint Research Center.
- Green, M.R. (1987): Energy in pesticide manufacture, distribution and use. *Energy in Plant Nutrition and Pest Control, Energy in World Agriculture Vol. 2: 165-177*
- Green, J.M. (2014): Current state of herbicides in herbicide-resistant crops. *Pest Manag. Sci.* 70:1351–1357.
- Griffiths, B.S., Ritz, K., Wheatley, R., Kuan, H.L., Boag, B., Christensen, S., Ekelund F., Sorensen, S.J., Muller, S., Bloeam, J. (2001): An examination of the biodiversity-ecosystem function relationship in arable soil microbial communities. *Soil Biology & Biochemistry* 33 (2001) 1713-1722.
- Habermas J. (1968). *Technik und Wissenschaft als Ideologie*. Suhrkamp Verlag. Frankfurt am Main.
- Hänsch, R , Mendel, RR (2009): Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn,Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion Plant Biology* 12: 259-266.
- Harris, M.L, van den Heuvel, M.R., Rouse, J., Martin, P.A., Struger, J., Bishop, C.A., Takacs, P. (2000): Pesticides in Ontario: A Critical Assessment of Potential Toxicity of Agricultural Products to Wildlife, with Consideration for Endocrine Disruption. Volume 1: Endosulfan, EBDC fungicides, Dinitroaniline herbicides, 1,3-Dichloropropene, Azinphos-methyl, and pesticide mixtures. Technical Report Series No. 340. Canadian Wildlife Service, Ontario Region.
- Hartzler, B (2010): Glyphosate-Manganese Interactions in Roundup Ready Soybean. Iowa State University, University Extension. 2 pp. Kann abgerufen werden unter: www.weeds.iastate.edu/mgmt,2010,glymn.pdf.

- Haughton, A.J., Champion, G. T, Hawes, C., Heard, M.S., Brooks, D.R., Bohan, D.A., Clark, S. J., Dewar, A.M., Firbank, L.G., Osborne, J.L., Perry, J.N., Rothery, P., Roy, D.B., Scott, R.J., Woiwod, I.P., Birchall, C., Skellern, M.P., Walker, J.H., Baker, P., Browne, E.L., Dewar, A.J.G., Garner, B.H., Haylock, L.A., Horne, S.L., Mason, N.S., Sands, R.J.N., Walker, M.J. (2003): Invertebrate responses to the management of genetically modified herbicide-tolerant and conventional spring crops. II. Within-field epigeal and aerial arthropods. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences*, (2003) 358 1863-1877.
- Hawes, C., Haughton, A.J., Osborne, J.L., Roy, D.B., Clark, S.J., Perry, J.N., Rothery, P., Bohan D. A., Brooks, D.R., Champion, G.T., Dewar, A.M., Heard, M.S., Woiwod, I.P., Daniels, R.E., Young, M.W., Parish, A.M., Scott, R.J., Firbank, L.G., Squire, G.R. (2003): Responses of plants and invertebrate trophic groups to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences* (2003) 358, 1899–1913.
- Heap, I. (2014): The International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Kann abgerufen werden unter: www.weedscience.org (Stand März 2014).
- Hebeisen, T., Ballmer, T., Musa, T., Torche, J.-M., Schwaerzel, R. (2013): Schweizerische Sortenliste für Kartoffeln 2014. *Agrarforschung Schweiz*. 4, (11-12), 2013, 1-8.
- Hilbeck A, Meier M, Römbke J, et al (2011): Environmental risk assessment of genetically modified plants - concepts and controversies. *Environ Sci Eur* 23:13.
- Hilbeck A, Lebrecht T, Vogel R, Heinemann JA, Binimelis R. (2013): Farmer's choice of seeds in four EU countries under different levels of GM crop adoption. *Environ Sci Eur*. 25:12, 1-13.
- Hilbeck A, Binimelis R, Defarge N, et al (2015) No scientific consensus on GMO safety. *Environ Sci Eur* 27:4.
- Hilton, H.W. (1957): Herbicide tolerant strains of weeds. *Hawaiian Sugar Plant. Assoc. Annu. Rep.* p 69.
- Hirzinger, T., Menrad, K. (2005): Effects of the regulation (EC) N° 1829,2003 and 1830,2003 on the german food industry. In: Messèan, A. (Hrsg.): *Proceedings, Second International Conference on Co-Existence between GM and non-GM based agricultural supply chains*, S. 125-130.
- Holland, J.M. (2004): The environmental consequences of adopting conservation tillage in Europe: reviewing the evidence. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103 (2004), 1–25.
- Holtschulte, Bernd, Korb, Gary, Miller, Jay (2011): Nutrient deficiencies in glyphosate-resistant sugar beets? *American Society of Sugar Beet Technologists, Proceedings from the 36th Biennial Meeting*. Kann abgerufen werden unter: <http://assbt-proceedings.org> > 2011 > Agronomy.
- Howard, J.H., Julian, S. E., Ferrigan, J. (2002): Golf course design and maintenance: impacts on amphibians. *USGA Turfgrass and Environmental Research Online* 1:1-21.
- Howell, C.C. (2011): How do pesticides impact soil microbial structure and functioning? PhD thesis, University of Warwick.
- HRAC = Herbicide Resistance Action Committee (2014). Kann abgerufen werden unter <http://www.hracglobal.com>, (Stand März 2014).
- Huber, DM (2007): What about glyphosate-induced manganese deficiency? *Fluid Journal Fall 2007*: 20-22.

- Hutchison WD, Burkness EC, Mitchell PD, et al (2010): Areawide Suppression of European Corn Bor-
er with Bt Maize Reaps Savings to Non-Bt Maize Growers. *Science* (80-) 330:222–225.
- Icoz, I., Stotzky, G. (2007): Fate and effects of insect-resistant Bt crops in soil ecosystems. *Soil Biolo-
gy & Biochemistry* 40 (2008) 559–586.
- Imfeld, G., Vuilleumier, S. (2012): Measuring the effects of pesticides on bacterial communities in soil:
a critical review, *European Journal of Soil Biology* 49 (2012) 22e30.
- Ipsilantis, I., Samourelis, C., Karpouzas, D. (2012): The impact of biological pesticides on arbuscular
mycorrhizal fungi. *Soil Biology & Biochemistry*, 45 (2012) 147e155.
- Jacobsen S-E, Sørensen M, Pedersen SM, Weiner J (2015): Using our agrobiodiversity: plant-based
solutions to feed the world. *Agron Sustain Dev*.
- Jacobsen S-E, Sørensen M, Pedersen SM, Weiner J (2013): Feeding the world: genetically modified
crops versus agricultural biodiversity. *Agron Sustain Dev* 33:651–662.
- Jänsch, M., Paris, R., Amoako-Andoh, F., Keulemans, W., Davey, M.W., Pagliarini, G., Tartarini, S.,
Patochi, A. (2013): A Phenotypic, Molecular and Biochemical Characterization of the First Cis-
genic Scab-Resistant Apple Variety 'Gala'. *Plant Mol Biol Rep* DOI 10.1007,s11105-013-0682-
0.
- Jahn, T., Hötker, H., Oppermann, R., Bleil, R., Vele, L.(2013): Protection of biodiversity of free living
birds and mammals in respect of the effects of pesticides. Federal Ministry for the Environment,
Nature Conservation and Nuclear Safety, Germany. Texte | 30,2014.
- Jensen, M., Linke, K., Dickhäuser, A., Feige, B. (1999): The effect of agronomic photosystem-II herbi-
cides on lichens, *Lichenologist* 31(1): 95-103.
- Jin L, Zhang H, Lu Y, et al (2015): Large-scale test of the natural refuge strategy for delaying insect
resistance to transgenic Bt crops. *Nat Biotechnol* 33:169–74.
- Jo K-R, Kim C-J, Kim S-J, et al (2014): Development of late blight resistant potatoes by cisgene stack-
ing. *BMC Biotechnol* 14:50.
- Kahane R, Hodgkin T, Jaenicke H, et al (2013): Agrobiodiversity for food security, health and income.
Agron Sustain Dev 33:671–693.
- Kahn, S., Bagwan, N.B., Fatima, S., Iqbal M.A. (2012): In vitro Compatibility of Two Entomopathogenic
Fungi with Selected Insecticides, Fungicides and Plant Growth Regulators, *Libyan Agriculture
Research Center Journal International* 3 (1): 36-41, 2012.
- Kegley, S.E., Hill, B.R., Orme S., Choi A.H. (2010a): PAN Pesticide Database, Pesticide Action Net-
work, North America (San Francisco, CA, 2010), Kann abgerufen werden unter:
http://www.pesticideinfo.org/List_AquireAcuteSum.jsp?Rec_Id=PC37275&Taxa_Group=Molluscs
(Stand 21.05.2014).
- Kegley, S.E., Hill, B.R., Orme S., Choi A.H. (2010b): PAN Pesticide Database, Pesticide Action Net-
work, North America (San Francisco, CA, 2010), Kann abgerufen werden unter:
http://www.pesticideinfo.org/List_AquireAcuteSum.jsp?Rec_Id=PC34569&Taxa_Group=Molluscs
(Stand 21.05.2014).
- Kim KH, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environ
Int.* 2015 Jan;74:136-43.

- Kniss A.R. (2010): Comparison of conventional and glyphosate-resistant sugarbeet in the year of commercial introduction in Wyoming. *Journal of Sugar Beet Research* 2010;47:127–34.
- Kohler, R. (2005): Kosten der Koexistenz landwirtschaftlicher Anbausysteme mit und ohne Gentechnik – eine Literaturanalyse. Tänikon: Agroscope, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik.
- Kowach, J., Petzoldt, C., Degni, J. (1992): A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides. In: *New York Food and Life Sciences Bulletin* Number 139.
- Krens FA, Schaart JG, van der Burgh AM, et al (2015): Cisgenic apple trees; development, characterization, and performance. *Front Plant Sci.*
- KWS (2013): *Cátalogo 2013*. Aktueller Katalog aus 2014 kann abgerufen werden unter: http://www.hectagro.pt/img/layout/destaque/catalogo-KWS-2014_3MB.pdf (Stand 13.06.2014).
- Lagnaoui, A., Radcliffe, E. B. (1998): Potato Fungicides Interfere With Entomopathogenic Fungi Impacting Population Dynamics of Green Peach Aphid, *American Journal of Potato Research* (1998) 75.-19-25.
- Lang, A., Arndt, M., Beck, R., Bauchhenss, J. (2005): Monitoring der Umweltwirkungen des Bt-Gens. Forschungsprojekt im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV). Kann abgerufen werden unter: www.lfl.bayern.de > Publikationen > LfL-Schrittenreihe (Stand, 16.05.2014).
- Ledford H. CRISPR, The disruptor. (2015). *Nature*, 522:20-24.
- Liao, X., Liu, J., Luo, S., Wu, J. (2013): Evaluation the Toxicity of Five Pesticides to Two Species of Bumblebees, *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica* 2013-04.
- Lichtfouse E, Navarrete M, Debaeke P, et al (2009): Agronomy for sustainable agriculture. A review. *Agron Sustain Dev* 29:1–6.
- Li, D.X., Tian, J., Shen, Z.R. (2006): Effects of pesticides on the functional response of predatory thrips, *Scolothrips takahashii* to *Tetranychus viennensis*. *Journal of Applied Entomology* 130(5), 314–322 (2006).
- LID = Landwirtschaftlicher Informationsdienst (2014): Allgemeines zur Kartoffel. Kann abgerufen werden unter www.landwirtschaft.ch > Wissen > Pflanzen > Kartoffelbau (Stand 17.06.2014).
- Liebegg, Landwirtschaftliches Zentrum (2012): Steckbrief Zuckerrüben. Kann abgerufen werden unter www.liebegg.ch > Fachwissen > Feldbau > Publikationen Liebegg > Steckbriefe von Ackerkulturen > Zuckerrüben (Stand 9.05.2014).
- Lu Y, Wu K, Jiang Y, et al (2012): Widespread adoption of Bt cotton and insecticide decrease promotes biocontrol services. *Nature* 487:362–365.
- Malone, L.A., Burgess, E.P.J (2009): Impact of genetically modified crops on pollinators. In: *Environmental Impact of Genetically Modified Crops*, Ferry N & Gatehouse AMR (eds.). CAB International, UK. pp. 199-222.
- Mamy, L., Gabrielle, B., Barriuso, E. (2010): Comparative environmental impacts of glyphosate and conventional herbicides when used with glyphosate-tolerant and non-tolerant crops. *Environmental Pollution* 158 (2010) 3172e3178.

- Mann, S. (2013): Gentechnik und Wettbewerbsfähigkeit unter Schweizer Bedingungen. Podcast kann abgerufen werden unter: www.multimedia.ethz.ch > Conferences > 2013 > Grüne Gentechnologie (Stand 17.06.2014).
- Menrad K, Gabriel A, Gylling M (2009): Costs of co-existence and traceability systems in the food industry in Germany and Denmark. Paper prepared for presentation on GMCC 2009, Melbourne.
- Messean A, Angevin F, Gomez-Barbero M, et al (2006): New case studies on the coexistence of GM and non-GM crops in European agriculture. 1-112.
- McConnell, L.L, Sparling, D.W. (2010): Emerging contaminants and their potential effects on amphibians and reptiles. *Ecotoxicology of Amphibians and Reptiles, Second Edition*, CRC Press 2010 Pages 487–509.
- McCune, B., Grenon, J., Martin, E. (2007): Lichens in Relation to Management Issues in the Sierra Nevada National Parks, *North American Fungi (2007)*: 1-39.
- Meissle, M., Mouron, P., Musa, T., Bigler, F., Pons, X., Vasileiadis, V.P., Otto, S., Antichi, D., Kiss, J., Palinka, Z., Dorner, Z., van der Weide, R., Groten, J., Czembor, E., Adamczyk, J., Thibord, J.-B., Melander, B., Cordsen Nielsen, G., Poulsen, R.T., Zimmermann, O., Verschwele, A., Oldenburg, E. (2011): Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *Journal of Applied Entomology* 134: 357-375.
- Menrad, K., Gabriel, A., Gylling, M. (2009): Costs of co-existence and traceability systems in the food industry in Germany and Denmark. Paper prepared for presentation on GMCC 2009, Melbourne.
- Mesnage R, Bernay B, Séralini GE. Ethoxylated adjuvants of glyphosate-based herbicides are active principles of human cell toxicity. *Toxicology*. 2013 Nov 16;313(2-3):122-8.
- Mildner, U., Kühne, A., Pöhlitz, B., Westphal, K., Steinhöfel, O., Schareff, A., Lichtenberg-Kraag, B., Gruber, H. (2011): Vertiefende Untersuchungen zu Konsequenzen des GVO-Anbaus in Sachsen. Schriftenreihe Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen: Heft 11, 2011.
- Moder, G., Heissenberger, A., Pöchltrager, S. (2004): Umsetzung der Codex-Richtlinie zur Definition der Gentechnikfreiheit im Futtermittelbereich – basierend auf festgelegten Grenzwerten im Bio-bereich. Wien: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Bundesministerium für Gesundheit und Frauen, Lebensministerium. Forschungsprojekt Nr. 1273.
- Moncada, A. (2003): Environmental fate of Indoxacarb. Department of Pesticide Regulations. Sacramento CA. Kann abgerufen werden unter: <http://www.cdpr.ca.gov/docs/emon/pubs/fatememo/indoxacarb.pdf> (Stand 16.05.2014).
- Mouron, P., Carint, D. (2001): Rendite-Risiko-Profil von Tafelobstanlagen, Teil I und II. *Schweizerische Zeitschrift für Obst- und Weinbau* 137(5): 78-81 und 106-110.
- Musche, M., Settele, J., Durka, W. (2009): Basisstudie zur Wechselwirkung von gentechnisch verändertem Mon810-Mais mit spezifische Schmetterlingsarten. Gutachten im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft. Kann abgerufen werden unter www.sachsen.de > Umwelt, Landwirtschaft, Wald > Umwelt > Bio- und Gentechnologie, Chemikalien > Bio- und Gentechnologie > Veröffentlichungen (Stand 16.05.2014).
- Naranjo, S. E. (2009): Impacts of Bt Crops on non-target invertebrates and insecticide use patterns. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 2009 4, No. 011.

- Nationales Forschungsprogramm 59, Leitungsgruppe (Hrsg.) (2012): Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen. Programmsynthese.
- NECR090 = Natural England Commissioned Report (2012): Economic, biodiversity, resource protection and social values of orchards: A study of six orchards by the Herefordshire Orchards Community Evaluation Project. Kann abgerufen werden unter: www.naturalengland.org.uk > About us > News, Press release > 2012 (Stand 03.06.2014).
- Nemecek, T., Kägi, T. (2007): Life Cycle Inventories of Swiss and European Agricultural Production Systems, Final report ecoinvent V2.0 No. 15a. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, CH, retrieved from: www.ecoinvent.ch
- Nationales Forschungsprogramm (NFP) 59 (2012): Nutzen und Risiken der Freisetzung gentechnisch veränderter Pflanzen, Programmsynthese des Nationalen Forschungsprogramms 59.
- Newmaster, S. G., Bell, W. F., Vitt, D. H. (1999): The effects of glyphosate and triclopyr on common bryophytes and lichens in northwestern Ontario, Can. J. For. Res. 29: 1101-1111.
- Nichterlein, H., Matzk, A., Kordas, L., Kruas, J., Stibbe, C. (2013): Yield of glyphosate-resistant sugar beets and efficiency of weed management systems with glyphosate and conventional herbicides under German and Polish crop production. Transgenic Research (2013) 22:725–736.
- NRC = National Research Council (2010): Impact of Genetically Engineered Crops on Farm Sustainability in the United States. Committee on the Impact of Biotechnology on Farm-Level Economics and Sustainability. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- NYSIPM 2014 = New York State Integrated Pest Management. Datenbank kann abgerufen oder bezogen werden unter: www.nysipm.cornell.edu > IPM Tools > Environmental Impact Quotient (EIQ) > Table 2 List of Pesticides (Stand: 9.05.2014).
- Oehen, B., Hermanowski, R., Mäder, R., Morgner, M., Stolze, M. (2006): Kosten der Vermeidung von Gentechnik für Lebensmittelherstellung und -handel. Teilbericht 1.
- OKER-CHEMIE GmbH (2013): Sicherheitsdatenblatt Kaliumalaun. Kann abgerufen werden unter : http://www.oker-chemie.de/pdfs/747894_2_K_Alaun_de.PDF (Stand 22.05.2014).
- Palmgren MG, Edenbrandt AK, Vedel SE, et al (2015) Are we ready for back-to-nature crop breeding? Trends Plant Sci 20:155-64.
- Perry, J.N., Devos, Y., Arpaia, S., Bartsch, D., Gathmann, A., Hails, R.S., Kiss, J., Lheureux, K., Manachini, B., Mestdagh, S., Neemann, G., Ortego, F., Schiemann, J., Sweet, J.B. (2010): A mathematical model of exposure of non-target Lepidoptera to BT-Maize pollen expressing Cry1Ab within Europe. Proceedings of the Royal Society Biological Sciences, (2010) 277, 1417–1425. Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV, 2010: Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. 919.161.
- Pettis JS, Lichtenberg EM, Andree M, Stitzinger J, Rose R, (2013): Crop Pollination Exposes Honey Bees to Pesticides Which Alters Their Susceptibility to the Gut Pathogen *Nosema ceranae*. PLoS ONE 8(7): e70182. doi:10.1371/journal.pone.0070182.
- Piotrowska-Seget, R., Engel, R., Nowak, E., Kozdroj, Jacek (2008): Successive soil treatment with captan or oxytetracycline affects non-target microorganisms.

- Price, G.K., Lin, W., Falck-Zepeda, J.B., Fernandez-Cornejo, J. (2003): Size and Distribution of Market benefits From Adopting Biotech Crops. United States Department of Agriculture: Technical Bulletin Number 1906.
- Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV, 2010: Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. 919.161. Kann abgerufen werden unter: www.admin.ch > Bundesrecht > Systematische Rechtssammlung > Landesrecht > 9 Wirtschaft – Technische Zusammenarbeit > 91 Landwirtschaft > 916.161 Verordnung vom 12. Mai 2010 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln (Pflanzenschutzmittelverordnung, PSMV) (Stand 13.06.2014).
- Poletta, G.L., Larriera, A., Kleinsorge, E., Mudry, M.D (2009): Genotoxicity of the herbicide formulation Roundup® (glyphosate) in broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*) evidenced by the Comet assay and the Micronucleus test. *Mutation Research, Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, Volume 672, Issue 2, 31 January 2009, Pages 95–102.
- Qaim, M. (2009): The economics of genetically modified crops. *Annual Review of Resource Economics*, Vol. 1: 665-694.
- Raymond Park J, McFarlane I, Hartley Phipps R, Ceddia G (2011): The role of transgenic crops in sustainable development. *Plant Biotechnol. J.* 9:2–21.
- Raudonis, L. (2001): Harmful insect fauna in apple orchards and systems of control means to reduce its harm. *Horticulture and vegetable growing* 20(1):55– 68.
- Relyea, R. A., Jones, D. K. (2009): The toxicity of Roundup Original Max to 13 species of larval amphibians. *Environmental Toxicology and Chemistry*, (2009) 2004–2008.
- Riah, W., Laval, K., Laroche-Ajzenberg, E., Mougin, C., Latour, X., Trinsoutrot-Gattin, I. (2014): Effects of pesticides on soil enzymes: a review. *Environmental Chemistry Letters* June 2014, Volume 12, Issue 2, pp 257-273.
- Riscu, A., Bura, M. (2013): The Impact of Pesticides on Honey Bees and Hence on Humans. *Animal Science and Biotechnologies*, 2013, 46 (2).
- Rose, R., Dively, G. P., Pettis, J. (2007): Effects of Bt corn pollen on honey bees: Emphasis on protocol development, *Apidologie* 38 (2007) 368–377.
- Roy, D.B., Bohan, D.A., Houghton, A.J., Hill, M.O., Osborne, J.L., Clark, S.J., Perry, J.N., Rothery, P., Scott, R.J., Brooks, D.R., Champion, G.T., Hawes, C., Heard, M.S., Firbank, L.G. (2003): Invertebrates and vegetation of field margins adjacent to crops subject to contrasting herbicide regimes in the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences* (2003) 358, 1879–1898.
- Ruoss, E. (1999): How agriculture affects lichen vegetation in central Switzerland. *Lichenologist* 31(1): 63-73.
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J.-E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., Doré, T. (2008): Ex ante assessment of the sustainability of alternative cropping systems: implication for using multi-criteria decision-aid methods. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 28: 163-174.
- Sánchez-Bayo, F. (2011): Insecticides Mode of Action in Relation to Their Toxicity to Non-Target Organisms. *Journal Environmental & Analytical Toxicology* S4:002. doi:10.4172,2161-0525.S4-002.

- Sapieha-Waszkiewicz, A., Marjańska-Cichoń, B., Miętkiewski, R. (2004): The effect of fungicides applied in apple orchards on entomopathogenic fungi in vitro, *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Horticulture*, Volume 7, Issue 1.
- Schiefer, C., Schubert, R., Pölit, B., Kühne, A., Westphal, K., Steinhöfel, O., Schaerff, A. (2008): Untersuchungen zu Konsequenzen des Anbaus von GVO in Sachsen. *Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft* : Heft 15,2008.
- Schmitz, G., Bartsch, D., Pretscher, P. (2003): Selection of relevant non-target herbivores for monitoring the environmental effects of Bt maize pollen. *Environmental Biosafety Research* 2 (2003) 117–132.
- Schweiger, J., Szerencsits, E. (2009): Nachbarschaftliche Aspekte der Koexistenz mit transgenen Kulturen am Beispiel einer Schweizer Ackerbauregion. *Jahrbuch der österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie*.
- SCNAT = Akademien der Naturwissenschaften Schweiz (2013): Gentechnisch veränderte Nutzpflanzen und ihre Bedeutung für eine nachhaltige Landwirtschaft in der Schweiz.
- SFZ = Schweizerische Fachstelle für Zuckerrübenbau (2013a): Der Rübenpflanzer II, 2013. Kann abgerufen werden unter www.zuckerruebe.ch > Zuckerrüben > Unkraut > Unkrautkontrolle (Stand 13.06.2014).
- SFZ = Schweizerische Fachstelle für Zuckerrübenbau (2013b) : Sortenliste 2013. Kann abgerufen werden unter www.zuckerruebe.ch > Zuckerrüben > Sorten > Sortenliste 2013 (Stand 13.06.2014).
- SFZ = Schweizerische Fachstelle für Zuckerrübenbau (2003). Der Rübenpflanzer II, 2003. Kann abgerufen werden unter www.zuckerruebe.ch > Zuckerrüben > Weitere > Travail du sol (Stand 13.06.2014).
- Shah, F.A., Ansari, M.A., Watkins, J., Phelps, Z., Cross, J., Butt, T.M. (2009): Influence of commercial fungicides on the germination, growth and virulence of four species of entomopathogenic fungi, *Biocontrol Science and Technology*, 19:7, 743-753.
- Shukla A.K. (2000): Impact of Fungicides on soil microbial population and enzyme activities, *Acta Botanica Indica* 28:85-87, 2000.
- SIS = Specialized Information Services, U. S. National Library of Medicine, National Institutes of Health U.S. Department of Health & Human Services (2013). Kann abgerufen werden unter: <http://chem.sis.nlm.nih.gov/chemidplus/rn/25417-20-3> (Stand 14.05.2014).
- Speiser, B., Stolze, M., Oehen, B., Gessler, C., Weibel, F. P., Bravin, E., Kilchenmann, A., Widmer, A., Charles, R., Lang, A., Stamm, C., Triloff, P., Tamm, L. (2013): Sustainability assessment of GM crops in a Swiss agricultural context. In: *Agronomy for Sustainable Development*, 33,1; 21-61.
- Squire, G.R., Brooks, D.R., Bohan, D.A., Champion, G.T., Daniels, R.E., Houghton, A.J., Hawes, C., Heard, M.S., Hill, M.O., May, M.J., Osborne, J.L., Perry, J.N., Roy, D.B., Woiwod, I.P., Firbank, L.G. (2003): On the rationale and interpretation of the Farm Scale Evaluations of genetically modified herbicide-tolerant crops. *Proceedings of the Royal Society Biological Sciences* (2003) 358, 1779–1799.
- Stachler, J., Carlson, A., Luecke, J., Boetel, M., Khan, M. (2010): Survey of weed control and production practices on sugarbeet in Minnesota and Eastern North Dakota 2010, <http://www.sbreb.org>.

- Strickhof (2012a): UFA-Revue: Maiszünsler startet durch. Kann abgerufen werden unter: www.strickhof.ch > Über uns > Strickhof in den Medien > UFA Revue 08.02.2012. (Stand 13.06.2014).
- Strickhof (2012b): UFA-Revue: Glyphosat im Acker- und Futterbau. Kann abgerufen werden unter: http://www.ufarevue.ch/deu,2012_24919.shtml (Stand 13.06.2014).
- Strickhof (2014): Pflanzenschutzmittel im Feldbau. Kann bezogen werden unter: www.strickhof.ch > Fachwissen > Pflanzenschutzmittel > Broschüre , Mittelheft (Stand 13.06.2014).
- Surviliene, E., Raudonis, L., Jankauskiene, J. (2009): Investigation of pesticides effect on pollination of bumblebees in greenhouse tomatoes. Scientific works of the lithuanian institute of horticulture and lithuanian university of agriculture. Sodininkyste ir carzininkyste. 2009. 28(3).
- Sweet, J., Bartsch, D. (2012): Synthesis and Overview Studies to Evaluate Existing Research and Knowledge on Biological Issues on GM Plants of Relevance to Swiss Environments: National Research Programme 59 «Benefits and Risks of the Deliberate Release of Genetically Modified Plants»: Review of international Literature. vdf Zürich.
- swisspatat (2013): Schweizerische Handelsusancen für Kartoffeln. Ausgabe 2013. Kann abgerufen werden unter: www.kartoffel.ch/fileadmin/redaktion/pdf/Branchenecke,Informationen,handelsusancen,HUS_2013_d.pdf (Stand 08.12.2014).
- Swisspatat (2014) : Statistiken. Kann abgerufen werden unter: www.swisspatat.ch > Branchenecke > Statistiken (Stand 17.06.2014).
- Szankowski, I., Waidmann, S., Degenhardt, J., Patocchi, A., Paris, R., Silfverberg-Dilworth, E., Brogini, G., Gessler, C. (2009): Highly scab-resistant transgenic apple lines achieved by introgression of HcrVf2 controlled by different native promoter lengths. *Tree Genetics & Genomes* April 2009, Volume 5, Issue 2, pp 349-358.
- Tabashnik BE, Finson N, Groeters FR, et al (1994): Reversal of resistance to *Bacillus thuringiensis* in *Plutella xylostella*. *Proc Natl Acad Sci U S A* 91:4120–4124.
- Tabashnik BE, Unnithan GC, Masson L, et al (2009): Asymmetrical cross-resistance between *Bacillus thuringiensis* toxins Cry1Ac and Cry2Ab in pink bollworm. *Proc Natl Acad Sci U S A* 106:11889–11894.
- Trapman, M. (2006): Resistance management in Vf apple scab resistant organic apple orchards. [Resistenz Management in Vf Schorf resistente ökologische Apfelanlagen.] In: Boos, Markus (Ed.) *ecofruit – 12th International Conference on Cultivation Technique and Phytopathological Problems in Organic Fruit-Growing: Proceedings to the Conference from 31st January to 2nd February 2006 at Weinsberg, Germany, Fördergemeinschaft Ökologischer Obstbau e.V. (FÖKO), Weinsberg, Germany, pp. 108-112.*
- Traxler, A., Minarz, E., Höttinger, H., Pennerstofer, J., Schmatzberger, A., Banko, G., Placer, K., Hadrobolec, M., Gaugitsch H. (2005): Biodiversitätsh hotspot der Agrarlandschaft als Eckpfeiler für Risikoabschätzung und Monitoring von GVO. Kann abgerufen werden unter: www.bmgf.gv.at > Service > Publikationen bestellen (Stand 16.05.2014).
- Turrini, A., Sbrana, C., Nuti, M.P., Pietrangeli, B., Giovannetti, M. (2004): Development of a model system to assess the impact of genetically modified corn and aubergine plants on arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 266, 69–75.

- University of Hertfordshire (2013a): The Pesticide Properties DataBase (PPDB) developed by the Agriculture & Environment Research Unit (AERU), University of Hertfordshire, 2006-2013.
- University of Hertfordshire (2013b): The Bio-Pesticides Database (BPDB) developed by the Agriculture & Environment Research Unit (AERU), University of Hertfordshire, 2011-2013.
- Vanblaere T, Szankowski I, Schaart J, et al (2011): The development of a cisgenic apple plant. *J Biotechnol* 154:304–311.
- van Frankenhuyzen, K. (2009): Insecticidal activity of *Bacillus thuringiensis* crystal proteins. *Journal of Invertebrate Pathology*, 101 (2009) 1–16.
- Vogt, I., Wöhner, T., Richter, K., Flachowsk, H., Sundin, G.W., Wensing, A., Savory, E.A., Geider, K., Day, B., Hanke, M.V., Peil, A. (2013): Gene-for-gene relationship in the host-pathogen system *Malus × robusta* 5-*Erwinia amylovora*. *New Phytol.* 2013 Mar;197(4):1262-75. doi: 10.1111,nph.12094. Epub 2013 Jan 10.
- VSKP = Vereinigung Schweizerischer Kartoffelproduzenten (2013): Jahresbericht 2013. Kann abgerufen werden unter: www.kartoffelproduzenten.ch > Über uns > Jahresberichte (Stand 17.06.2014).
- Walter, T., Eggenberg, S., Gonseth, Y., Fivaz, F., Hedinger, C., Hofer, G., Klieber-Kühne, A., Richner, N., Schneider, K., Szerencsits, E., Wolf, S. (2013): Operationalisierung der Umweltziele Landwirtschaft: Bereich Ziel- und Leitarten, Lebensräume (OPAL). ART-Schriftenreihe 18, 1-138.
- Weir, S. M., Suski, J. G., Salice, C. J. (2010): Ecological risk of anthropogenic pollutants to reptiles: Evaluating assumptions of sensitivity and exposure. *Environmental Pollution* 158 (2010) 3596e3606.
- Weltje, L., Simpson, P., Gross, M., Crane, M., Wheeler, J. (2013): Comparative acute and chronic sensitivity of fish and amphibians: a critical review of data, *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 32, No. 5, pp. 984–994, 2013.
- Wertz, S., Degrange, V., Prosser, J.I., Poly, F., Commeaux, C., Guillaumaud, N., Le Roux, X. (2007): Decline of soil microbial diversity does not influence the resistance and resilience of key soil microbial functional groups following a model disturbance. *Environmental Microbiology* Volume 9, Issue 9 September 2007 Pages 2211–2219.
- Williams, T., Valle, J., Vinuela, E. (2003): Is the Naturally Derived Insecticide Spinosad® Compatible with Insect Natural Enemies? *Biocontrol Science and Technology* (August 2003), Vol. 13, No. 5, 459,475.
- Wolf, D., Albisser Vögeli, G. (2009): Ökonomischer Nutzen von Mais Bt ist relativ. *Agrarforschung* 16(1): 4-9.
- Wolf, D. (2009): Erfahrungen zum ökonomischen Nutzen herbizidtoleranter Kulturen. *Agrarforschung* 16(3): 52-57.
- Wolfenbarger, L.L., Naranjo, S.E., Lundgren, J. G., Bitzer, R.J., Watrud, L.S. (2008): Bt Crop Effects on Functional Guilds of Non-Target Arthropods: A Meta-Analysis, *PLoS ONE* 3(5): e2118. doi:10.1371,journal.pone.0002118.
- Wolt, J.D., Peterson, R.K.D. (2010) Prospective formulation of environmental risk assessments: Probabilistic screening for Cry1A(b) maize risk to aquatic insects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*73(2010)1182–1188.

- Wüthrich, K., Oehen, B., Stolze, M., Morgner, M. (2006): Kosten der Vermeidung der Gentechnik für den Lebensmittelhandel beim Anbau von gv Mais in der Schweiz. Teilbericht 2.
- Yang, C., Hamel, C., Vujanovic, V., Gan, Y. (2011): Fungicide: Modes of Action and Possible Impact on Nontarget Microorganisms, ISRN Ecology Volume 2011, Article ID 130289, 8 pages Microbiology 2013, 79(21):6617.
- Yoder, J.A., Condon, M.R., Heydinger, D.J., Hedges, B.Z., Sammataro, D., Finley-Short, J.V., Hoffman, G.D., Olson, E. (2012): Fungicides reduce symbiotic fungi in bee bread and the beneficial fungi in colonies. In: Sammataro, D. and Yoder, J., editors. Honey Bee Colony Health: Challenges and Sustainable Solutions. Boca Raton, FL. CRC Press. p. 193-214.
- Zeng H, Tan F, Shu Y, Zhang, Feng Y, Wang J. The Cry1Ab Protein Has Minor Effects on the Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities after Five Seasons of Continuous Bt Maize Cultivation. PLoS One. 2015 Dec 30;10(12):e0146041.
- Zhu X, Gong H, He Q, Zeng Z, Busse JS, Jin W, Bethke PC, Jiang J. (2016) Silencing of vacuolar invertase and asparagine synthetase genes and its impact on acrylamide formation of fried potato products. Plant Biotechnol J. 2016 Feb;14(2):709-18. doi: 10.1111,pbi.12421. Epub 2015 Jun 16.

Rechtstexte:

- Koexistenz-Verordnung (Entwurf Vernehmlassung 2013): Kann abgerufen werden unter <http://www.news.admin.ch,NSBSubscriber,message,attachments,29421.pdf> (Stand 15.07.2014)
- DZV (2014): Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft Direktzahlungsverordnung; **SR 910.13**: Kann abgerufen werden unter www.admin.ch
<http://www.admin.ch,opc,de,classified-compilation,20130216,index.html> (Stand 15.07.2014)
- Bundesverfassung; Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft; **SR 101**: Kann abgerufen werden unter <http://www.admin.ch,opc,de,classified-compilation,19995395,index.html> (Stand 15.07.2014)
- VGVL (2005): Verordnung des EDI über gentechnisch veränderte Lebensmittel; **SR 817.022.51**: Kann abgerufen werden unter: <http://www.admin.ch,opc,de,classified-compilation,20050176,201401010000,817.022.51.pdf> (Stand 18.06.2014)
- PSMV (2010): Verordnung über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln; **SR 916.161**: Kann abgerufen werden unter: <http://www.admin.ch,opc,de,classified-compilation,20100203,index.html> (Stand 22.12.2014)
- VO (2003): Verordnung (EG) Nr. 1831/2003 des europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über die Rückverfolgbarkeit und Kennzeichnung von genetisch veränderten Organismen und über die Rückverfolgbarkeit von aus genetisch veränderten Organismen hergestellten Lebensmitteln und Futtermitteln sowie zur Änderung der Richtlinie 2001/18/EG. Kann abgerufen werden unter: <http://eur-lex.europa.eu,LexUriServ,LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:268:0024:0028:DE:PDF> (Stand 18.06.2014).

6.3 Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1. Beschreibung des Netzdiagramm-Modells
Abbildung 2. Struktur des MCDA-Modells zur Bewertung der sozioökonomischen Nachhaltigkeit
Abbildung 3. Struktur des MCDA-Modells zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit
Abbildung 4. Bewertung von Maiszünsler-resistentem Bt-Mais
Abbildung 5. Bewertung der herbizidtoleranten Zuckerrübe (HT)
Abbildung 6. Bewertung der Kraut- und Knollenfäule-resistenten Kartoffel
Abbildung 7. Bewertung des SFR-Galaapfels
Abbildung 8. Zusammenfassung der Änderungen der verschiedenen Komponenten der Nachhaltigkeit in Abhängigkeit von der Veränderung der GVO-Akzeptanz (Analyse der Sensitivität des Modells)
Abbildung 9. Fotos von GVO-Prototypen, die in der Schweiz entwickelt und getestet wurden.

6.4 Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1. Zusammenfassung und Definition der sozioökonomischen Kriterien
Tabelle 2. Zusammenfassung und Definition der Umweltkriterien
Tabelle 3. Beschreibung der vom MCDA-Modell analysierten Szenarien
Tabelle 4. Pestizidanwendungen zur Kontrolle des Maiszünslers im herkömmlichen Maisanbau im Szenario A und B
Tabelle 5. Pestizidanwendungen zur Kontrolle des Maiszünslers im herkömmlichen Maisanbau im Szenario C
Tabelle 6. Herbizidanwendungen im Zuckerrübenanbau im Szenario A
Tabelle 7. Herbizidanwendungen im Zuckerrübenanbau im Szenario B
Tabelle 8. Fungizidanwendungen zur Kontrolle der Kraut- und Knollenfäule im Kartoffelbau
Tabelle 9. Pestizidanwendungen zur Kontrolle von Schorf und Feuerbrand in Apfelplantagen
Tabelle 10. Bewertung der sieben GVO-Anbausysteme.