Universität für Bodenkultur Wien

Integrierte Landnutzungsanalyse eines Verzichts auf glyphosathältige Totalherbizide im österreichischen Ackerbau

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades Diplom-Ingenieur

im Rahmen des Studiums Agrar- und Ernährungswirtschaft

Eingereicht von: Klaus LANGER BSc

Matrikelnummer: 00940908

Email: klaus.langer@boku.ac.at

Betreuer:

Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Erwin SCHMID

DDipl.-Ing.in Dr.in Hermine MITTER

Institut für Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung

Department für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

Wien, Dezember 2017

Erklärung zur Eigenständigkeit

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich diese Arbeit selbständig angefertigt, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt und alle aus ungedruckten Quellen, gedruckter Literatur oder aus dem Internet im Wortlaut oder im wesentlichen Inhalt übernommenen Formulierungen und Konzepte gemäß den Richtlinien wissenschaftlicher Arbeiten zitiert, durch Fußnoten gekennzeichnet bzw. mit genauer Quellenangabe kenntlich gemacht habe.

Klaus Langer

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mich zeit meines Studiums und insbesondere während des Verfassens dieser Masterarbeit unterstützt haben.

Zuerst gebührt großer Dank meinen Eltern, die mir mein Studium überhaupt erst ermöglicht haben und mich immer in jeder erdenklichen Weise unterstützt haben. Ohne euch wäre sehr viel nicht möglich gewesen.

Ein großer Dank gebührt Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Erwin Schmid, der mich durch seine Vorlesung überhaupt erst zur Idee für diese Masterarbeit inspiriert hat und auch während des Verfassens immer ein offenes Ohr für Fragen hatte und auch oft sehr kurzfristig half. Ein nicht weniger großer Dank gilt Frau DDipl.-Ing.in Dr.in Hermine Mitter, die mich mit guten Tipps, Ratschlägen und kritischem Blick geduldig und äußerst kompetent unterstützt hat.

Ein großes Danke an meine Freundin, die während der intensiven Phasen des Schreibens oft auf mich verzichten musste und mir immer wieder aufs Neue Kraft und Motivation gespendet hat. Danke an alle Freund/innen, für die ich zu wenig Zeit hatte und die mir in angeregten Gesprächen und Diskussionen vermittelt haben, dass das Thema meiner Masterarbeit für viele Menschen interessant ist und mir damit zusätzliche Motivation gebracht haben.

Kurzfassung

In der europaweiten Diskussion um den Einsatz glyphosathältiger Totalherbizide stehen ökologische Auswirkungen im Vordergrund, während die ökonomischen Auswirkungen auf den Ackerbau nur unzureichend thematisiert werden. In dieser Arbeit werden Änderungen in der österreichischen Ackerlandnutzung untersucht, die sich beim Verzicht auf glyphosathältige Totalherbizide ergeben können. Dazu werden Daten von einem Modell-Verbund, bestehend aus dem Fruchtfolgemodell CropRota, dem bio-physikalischen Prozessmodell EPIC und dem Optimierungsmodell BiomAT verwendet. In vier Szenarien werden mögliche Auswirkungen des Verzichts auf glyphosathältige Totalherbizide auf die Verteilung der Ackerkulturen am Ackerland und die durchschnittlichen Gesamtdeckungsbeiträge untersucht. Die Modellergebnisse zeigen einen Rückgang des Gesamtdeckungsbeitrags um bis zu 4,8% und teils wesentliche Veränderungen in der Verteilung der Ackerkulturen. Die Veränderungen zeigen Abnahmen in der Anbaufläche von Winterraps, Wintergerste und Ackerbohne und eine Flächenzunahme bei Zuckerrübe. Es zeigt sich auch, dass es zu einem Anstieg der Bracheflächen kommt. Abschließend wird festgehalten, dass die derzeitige Bedeutung von glyphosathältigen Totalherbiziden für den österreichischen Ackerbau sowie die möglichen Alternativen bisher nicht ausreichend untersucht wurden und nur schwer Prognosen und Empfehlungen über die Auswirkungen eines Verbotes dieser Herbizide abgegeben werden können.

Abstract

The ongoing Europe-wide discussion about glyphosate, which is the main active ingredient for many non-selective herbicides, is mainly concerned with the ecological aspects, while the economic consequences are often disregarded. This thesis investigates land use changes from a total abandonment of glyphosate-based herbicides in Austria. Hence, data from an integrated modelling framework consisting of the crop rotation model CropRota, the bio-physical process model EPIC, and the optimization model BiomAT are analysed. Four scenarios are developed to investigate impacts of a total ban of glyphosate on the land use changes and the total gross margin. The results show a decrease of the total gross margin of 4,8% and land use changes such as a decline in winter rape, winter barley and field beans and increasing shares in sugar beets. The results also show an increase in set-aside land. It is concluded that there is a lack of scientifically sound analyses regarding the economic and ecological impacts of a ban of glyphosate-based herbicides in Austria.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis X

Tabellenverzeichnis XII

Abbildungsverzeichnis XIV

1 Einleitung 1

1.1 Problemstellung 1

1.2 Ziel der Arbeit 4

1.3 Aufbau der Arbeit 4

2 Grundlagen und Bedeutung des Einsatzes von glyphosathältigen Totalherbiziden 5

2.1 Unkräuter und Unkrautbekämpfung 5

2.2 Was ist Glyphosat? 7

2.3 Bedeutung und Verwendung von glyphosathältigen Totalherbiziden 9

2.4 Glyphosathältige Totalherbizide in der gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Diskussion 17

2.5 Ersatz von glyphosathältigen Totalherbiziden 19

3 Daten und Methode 20

3.1 Daten 20

3.1.1 Deckungsbeiträge 20

3.1.2 Derzeitige Anwendung von glyphosathältigen Totalherbiziden im österreichischen Ackerbau 25

3.1.3 Ersatzmaßnahmen und Ertragsrückgänge im Ackerbau bei Verzicht auf glyphosathältige Totalherbizide 31

3.2 Modell-Verbund 34

3.2.1 Modell CropRota 34

3.2.2 Modell EPIC 35

3.2.3 Modell BiomAT 35

3.3 Anpassungsszenarien zu Ersatzmaßnahmen bei Verzicht auf glyphosathältige Totalherbizide 37

4 Ergebnisse 42

4.1 Modellierter Gesamtdeckungsbeitrag für das österreichische Ackerland 42

4.1.1 Räumliche Verteilung der durchschnittlichen, jährlichen Deckungsbeiträge 43

4.2 Verteilung der Ackerkulturen auf dem Ackerland 44

4.2.1 Verteilung der Anbauflächen im Modell im Vergleich zu gemeldeten Daten zusammengefasst im Grünen Bericht 47

4.3 Verteilung der Anbauintensitäten 50

5 Diskussion 54

5.1 Diskussion der Ergebnisse 54

5.2 Diskussion von Datengrundlage und Methode 57

6 Schlussfolgerungen 64

Literatur 66

Anhang ..... A

Abkürzungsverzeichnis

AGES ..... Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit

Akh ..... Arbeitskraftstunde/n

AMPA ..... Aminomethyl-phosphonic acid, Aminomethylphosphonsäure

AWI ..... Österreichische Bundesanstalt für Agrarwirtschaft

BAES ..... Bundesamt für Ernährungssicherheit

BLT ..... Bundesanstalt für Landtechnik

BM ..... Bundesminister

bzw. ..... beziehungsweise

ca. ..... circa

CRSyst ..... Crop Rotation System, Fruchtfolgesystem

DB ..... Deckungsbeitrag

d.h. ..... das heißt

dt ..... Dezitonne (Zehntel Tonne, entspricht 100 kg)

ECHA ..... European Chemicals Agency, Europäische Chemikalienagentur

EFSA ..... Europäische Lebensmittelsicherheitsbehörde

EU ..... Europäische Union

EPSP 5-Enolpyruvylshikimat-3-Phosphat

g ..... Gramm

G ..... Glyphosat

GAP ..... Gemeinsame Agrarpolitik (der EU-Mitgliedsstaaten)

GH ..... Glyphosathältige Totalherbizide

GLÖZ ..... Guter landwirtschaftlicher und ökologischer Zustand

GMO ..... Gentechnisch modifizierte Organismen

h ..... Stunde/n

ha ..... Hektar

IARC ..... International Agency for Research on Cancer

JMPR ..... Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues

kg ..... Kilogramm

km/h ..... Kilometer pro Stunde

l ..... Liter

LfL ..... (Bayerische) Landesanstalt für Landwirtschaft

LK ..... Landwirtschaftskammer

Mio. ..... Million(en)

NGO ..... Non-Governmental Organisation, Nichtregierungsorganisation

ÖBB..... Österreichische Bundesbahnen

ÖKL ..... Österreichisches Kuratorium für Landtechnik

ÖPUL .....Österreichisches Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft

PS ..... Pflanzenschutz

PSM .....Pflanzenschutzmittel

t .....Tonne (Gewichtseinheit)

TS ..... Trockensubstanz

VK ..... Variable Kosten

z.B. ..... zum Beispiel

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über gesetzlich geregelte Möglichkeiten zur Verwendungen von GH im Ackerbau in den USA, in EU und Österreich (Anmerkung: strengeres nationales Recht steht über der Erlaubnis auf EU-Ebene)..... 13

Tabelle 2: Datengrundlage zur Berechnung der Deckungsbeiträge für unterschiedliche Ackerkulturen (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2017; Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 2017)..... 24

Tabelle 3: Pflanzenschutzmittelkosten in €/ha in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftungsintensität, nach Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (2017) und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2017)..... 25

Tabelle 4: Einsatz von GH bei unterschiedlichen Ackerkulturen in Deutschland im Jahr 2009 nach Steinmann et al. (2012)..... 27

Tabelle 5: Mit GH behandelte Ackerbaukulturen und Flächen in Österreich 2012, Quellen: Organophosphor-Herbizide Verwendung 2012: PSM-Verwendungsstatistik 2012 (AGES 2013); Dosierung: Dosierungsempfehlungen der Hersteller (Anhang 1); Gesamtanbaufläche 2012: Grüner Bericht 2013 (BMLFUW 2013); eigene Berechnungen..... 30

Tabelle 6: Ersatzmaßnahmen bei Verzicht auf GH und ihre Auswirkungen auf variable Kosten und Arbeitszeit (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 2017;
Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. 2017)..... 33

Tabelle 7: Überblick über die in den Szenarien getroffenen Annahmen hinsichtlich zusätzlicher Maßnahmen im Ackerbau bei Verzicht auf GH im Vergleich zum Basis-Szenario..... 41

Tabelle 8: Modellierte Summe der Deckungsbeiträge (DB) pro Jahr für das österreichische Ackerland in den unterschiedlichen Szenarien. 42

Tabelle 9: Verteilung der Anbauflächen auf Ackerkulturen im Basis-Szenario und relative Veränderung der Anbauflächen in den Anpassungsszenarien im Vergleich zu den Anbauflächen im Basis-Szenario; grau markiert sind jene Ackerkulturen, die von einer Anpassung beim Verzicht auf GH betroffen sind. 45

Tabelle 10: Anbauflächen von Ackerkulturen im österreichischen Durchschnitt 2010-2015 (BMLFUW 2011, 2012, 2013, 2014, 2015a, 2016a) im Vergleich zum Basis-Szenario des Modells. Grau markiert sind Ackerkulturen, die von einer Anpassung an den Verzicht auf GH betroffen sind. Dargestellt sind ausschließlich Ackerkulturen, die im Modell BiomAT berücksichtigt sind. 49

Tabelle 11: Anteil der Bewirtschaftungsintensitäten an der gesamten Ackerfläche (in ha und in %), Basis-Szenario im Vergleich zu den Anpassungsszenarien 51

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weltweite jährliche Ausbringung von Glyphosat, eigene Darstellung nach Benbrook (2016)..... 3

Abbildung 2: Chemische Strukturformel von Glyphosat, eigene Darstellung nach Börner (1995) 8

Abbildung 3: Glyphosatverkauf in Österreich für die Jahre 2000-2015, eigene Darstellung nach (BAES 2017a) 10

Abbildung 4 Auszug aus einer Preisliste des Lagerhaus Wiener Becken für Pflanzenschutzmittel (Lagerhaus Wiener Becken 2017)..... 33

Abbildung 5: Räumliche Verteilung der durchschnittlichen, jährlichen Deckungsbeiträge im Basis-Szenario 43

Abbildung 6: Verteilung der Bewirtschaftungsintensitäten im Basis-Szenario und in den Anpassungsszenarien..... 52

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Pflanzen sind für den Menschen lebensnotwendig. Sie produzieren Sauerstoff aus Kohlendioxid und dienen als Nahrung für Mensch und Tier. Im Laufe der Jahrtausende haben Menschen begonnen, Pflanzen zu kultivieren und ihre Umwelt zu verändern. Kulturlandschaften wurden geschaffen, indem Wälder gerodet und Sümpfe trockengelegt wurden. Der Mensch griff tief in die Gestaltung von Landschaften ein, sodass wir heute kaum noch erahnen können, dass ganze Landstriche, die heute von Ackerland geprägt sind, vor wenigen Jahrhunderten noch unberührt und größtenteils ungenützt als Wald oder Moor existierten. Menschen haben Fähigkeiten und Techniken entwickelt, wie sie die Landschaft verändern können, um mehr Fläche zur Produktion von Nahrungsmitteln und damit zur Versorgung einer größeren Zahl an Menschen zur Verfügung zu haben. Gleichzeitig hat man seit der Kultivierung von Nutzpflanzen danach getrachtet, den Ertrag pro Fläche zu erhöhen. Ein wesentlicher Erfolgsfaktor für das Gedeihen von Nutzpflanzen ist deren Versorgung mit Nährstoffen, Wasser und Licht. Beim Anbau von Nutzpflanzen kann man aber nicht ausschließen, dass am selben Standort nicht auch andere Pflanzen gedeihen, deren Samen vom Wind oder durch Tiere an diesen Standort gebracht wurde oder schon davor im Boden vorhanden war. Diese anderen Pflanzen konkurrieren mit der Nutzpflanze um alle zuvor genannten Pflanzenwachstumsfaktoren. Sie benötigen Nährstoffe und Wasser aus dem Boden und wenn sie höher als die Nutzpflanzen wachsen, konkurrieren sie auch um Licht für die Photosynthese. Der Unterschied zwischen theoretisch, aufgrund der physiologischen Faktoren möglichem Ertrag und dem tatsächlichen Ertrag wird auch als „yield gap“ bezeichnet (Ittersum et al. 2013). Möchte ein/e Landwirt/in einen möglichst hohen Ertrag pro ha Ackerland, wird er/sie versuchen, den „yield gap“ zu minimieren und die tatsächlichen Erträge möglichst in die Nähe des theoretisch möglichen zu optimieren.

Bereits die ersten Landwirt/innen der Menschheitsgeschichte merkten wahrscheinlich sehr bald, dass sie ihre Erträge steigern konnten, wenn sie dafür sorgten, dass an einem Standort nur die gewünschten Pflanzen wachsen und ihnen die gesamte dort verfügbare Menge an Nährstoffen, Wasser und Licht zukommt. Die Bekämpfung von Unkräutern geschieht also schon seit Jahrtausenden und ist Teil des Pflanzenschutzes, welcher alle Maßnahmen zum Schutz einer Kulturpflanze vor Schäden und Leistungsminderung umfasst (Wegler 1977). Die Flächen, welche eines Pflanzenschutzes bedurften, wurden im Laufe der Jahrhunderte immer größer, da sich auch die Landwirtschaft immer weiterentwickelte. Mit der Industrialisierung gab es auch erstmals große Flächen (z.B. Verkehrswege, Industriegelände), für welche man eine Notwendigkeit sah, sie von Bewuchs jeglicher Art freizuhalten.

Die Entfernung von unerwünschtem Bewuchs auf Acker-, aber auch anderen Flächen erfolgte über Jahrhunderte oder Jahrtausende meist händisch oder mithilfe einfacher Werkzeuge. Erst Ende des 19. Jahrhunderts begann man die pflanzenschädigende Wirkung einiger anorganischer Chemikalien zu erforschen, was in der Zwischenkriegszeit zu den ersten wirksamen Totalherbiziden führte (Wegler 1977). In den 1970er-Jahren wurde schließlich der Wirkstoff Glyphosat entwickelt (Franz et al. 1997), der seither Hauptbestandteil der wirksamsten und meistverkauften Totalherbizide ist. Seit ihrer Markteinführung in den 1970er-Jahren haben glyphosathältige Totalherbizide (GH) enorme Verkaufszahlen erreicht und sind aus der heutigen Landwirtschaft global gesehen kaum mehr wegzudenken. So betrug der weltweite jährliche Verbrauch an GH im Jahr 2014 über 800.000 t (Benbrook 2016) und ist in den 20 Jahren zuvor enorm gestiegen (siehe Abbildung 1).

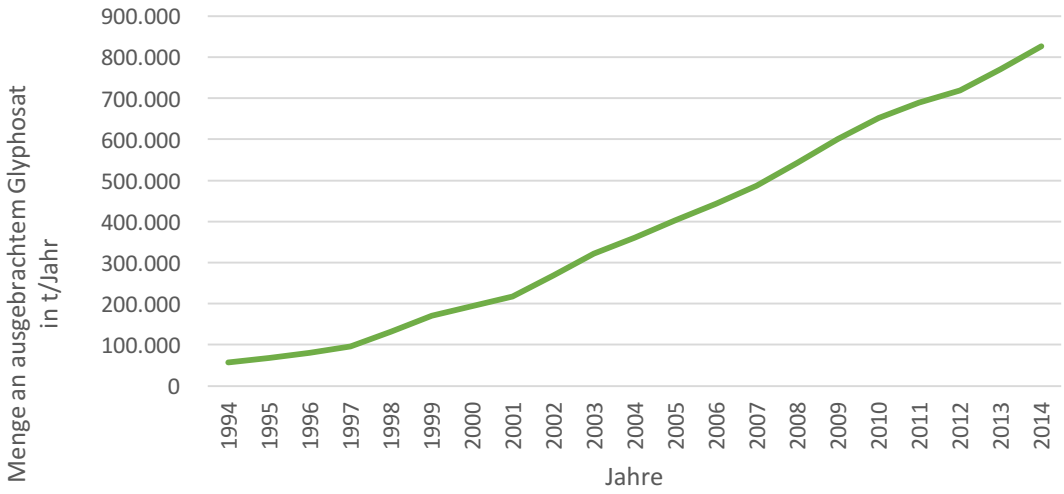


Abbildung 1: Weltweite jährliche Ausbringung von Glyphosat, eigene Darstellung nach Benbrook (2016)

Allein in den Jahren 2005 bis 2014 wurden 71,6% des von 1974 bis 2014 insgesamt verbrauchten Glyphosats ausgebracht. In den zehn Jahren davor waren es 22,3% und in den 21 Jahren von 1974 bis 1994 nur 6% (Benbrook 2016).

Nicht überall stößt der immer häufigere Einsatz von GH aber auf Verständnis oder gar auf Zustimmung und so mehren sich in den letzten Jahren kritische Stimmen, die ein Verbot oder eine starke Beschränkung des Einsatzes von GH auf europäischer Ebene fordern. Ein Auslöser hierfür war eine Publikation der International Agency for Research on Cancer (IARC) im Jahr 2015, in der über 200 Studien zur Kanzerogenität von Glyphosat verglichen und bewertet wurden und die zu dem Schluss kommt, dass Glyphosat „wahrscheinlich krebserregend für Menschen“ ist (Guyton et al. 2015).

Der Verzicht auf GH könnte also nicht nur für Landwirt/innen in Zukunft zur Realität werden. Die Folgen eines solchen Verzichts und der ökonomische Nutzen von GH wurden für Österreich bisher nicht untersucht, Umfragen und Analysen hierzu beziehen sich meist auf Deutschland, die USA oder Großbritannien (Benbrook 2016, Cook et al. 2010, Steinmann et al. 2012) und werden in Kapitel 2 noch genauer betrachtet.

1.2 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist, eine integrierte Landnutzungsanalyse für den Verzicht auf GH im österreichischen Ackerbau vorzunehmen. Ausgehend von einem Basis-Szenario, das den derzeitigen Stand der Bewirtschaftungsmethoden des österreichischen Ackerlandes abbildet, werden vier Anpassungsszenarien entwickelt, die von unterschiedlichen Annahmen hinsichtlich des Ausmaßes von Ersatzmaßnahmen oder Ertragseinbußen aufgrund des Verzichts auf GH geprägt sind. In Folge werden Daten von einem Modell-Verbund für den österreichischen Ackerbau verwendet, um in einem linearen Landnutzungsoptimierungsmodell die Anbauverteilung und Bewirtschaftungsintensitäten verschiedener Kulturen bzw. Fruchtfolgen zu optimieren.

Erwartet wird, dass es zu einer Veränderung der Verteilung der Anbauflächen von Ackerkulturen kommt, da vom Verzicht auf GH betroffene Ackerkulturen im Vergleich zum Basis-Szenario in absoluten Zahlen unterschiedliche Deckungsbeiträge erwirtschaften und sich dadurch auch das Verhältnis ihrer Deckungsbeiträge im Vergleich zu nicht betroffenen Ackerkulturen, deren Deckungsbeiträge über die Anpassungsszenarien hinweg gleichbleiben, verändert.

1.3 Aufbau der Arbeit

In Kapitel 2 werden die Grundlagen des Einsatzes und der Bedeutung von GH erläutert, um die später getroffenen Annahmen zu möglichen Ersatzmaßnahmen und Ertragseinbußen in der Bewirtschaftung als Folgen des Verzichts auf GH nachvollziehbar zu machen. In Kapitel 3 werden die verwendeten Daten und die Methode erläutert. Ein wesentlicher Teil hierbei ist die Herkunft und die Erhebung der Daten. Weiters wird der Modell-Verbund und die dahinterstehenden Annahmen erklärt und schließlich werden Szenarien unter verschiedenen Annahmen definiert. Die Ergebnisse der Modellierung werden in Kapitel 4 vorgestellt. Danach werden in Kapitel 5 die erzielten Ergebnisse und die Methode einer Diskussion unterzogen bevor in Kapitel 6 Schlussfolgerungen aus den Ergebnissen und der Diskussion gezogen werden.

2 Grundlagen und Bedeutung des Einsatzes von glyphosathältigen Totalherbiziden

2.1 Unkräuter und Unkrautbekämpfung

Der Begriff „Unkraut“ ist in seinem eigentlichen Sinne nicht korrekt, da es sich bei am Ackerland unerwünschten Pflanzen nicht zwingendermaßen um Kräuter im botanischen Sinne handeln muss. Da sich dieser Begriff im allgemeinen Sprachgebrauch aber für unerwünschte Pflanzen etabliert hat, lautet eine geläufige Definition von Unkraut:

> *„Unkräuter sind Pflanzen, die unerwünschterweise auf dem Kulturland wachsen und dort mehr Schaden als Nutzen verursachen.“ (Börner 1995: 11)*

Ökologen und Botaniker bezeichnen Unkräuter auch als „Ackerbeikräuter“ oder „Ackerbegleitflora“. Dem vorausgegangen ist der Gedanke, dass durch die Vorsilbe „Un-“ eine negative Konnotation entsteht, obwohl diese Pflanzen Teil eines natürlichen Ökosystems sind und somit - von einem objektiven nicht-menschlichen Standpunkt aus betrachtet - keine „Un-Kräuter“ sind (Börner 1995: 11).

Während man in der biologischen Landwirtschaft Unkräuter nur physikalisch (Eggen, Hacken, Abflammen) bekämpfen darf, ist in der konventionellen Landwirtschaft auch der Einsatz chemischer Mittel (Herbizide) zulässig und weltweit verbreitet. Unter Herbiziden versteht man chemische Verbindungen, die Pflanzen oder Pflanzenteile abtöten können und sich dadurch zur Unkrautbekämpfung eignen (Hock et al. 1995). Wirken Herbizide nur gegen bestimmte Pflanzen, spricht man von selektiven Herbiziden, wirken sie gegen alle Pflanzen, so spricht man von Totalherbiziden. Weitere Pflanzenschutzmittel wären z.B. Fungizide gegen Pilzerreger oder Insektizide gegen Insekten. Für Land- und Forstwirt/innen

gelten seit 1. Jänner 2014 die Leitlinien des integrierten Pflanzenschutzes (Europäisches Parlament und Europäischer Rat 2009). Die Definition des integrierten Pflanzenschutzes lautet wie folgt:

> *„Unter integrierter Pflanzenschutz wird die sorgfältige Abwägung aller verfügbaren Pflanzenschutzmethoden und die anschließende Einbindung geeigneter Maßnahmen, die der Entstehung von Populationen von Schadorganismen entgegenwirken und die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln und anderen Abwehr- und Bekämpfungsmethoden auf einem Niveau halten, das wirtschaftlich und ökologisch vertretbar ist und Risiken für die menschliche Gesundheit und die Umwelt reduziert oder minimiert verstanden. Der integrierte Pflanzenschutz stellt auf das Wachstum gesunder Nutzpflanzen bei möglichst geringer Störung der landwirtschaftlichen Ökosysteme ab und fördert natürliche Mechanismen zur Bekämpfung von Schädlingen."* (BMLFUW 2015b)

Börner (1995) erwähnt im Zuge der Beschreibung des integrierten Pflanzenschutzes das Konzept der Schadensschwelle, oft auch Schadschwelle genannt. Die Schadensschwelle bezeichnet eine Grenze an Befall durch Schaderreger, über der die Kosten einer Behandlung geringer sind als der dadurch abgewendete Schaden an den Kulturpflanzen und unter der der Schaden geringer als die Kosten einer Behandlung ist. Dies erfordert insbesondere die Kenntnis über zu erwartende Erträge, den zu erwartenden Befall mit Schaderregern und die damit verbundenen Ertragseinbußen (Börner 1995: 186). In der Praxis stellt das Identifizieren der Schadensschwelle für den/die Landwirt/in eine Herausforderung dar, weil es die genaue Kenntnis über den zu erwartenden Schaden, die damit verbundenen Ertragseinbußen sowie Kosten und Nutzen einer Behandlung mit Pflanzenschutzmitteln erfordert. Dementsprechend kann die Schadensschwelle je nach Kultur, Art des Schaderregers und Kosten einer Behandlung stark variieren.

Herbizide unterscheiden sich auch hinsichtlich ihrer Ausbringungsart und hinsichtlich ihres teils hohen Gefahrenpotentials für Umwelt und Mensch. Daher gibt es in den meisten Ländern nationale oder supranationale (wie z.B. in der EU) Regelungen bezüglich Zulassung, Handel, Umgang und Einsatz von Herbiziden. Die Regelungen und Beschränkungen über den Einsatz von GH sind in Kapitel 2.3 beschrieben. Pflanzenschutzmittel (PSM) werden in der Regel als Gemische eines oder mehrerer Wirkstoffe mit Zusatzstoffen verkauft. Zusatzstoffe sorgen z.B. für eine bessere Benetzung der Blätter und im Fall von GH für ein besseres Eindringen in die Zielorganismen. Da die erlaubten und sinnvollen Ausbringungsmengen von Wirkstoffen sich oft im Rahmen von nur wenigen kg pro ha und Anwendung bewegen und um sie gleichmäßig verteilen zu können, werden PSM vor der Ausbringung meist mit Wasser vermischt. Die fertige Mischung eines oder mehrerer PSM mit Wasser wird Spritzbrühe genannt.

Ein Beispiel hierzu: Das GH Roundup® PowerFlex von Monsanto enthält 480 g Glyphosat pro l. Weitere Inhaltsstoffe sind Alkylpolyglycoside, welche als Tenside für bessere Benetzung der Pflanzen sorgen, Nitroryl und weitere Inhaltsstoffe, deren Zweck nicht angegeben ist (MONSANTO Europe S.A. 2016). Für Ackerbaukulturen gibt der Hersteller eine maximale Aufwandsmenge pro ha von 3,75 l in 100-400 l Wasser an. Mischt man 3,75 l dieses PSM mit 200 l Wasser, so erhält man eine Spritzbrühe mit 1,8 kg Glyphosat in 203,75 l Spritzbrühe. Diese Dosierung ist zur Ausbringung mit einer Pflanzenschutzspritze geeignet.

2.2 Was ist Glyphosat?

Glyphosat (Chemische Strukturformel siehe Abbildung 2) ist der Wirkstoff in den am weitest verbreiteten Totalherbiziden und gehört zusammen mit Glufosinat zur Wirkstoffgruppe der Organophosphorverbindungen. Glyphosat wird über die Blätter in die Pflanzen aufgenommen und beeinflusst die Biosynthese der aromatischen Aminosäuren durch Hemmung der 5-Enolpyruvylshikimat-3-Phosphat (EPSP) Synthase, was zu einer Akkumulation der Shikimisäure und in Folge zu einem Absterben sowohl der ober- als auch der unterirdischen Pflanzenteile führt (Börner 1995: 167).

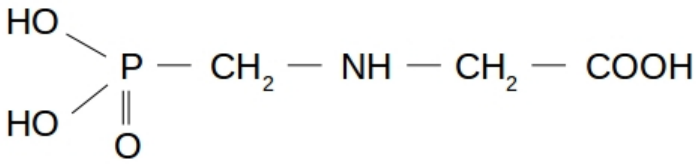


Abbildung 2: Chemische Strukturformel von Glyphosat, eigene Darstellung nach Börner (1995)

Das Hauptabbauprodukt von Glyphosat, das im Boden entsteht, ist Aminomethylphosphonsäure (AMPA). Der Abbauprozess läuft im Boden hauptsächlich mikrobiologisch ab (Strange-Hansen et al. 2004). Barrett und McBride (2005) wiesen aber nach, dass der Abbau von Glyphosat und AMPA auch abiotisch in Böden, die das Manganoxid Birnessit enthalten, abläuft. Insgesamt funktioniert der Abbau von Glyphosat und AMPA also durch ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren sowohl biotischer als auch abiotischer Herkunft (Borggaard und Gimsing 2008).

Entdeckt wurde Glyphosat 1950 von Dr. Henri Martin, einem Chemiker, der für das Pharmaunternehmen Cilag arbeitete (Franz et al. 1997). Der Wirkstoff hatte aber damals keinen erkennbaren pharmazeutischen Nutzen und so wurde er in keiner Literatur dokumentiert. In den 1960ern testete Monsanto verschiedene Aminomethylphosphonsäuren zur Wasserenthärtung und stellte bei zwei Varianten eine herbizide Wirkung fest. Dr. John Franz untersuchte die herbizide Wirkung und konnte im Mai 1970 Glyphosat erfolgreich synthetisieren. 1971 wurde Monsanto das Patent auf Glyphosat erteilt (Dill et al. 2010). 1974 kam das erste glyphosathältige Totalherbizid unter der Markenbezeichnung Roundup in den Handel und wurde als nicht-selektives Herbizid für Nachauflaufbehandlungen („postemergence, nonselective herbicide“) verkauft (Franz et al. 1997: 6). Bereits im selben Jahr wurde Roundup auch in Deutschland zugelassen und erstmals verkauft (Kehlenbeck et al. 2015) .

In weiterer Folge wird zwischen den Begriffen GH und Glyphosat unterschieden. GH bezeichnet alle auf dem Wirkstoff Glyphosat basierenden Totalherbizide wie z.B. Roundup in unterschiedlichen Dosierungen bis hin zu fertig gemischten und

verdünnten Produkten für den Gebrauch von Konsument/innen im Haushalt oder in privaten Gärten. GH enthalten neben dem Wirkstoff Glyphosat auch andere Zusatzstoffe, die z.B. ein besseres Eindringen des Wirkstoffes in die Blätter bewirken (Dill et al. 2010).

2.3 Bedeutung und Verwendung von glyphosathältigen Totalherbiziden

Weltweit entfielen im Jahr 2012 ca. 56% der ausgebrachten Menge Glyphosat auf den Anbau von Ackerkulturen, bestehend aus gentechnisch modifizierten Organismen (GMO) (Benbrook 2016). Diese GMO, es handelt sich um Soja-, Mais-, Raps- und Baumwollsorten, sind gegen Glyphosat resistent und somit wirken GH nur selektiv auf unerwünschte Pflanzen. In den USA wurden die ersten glyphosatresistenten GMO 1996 zugelassen (Benbrook 2016). In Nord- und Südamerika haben sich glyphosatresistente GMO zu einer wichtigen Anbauform, insbesondere für Soja, entwickelt (Benbrook 2016; Kehlenbeck et al. 2015). In Europa sind derzeit keine derartigen GMO zum Anbau zugelassen, wohl aber zur Einfuhr, als Futter- oder Nahrungsmittel (Europäische Kommission s.a.).

In Österreich sind derzeit (Stand Juni 2017) 50 PSM mit dem Wirkstoff Glyphosat zugelassen, davon 27 für den Ackerbau (BAES 2017b). Die abgesetzte Menge an Glyphosat lag hierzulande im Jahr 2008 bei 489.000 t, um mehr als 250% über dem Niveau des Jahres 2000. Danach schwankte der Absatz sehr stark, befand sich im Jahr 2015 aber immer noch auf 327.000 t Dass der Absatz in Österreich nicht mit dem deutlich steigenden globalen Trend mithält, kann daran liegen, dass die Zahl der Bio-Betriebe in Österreich in dem betrachteten Zeitraum gestiegen ist (BMLFUW 2016a). Gleichzeitig wird auch der Verzicht auf Herbizide vom ÖPUL-Förderregime gefördert (BMLFUW 2016b). Diese beiden Umstände könnten einen Rückgang des Einsatzes von GH erklären.

Abbildung 3). Dass der Absatz in Österreich nicht mit dem deutlich steigenden globalen Trend mithält, kann daran liegen, dass die Zahl der Bio-Betriebe in Ös-

terreich in dem betrachteten Zeitraum gestiegen ist (BMLFUW 2016a). Gleichzeitig wird auch der Verzicht auf Herbizide vom ÖPUL-Förderregime gefördert (BMLFUW 2016b). Diese beiden Umstände könnten einen Rückgang des Einsatzes von GH erklären.

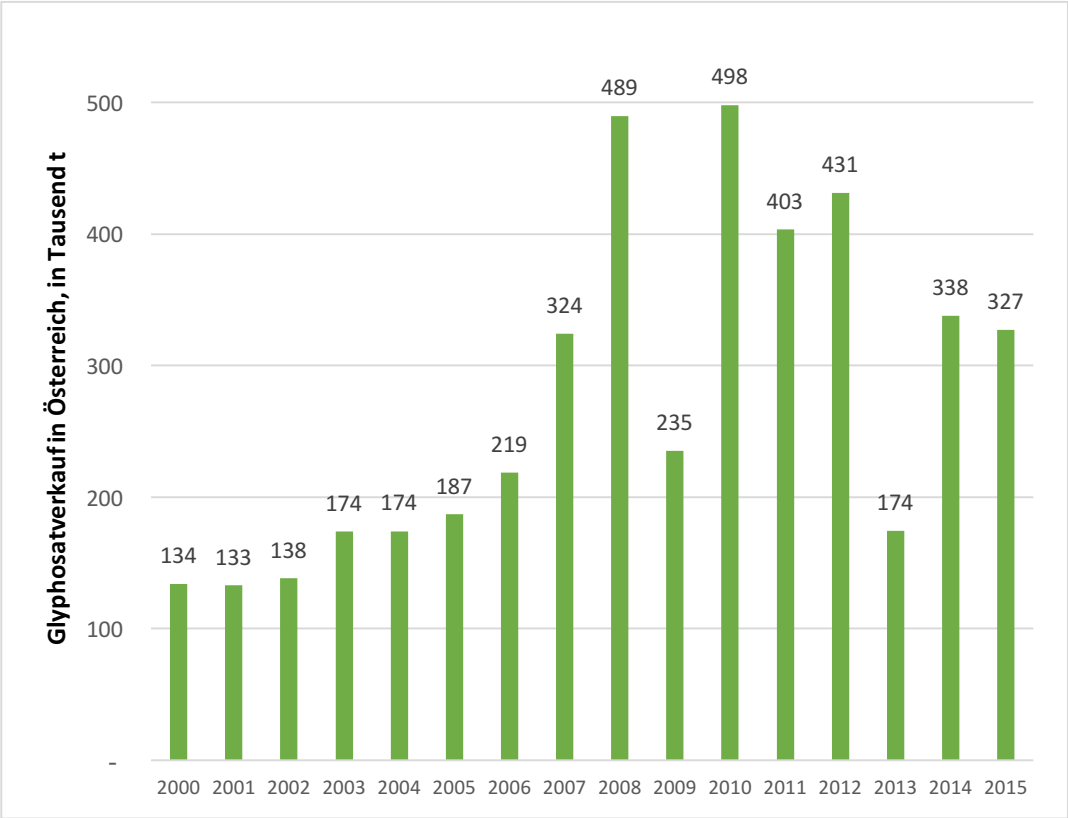


Abbildung 3: Glyphosatverkauf in Österreich für die Jahre 2000-2015, eigene Darstellung nach (BAES 2017a)

Da in Europa, wie bereits erwähnt, derzeit keine glyphosatresistenten GMO zum Anbau zugelassen sind, beschränkt sich die ackerbauliche Anwendung von GH derzeit auf Vorsaatbehandlung, Vorerntebehandlung, Sikkation und Nacherntebzw. Stoppelbehandlung.

Die *Vorsaatbehandlung* erlaubt der/dem Landwirt/in, aufkommende Unkräuter vor oder auch nach der Aussaat einer Kulturpflanze abzutöten, um ein Saatbett frei von Unkräutern für die Samen der Kulturpflanze bereitzustellen. Hierbei kommt dem Anwender zugute, dass Glyphosat in Pflanzen nur über grüne Teile wie z.B. Blätter aufgenommen wird und noch nicht aufgekeimte Samen unberührt lässt. Die *Vorauflaufbehandlung* wird meistens gemeinsam mit der Vorsaatbehandlung erfasst und bezeichnet eine Behandlung mit GH während das

Saatgut schon im Boden liegt, aber noch nicht gekeimt ist bzw. noch keine grünen Pflanzenteile vorhanden sind. Unerwünschter Bewuchs wird in dieser Phase beseitigt, während Glyphosat auf die Samen keine Wirkung hat, da Glyphosat nur über grüne Pflanzenteile aufgenommen wird, die Photosynthese betreiben (Börner 1995; Schmitz und Gavert 2012). In den derzeitigen Erhebungen werden die Vorsaat- und Vorauflaufbehandlung aber meistens zusammengefasst, da sie beide eine Behandlung vor der Saat bzw. vor dem Auflaufen einer Kultur bezeichnen und den gleichen Zweck verfolgen.

Die *Nachernte- oder Stoppelbehandlung* wird eingesetzt, um aufkeimende Unkräuter und Ausfallsamen der Vorkultur bzw. deren Reste zu beseitigen. In der Praxis ist es nicht immer eindeutig, ob eine Behandlung der Nachernte- oder der Vorsaatbehandlung zuzuordnen ist, wenn z.B. gleich nach der Ernte der Vorkultur eine Winterkultur gesät wird (Kehlenbeck et al. 2015).

Vorerntebehandlung und *Sikkation* werden in der Literatur meistens synonym verwendet, eine Unterscheidung der beiden Begriffe wird praktisch nicht vorgenommen. Unter *Vorerntebehandlung* und *Sikkation* versteht man die Behandlung von fast reifen, uneinheitlich reifen oder reifen Kulturpflanzen, um das Erntegut in einen einheitlichen Reifegrad zu bringen und somit Trocknungskosten oder Ertragsausfälle zu mindern und allenfalls eine Spätverunkrautung zu bekämpfen (Griffin et al. 2010). Diese Form der Anwendung findet man vor allem in Regionen mit unbeständiger Witterung wie z.B. in Großbritannien, wo das Zeitfenster für die Ernte kurz sein kann (Cook et al. 2010). Sikkation wird auch in Deutschland durchgeführt, allerdings macht sie dort im Unterschied zu Großbritannien nur einen geringeren Anteil der ausgebrachten Menge an GH und an den mit GH behandelten Flächen aus: Laut Steinmann et al. (2012) wird in Deutschland auf 2,6% der Anbaufläche für Weizen und auf 2,1% der Anbaufläche

für Raps Sikkation oder Vorerntebehandlung durchgeführt, während diese Anteile für Großbritannien laut Cook et al. (2010) bei 8-40% bzw. bei 64-75%[1] liegen.

In Österreich ist das „Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln mit dem Wirkstoff Glyphosat (...) hinsichtlich der Indikation ‚Sikkation' verboten, sofern das Erntegut für Lebens- oder Futtermittelzwecke bestimmt ist" (Pflanzenschutzmittelgesetz 2011). Aufgrund dieser Formulierung des Pflanzenschutzmittelgesetzes kam es im Juli 2016 zur parlamentarischen Anfrage 9882/J an den Bundesminister (BM) für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, in welcher der BM mit der Tatsache konfrontiert wurde, dass im Pflanzenschutzmittelregister der BAES weiterhin fünf PSM für den „Schadfaktor Ernteerleichterung" zugelassen sind, davon drei mit dem Wirkstoff Glyphosat[2] (Preiner 2016). Die Beantwortung 9365/AB dieser Anfrage enthält unter anderem folgenden Passus:

> *„Unter dem Begriff ‚Sikkation' ist die Abtötung von Kulturpflanzen durch Pflanzenschutzmittel vor der Ernte zur Reifebeschleunigung zu verstehen. Die ‚Vor-Erntebehandlung' hingegen ist eine Spätbehandlung gegen ein- und zweikeimblättrige Unkräuter (= Unkrautdurchwuchs) und Zwiewuchs in der reifen Kultur. Der Einsatz des Wirkstoffes zielt auf die Unkräuter ab. In der Regel erfolgt die Anwendung gegen Unkräuter in der Kultur zu jenem Zeitpunkt, zu dem diese bereits reif ist, wenn also beispielsweise bei Getreide die Ähren schon gelbbraun und getrocknet sind. Diese Anwendung gegen Unkräuter erfolgt daher in der Regel später als bei der ‚Sikkation'. Bei der ‚Sikkation' wäre der ganze Pflanzenbestand noch nicht gleich-*

[1] Die großen Bandbreiten bei Cook et al. (2010) ergeben sich aus der Differenz zwischen (unvollständig) erfassten Daten und Schätzungen von Experten.

[2] Mit Stand Juni 2017 sind im PSM-Register des BAES nur noch drei PSM für die Ernteerleichterung zugelassen, davon zwei mit dem Wirkstoff Glyphosat (BAES 2017b).

mäßig abgereift. Der Wirkstoff würde über die grünen Blattteile aufgenommen werden. Anders als bei der „Sikkation" sind bei der ‚Vor-Erntebehandlung' unter Einhaltung der Anwendungsbestimmungen keine Wirkstoff-Rückstände im Erntegut zu erwarten, die über dem gesetzlichen Höchstwert liegen könnten." (BMLFUW 2016c)

Gemäß dieser österreichischen Auffassung kann also *zwischen Vorerntebehandlung* und *Sikkation* unterschieden werden, während diese Unterscheidung in der gängigen wissenschaftlichen Literatur nicht getroffen wird. Einen Überblick über die Anwendungsverfahren und die rechtliche Situation in verschiedenen Ländern bietet Tabelle 1.

Gerade in der konservierenden Bodenbearbeitung, welche auf das Pflügen verzichtet und den Boden durch weniger Umbrüche vor Erosion, Austrocknung und Nährstoffauswaschung schützen soll, werden als Alternative zum Pflügen oftmals GH ausgebracht. Die konservierende Bodenbearbeitung ist auch energetisch vorteilhaft, da sie im Vergleich zu wendenden Verfahren weniger Energie verbraucht (Schwarz 2013).

Tabelle 1: Überblick über gesetzlich geregelte Möglichkeiten zur Verwendungen von GH im Ackerbau in den USA, in EU und Österreich (Anmerkung: strengeres nationales Recht steht über der Erlaubnis auf EU-Ebene)

	Vorsaat- und Nacherntebehandlung	**Vorerntebehandlung**	**Sikkation**	**Anbau GH-resistenter GMO**
USA	erlaubt	erlaubt	erlaubt	erlaubt
EU	erlaubt	erlaubt	erlaubt	verboten
Österreich	erlaubt	erlaubt	verboten[3]	verboten

[3] Gemäß Pflanzenschutzmittelgesetz (2011) verboten, sofern das Erntegut für Lebens- oder Futtermittelzwecke bestimmt ist.

Der Nutzen von GH in der Landwirtschaft lässt sich wie folgt zusammenfassen:

- Konservierende Bodenbearbeitung und Minimalbodenbearbeitung greifen nicht so tief in das Bodengefüge ein und schützen den Boden somit vor Erosion, Austrocknung und Nährstoffauswaschung. Um unerwünschten Bewuchs dennoch zu beseitigen, wird in diesen Bewirtschaftungsformen oft auf GH zurückgegriffen.

- Überfahrten mit einer Pflanzenschutzspritze sind kostengünstiger und schneller durchzuführen als Überfahrten mit Pflug oder Grubber, da die Arbeitsbreite einer Pflanzenschutzspritze in der Regel größer ist als die eines Pfluges oder eines Grubbers. Dadurch ist eine Einsparung an Maschinenkosten und Arbeitszeit möglich.

- Durch den Verzicht auf energieintensive Bodenbearbeitungsgänge wie Pflügen kann der Kraftstoffverbrauch und der damit verbundene CO_2-Ausstoß verringert werden.

- Die Ackerhygiene wird durch die Unterbrechung der grünen Brücke für Schädlinge und Unkräuter verbessert. Schaderreger finden in einer Zeit ohne Vegetation keine Möglichkeiten, zu überdauern und sterben oder wandern ab.

- Durch Sikkation wird bei ungünstigem Wetter eine Ernte überhaupt erst möglich. Es tritt eine Verringerung der Trocknungskosten des Ernteguts ein, wenn die noch nicht vollständig reifen Pflanzenbestände vor der Ernte mit GH behandelt werden, da der Feuchtigkeitsgehalt im Erntegut noch nicht vollständig reifer Pflanzen zu hoch ist, um es weiterzuverarbeiten oder zu lagern.

- Der Anbau von glyphosatresistenten GMO zeichnet sich durch effiziente Unkrautkontrolle durch Ausbringung von GH und hohe Erträge aus.

- Im Obst- und Weinbau können zwischen den Reihen der Pflanzen zur Beseitigung von unerwünschtem Bewuchs GH verwendet werden um Fahrgassen freizuhalten.

(Benbrook 2016; Cook et al. 2010; Dickeduisberg et al. 2012; Schmitz und Gavert 2012; Schwarz 2013; Steinmann et al. 2012)

Dickeduisberg et al. (2012) heben hervor, dass der Einsatz von GH von Landwirt/innen *„weniger herbologisch sondern ackerbaulich bzw. arbeitswirtschaftlich motiviert*“ ist. Das bedeutet, dass der Einsatz von GH pflanzenbaulich nicht alternativlos ist, sondern viel mehr aus Gründen der Arbeitserleichterung und der Kostenersparnis erfolgt. Diese Feststellung ist für die Diskussion um GH von großem Interesse: Betrachtet man den Einsatz von GH unter diesen Gesichtspunkten, so merkt man, dass der Einsatz von GH nicht nur dem Pflanzenschutz dient, sondern in vielen Fällen die Bodenbearbeitung ersetzen oder ergänzen soll.

Auch außerhalb der Landwirtschaft werden GH verwendet. Einige GH sind zur Verwendung im Haus- und Kleingartenbereich, in Stadtgärten oder im Waldbau auf Nichtkulturland zugelassen, dabei handelt es sich sowohl um GH, die auch in der Landwirtschaft verwendet werden als auch um eigene Formulierungen (BAES 2017b). Die Zahlen zur Ausbringung werden aber nicht exakt erfasst.

Eisenbahnbetreiber verwenden GH um Gleisbette von Bewuchs freizuhalten. Durch Schotterabrieb und Eintrag von anderem nährstoffreichen Material in das Schottergefüge des Gleisbetts wird dort ein idealer Nährboden für Pflanzen gebildet. Würden Pflanzen zwischen den Schottersteinen ungehindert wachsen, sich vermehren und auch wieder absterben, so würden die Hohlräume zwischen den Schottersteinen unweigerlich mit den Abbauprodukten der Pflanzen gefüllt werden. Diese Hohlräume sind aber wichtig, damit die Elastizität des Schotterbettes erhalten bleibt, welche wiederum zur Ableitung der durch den Zugsverkehr auftretenden Kräfte in den Untergrund gewährleistet sein muss (Kolb 2017). Auf Nachfrage bei den ÖBB wird angegeben, dass jährlich seit 2014 etwa

9,5 t Glyphosat eingesetzt werden, was ungefähr 3% der in Österreich abgesetzten Menge des Wirkstoffs Glyphosat entspricht. Diese Menge wurde durch den Einsatz des Multi Modul Trains reduziert, der durch Spezialkameras Bewuchs erkennen und zielgerichtet behandeln kann. Jährlich werden etwa 9.000 km Schienen mit Herbiziden behandelt. Eine Anwendung ist für sämtliche auf Gleisanlagen zugelassenen GH nur ein Mal pro Jahr erlaubt (BAES 2017b). Alternativen zur chemischen Bewuchsbekämpfung (mittels Heißwasser und Heißdampf) wurden erprobt, sind aber durch den enormen Energieverbrauch, die geringe Behandlungsgeschwindigkeit (< 6 km/h) und unzufriedenstellende Wirksamkeit derzeit keine wirtschaftlich sinnvolle Alternative zur Anwendung von GH (BMVIT 2017; Kolb 2017).

Gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 musste in jedem Mitgliedsland der EU die ausgebrachte Menge an Pflanzenschutzmitteln in ausgewählten Ackerkulturen sowie die damit behandelte Fläche für zumindest ein Jahr im Bezugszeitraum 2010-2014 bis Ende 2015 an die Europäische Kommission gemeldet werden. Dabei konnte jeder Mitgliedsstaat die von ihm zu erhebenden Ackerkulturen selbst bestimmen, sie sollen aber repräsentativ für den jeweiligen Mitgliedsstaat sein (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2009). In Österreich wurde diese Erhebung für das Bezugsjahr 2012 gemacht und in der Verwendungsstatistik für Pflanzenschutzmittel der AGES (2013) veröffentlicht. Diese weist für das Jahr 2012 einen Einsatz von GH von rund 229.000 kg in Erhebungskulturen aus. Erhebungskulturen waren Zuckerrübe, Apfel, Sojabohne, Weinbau, Kartoffel, Mais, Winterraps, Winterweizen und Sommergerste. Der Rest auf die insgesamt abgesetzten 438.500 kg entfällt auf andere Ackerkulturen, Lagerbestandsveränderungen und die außerlandwirtschaftliche Verwendung (auf Verkehrswegen und Eisenbahntrassen, in Kleingärten, auf öffentlichen Flächen wie Parks aber auch auf Industriegelände). Da mit der einmaligen Erfassung der Ausbringung der Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 genüge getan wurde, ist derzeit von keiner zukünftigen, regelmäßigen Erhebung des Pflanzenschutzmittelverbrauchs in Österreich auszugehen.

2.4 Glyphosathältige Totalherbizide in der gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Diskussion

Dieses Kapitel soll einen kurzen Überblick geben, warum GH in der Gesellschaft durchaus kritisch gesehen werden und warum daher auch die Möglichkeit besteht, dass sie mittelfristig in der EU nicht mehr zugelassen werden und damit für derzeitige Anwendungsbereiche nicht mehr zur Verfügung stehen.

Ein unerwünschter Nebeneffekt der Anwendung von GH kann die Bildung von Resistenzen in zu bekämpfenden Unkrautkulturen darstellen (Sammons und Gaines 2014). Dabei erfolgt durch häufige Anwendung von GH eine Selektion, die resistente Pflanzen nicht beeinträchtigt. Diese resistenten Pflanzen können sich danach ungehindert vermehren und vererben auch die Eigenschaft der Resistenz gegen GH, was zu ganzen Populationen resistenter Pflanzen führen kann. Flächendeckende Resistenz könnte zur Folge haben, dass Glyphosat in der Zukunft seine Wirkung verliert und als Instrument zur Kontrolle von Unkräutern nicht mehr zur Verfügung steht.

Anfang bis Mitte des Jahres 2016 sollte auf europäischer Ebene über die Verlängerung der Zulassung durch die Europäische Kommission entschieden werden, da sonst am 30. Juni 2016 die Zulassung auf europäischer Ebene ausgelaufen wäre (Europäische Kommission 2016a). Etwa zur selben Zeit gab es Kampagnen von NGOs, vor allem aus dem Bereich Umweltschutz, die ein totales Verbot von Glyphosat fordern. Kritikpunkte seitens der NGOs an GH sind die Unsicherheiten in Bezug auf mögliche Gesundheitsschäden an Menschen beim Kontakt mit GH oder deren Rückständen in Lebensmitteln oder in der Umwelt (GLOBAL 2000 2017).

Kritiker von GH beziehen sich oft auf eine Veröffentlichung des IARC, wonach Glyphosat für den Menschen wahrscheinlich krebserregend („*probably carcinogenic to humans*“) ist (Guyton et al. 2015). Dem gegenüber steht eine Veröffentlichung des Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR), die zu dem

Schluss kommt, dass es unwahrscheinlich ist, dass die durch die Nahrung aufgenommenen Rückstände von Glyphosat negative Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit haben, wörtlich: *„The Meeting concluded that the long-term dietary exposure to residues of glyphosate from uses that have been considered by JMPR is unlikely to present a public health concern."* (WHO/FAO 2016).

Einen weiteren Überblick über Studien zur Toxizität und Kanzerogenität bietet ein Artikel von Bai und Ogbourne (2016). Im gleichen Artikel wird auch betont, dass die Abbaugeschwindigkeit von Glyphosat und dessen Metaboliten von zahlreichen Faktoren, wie dem pH-Wert oder dem Phosphorgehalt des Bodens (je höher, desto schneller) abhängt und es nicht zuletzt deshalb wichtig ist, dass GH im Hinblick auf Anwendungszeitpunkt, Anwendungsobjekten und Dosierung richtig eingesetzt werden. In einem Review von Borggaard und Gimsing (2008) werden zahlreiche Studien verglichen, die die Toxizität und die Auswaschung von Glyphosat untersuchen. Hier wird auf den Aspekt verwiesen, dass einige toxische Wirkungen auf Zusatzstoffe oder Wechselwirkungen mit Zusatzstoffen in GH zurückzuführen sind, während diese Wirkungen mit Glyphosat alleine nicht nachweisbar wären.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Diskussion um eine etwaige Gefährdung menschlicher Gesundheit durch den Einsatz von GH und das Vorsorgeprinzip zum Schutz der öffentlichen Gesundheit und der Umwelt den wirtschaftlichen Interessen der Hersteller und der Anwender von GH gegenüberstehen.

Da man sich auf europäischer Ebene 2016 nicht über eine weitere Zulassung von Glyphosat einig wurde, wurde die Zulassung bis Ende 2017 verlängert (Europäische Kommission 2016b). Bis dahin soll eine Gefahreneinstufung durch die ECHA und eine Risikobewertung der EFSA vorliegen (BAES 2016). Aus österreichischer Sicht wurde der BM für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft vom Ständigen Unterausschuss in Angelegenheiten der Europäischen Union im österreichischen Nationalrat beauftragt, „dass sich Österreich in den EU-Gremien gegen jegliche Zulassung von Glyphosat ausspricht und gegen alle

anderslautenden Vorschläge stimmt“ (Ständiger Unterausschuss in Angelegenheiten der Europäischen Union 2017).

2.5 Ersatz von glyphosathältigen Totalherbiziden

Alternativen zu GH können mechanische oder chemische Verfahren sein. Als mechanische Verfahren als Alternative zu Vorsaat-, Vorauflauf- und Nacherntebehandlung können z.B. zusätzliche Bodenbearbeitungsgänge erfolgen. Chemische Alternativen zu GH sind für Stoppel- und Vorsaatbehandlung weder in Deutschland (Kehlenbeck et al. 2015) noch in Österreich (BAES 2017b) zugelassen. In der Literatur werden daher je nach Kultur und Region verschiedene Folgen des Verzichts auf GH gezeigt.

Zwar kann eine Bodenbearbeitung mit dem Pflug oder Grubber zur Bekämpfung von aufkeimenden Unkräutern oder Ausfallsamen durchaus wirksam sein, allerdings ist sie auf manchen Standorten, wie z.B. erosionsgefährdeten Flächen oder Böden mit hohem Tongehalt nicht sinnvoll oder auch nicht durchführbar, da diese Böden zu schwer sind (Schmitz und Gavert 2012). Weiters gehen die von Schmitz und Gavert (2012) befragten Experten davon aus, dass es in Regionen, in denen konservierende Bodenbearbeitung aus Gründen der Arbeitserleichterung oder aus Gründen des Erosionsschutzes durchgeführt wird, zu Ertragsdepressionen bei betroffenen Ackerkulturen und zum vermehrten Einsatz anderer, auch selektiver, Herbizide kommen wird.

Die Folgen eines Verzichtes auf GH werden in Kehlenbeck et al. (2015), Steinmann (2013) und Steinmann et al. (2012) sehr ähnlich beschrieben. Und zwar wird von Ertragsrückgängen und intensiverer und häufigerer Bodenbearbeitung und damit einhergehenden höheren Arbeitserledigungs-, Maschinen- und Energiekosten ausgegangen.

3 Daten und Methode

3.1 Daten

3.1.1 Deckungsbeiträge

Der Deckungsbeitrag einer landwirtschaftlichen Produktion wird definiert als die finanziellen Leistungen einer landwirtschaftlichen Produktion abzüglich der variablen Kosten. In der Landwirtschaft ist der Deckungsbeitrag pro ha ein wichtiger Indikator, um die Wirtschaftlichkeit des Anbaus unterschiedlicher Ackerkulturen, unterschiedlicher Anbauverfahren oder unterschiedlicher Standorte miteinander zu vergleichen. Zur Vergleichbarkeit wird der Deckungsbeitrag je ha und Jahr berechnet.

Die finanziellen Leistungen einer landwirtschaftlichen Produktion ergeben sich aus der produzierten Menge multipliziert mit dem durchschnittlichen Verkaufspreis pro Mengeneinheit. Weitere finanziellen Leistungen können sich aus dem Verkauf von Nebenprodukten wie z.B. Stroh oder aus Transferzahlungen ergeben. Transferzahlungen beinhalten Flächenprämien, Umweltprämien sowie alle anderen Zahlungen, die Landwirt/innen aus öffentlichen Quellen in Abhängigkeit von der von ihnen bewirtschafteten Fläche erhalten.

Die variablen Kosten, mit denen in der vorliegenden Arbeit gerechnet wurden, sind:

- Kosten für Saatgut
- Düngemittelkosten
- Kosten für Arbeitskraft
- variable Maschinenkosten für eigene Maschinen und Lohnunternehmer
- Lohnarbeit
- Hagelversicherung
- Trocknungskosten für Erntegut

- sonstige Kosten für spezielle Ernte- und Lagerverfahren (Kühlung, Silo, Sortierung)

Vereinfacht gesagt, sind variable Kosten jene Kosten, die mit dem Produktionsniveau direkt proportional steigen oder fallen. Fixkosten der landwirtschaftlichen Produktion wären z.B. Abschreibungen für Maschinen und Gebäude sowie Versicherungen, welche bis zu einem gewissen Grad unabhängig von der Produktionsmengenentscheidung sind[4]. Sämtliche Erlöse und Kosten sind in weiterer Folge exklusive Umsatzsteuer angeführt und berechnet.

Der Deckungsbeitrag errechnet sich wie in Formel 1 abgebildet (Mußhoff und Hirschauer 2016):

$$Deckungsbeitrag = Leistungen - variable\ Kosten \qquad (Formel\ 1)$$

Deckungsbeitrag:	Deckungsbeitrag in €/ha
Leistungen:	Erlöse (aus Produktverkäufen) + Transferzahlungen (Flächenprämie, flächenbezogene Umweltprämien, sonstige flächenbezogenen Prämien) in €/ha
variable Kosten:	(für Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, variable Maschinenkosten, Arbeitskosten, Hagelversicherung und sonstige variable Kosten) in €/ha

Die Daten in Tabelle 2 dienen als Parameter für das Modell BiomAT (siehe Kapitel Modell BiomAT) und stammen aus dem online Deckungsbeitragsrechner der österreichischen AWI (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 2017) bzw. aus dem

[4] Möchte ein Betrieb seine Produktion über seine derzeitigen Kapazitätsgrenzen hinweg ausdehnen, so fallen Investitionen (z.B. in neue Maschinen oder Betriebsgebäude) an, die ihrerseits zu einer Erhöhung der Fixkosten beitragen. Man spricht hierbei auch von „sprungfixen“ oder „disproportionalen“ Kosten (Mußhoff und Hirschauer 2016) .

online Deckungsbeitragsrechner der LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2017) für Ackerkulturen, die im österreichischen Deckungsbeitragsrechner derzeit nicht abgebildet sind. Waren weder bei AWI noch bei LfL eindeutige Daten vorhanden, so wurden die Annahmen und Daten aus Feusthuber et al. (2017) übernommen.

Die Arbeitskraftstunden (Akh) pro ha wurden in den Deckungsbeitragsrechnern der AWI und des LfL bei einer Schlaggröße von 2 ha berechnet.

Für die Berechnung der Preise wurde der Durchschnitt der Jahre 2011 bis 2015 laut Statistik Austria (2017) als Grundlage verwendet.

Die variablen Kosten in Tabelle 2 stammen aus dem Internetdeckungsbeitragsrechner der AWI (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 2017) und beinhalten keine Pflanzenschutz- oder Düngemittelkosten, da diese im Modell von der gewählten Bewirtschaftungsintensität (z.B. Düngung und Pflanzenschutz) abhängig sind. Dabei werden vier Bewirtschaftungsintensitäten „Niedrig“, „Mittel“, „Hoch“ und „Hoch mit Bewässerung“ unterschieden. „Niedrig“, „Mittel“ und „Hoch“ bzw. „Hoch mit Bewässerung“ unterscheiden sich hinsichtlich des Düngemitteleinsatzes und der Bewässerung. Sie beziehen sich auf derzeit geltende gesetzliche Regulierungen bzw. der Richtlinie des Europäischen Rates zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (Europäischer Rat 2008). „Hoch“ bedeutet den höchsten Düngemitteleinsatz, der aber je nach Kultur variieren kann. „Mittel“ bedeutet einen um ca. 20% geringeren Einsatz von Phosphor- und Stickstoffdünger, während die Intensität „Niedrig“ einen um ca. 40% geringerer Input an den genannten Düngern bedeutet. „Hoch mit Bewässerung“ bedeutet zusätzlich zur Düngemittelintensität von „Hoch“ noch den Einsatz von Bewässerung bis zu einer jährlichen Bewässerungssumme von 500 mm. Dabei wird angenommen, dass in Österreich genügend Wasser zur Bewässerung kostenlos zur Verfügung steht.

Weiters wird bei den Pflanzenschutzkosten im Deckungsbeitragsrechner der AWI zwischen Trocken- und Feuchtgebieten unterschieden, sodass für jede Kultur sechs unterschiedliche Werte zu Pflanzenschutz- oder Düngemittelkosten berücksichtigt werden. Diese Werte sind in Tabelle 3 im Detail aufgeführt. Die Kosten für die Düngung werden je nach Bewirtschaftungsintensität aus den Daten des EPIC-Modells (siehe Kapitel 3.2) über den Düngemittelaufwand errechnet.

Zu den Erlösen sind, wie bereits erwähnt, auch Einnahmen aus Flächen- und ÖPUL-Prämien hinzuzurechnen. Flächenprämien werden mit € 284 pro ha und Jahr angenommen (Landwirtschaftskammer Österreich 2015). Diese Prämie bekommt jeder landwirtschaftliche Betrieb für alle von ihm bewirtschafteten Flächen unabhängig von deren Bewirtschaftungsweise. In der Praxis ist der Erhalt der vollen Flächenprämie an die Einhaltung der Cross-Compliance- und Greening-Auflagen gekoppelt (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union 2014), welche im Modell aber keine Berücksichtigung finden. Die Prämien aus dem Österreichischen Programm zur Förderung einer umweltgerechten, extensiven und den natürlichen Lebensraum schützenden Landwirtschaft (ÖPUL) sind Umweltprämien, die landwirtschaftliche Betriebe für umweltgerechte Maßnahmen erhalten, die sie auf bestimmten Flächen oder am gesamten Betrieb umsetzen. Für die Bewirtschaftungsintensität „Mittel“ werden € 50 und für die Bewirtschaftungsintensität „Niedrig“ werden € 115 an ÖPUL-Prämien angenommen. Hierbei wird angenommen, dass durch die geringere Bewirtschaftungsintensität ein höheres Niveau an Umweltverträglichkeit erreicht wird und durch ÖPUL-Prämien abgegolten wird. In der Praxis gilt seit 2015 ein ÖPUL-Förderregime, das viele betriebsweite Maßnahmen abgilt (BMLFUW 2016b), das aber mit dem zur Verfügung stehenden Modell-Verbund nicht exakt abgebildet werden kann.

Tabelle 2: Datengrundlage zur Berechnung der Deckungsbeiträge für unterschiedliche Ackerkulturen (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2017; Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 2017)

	Akh	Verkaufspreis in €/t	VK ohne PS und Düngung	Anteil TS
Ackerbohne	4,8	191,40	391,88	85%
Brache	2,6	0,00	-212,00	85%
Durum	6,8	238,70	417,04	85%
Erbse	5,1	209,00	395,80	85%
Feldgemüse	45,6	168,2	1865,8	20%
Hafer	6,5	135,30	354,41	85%
Kartoffel	29,2	173,60	2080,77	20%
Klee	5,3	90,00	342,17	85%
Körnermais	5,9	155,50	791,69	85%
Lieschgras	5,3	90,00	411,40	85%
Luzerne	5,3	90,00	411,40	85%
Silomais	7,4	26,00	740,80	35%
Rotklee	5,3	90,00	342,17	85%
Sojabohne	4,8	374,50	380,43	85%
Sommergerste	6,8	175,30	371,03	85%
Sonnenblume	7,7	317,50	444,54	85%
Sorghumhirse	5,1	145,50	653,55	81%
Triticale	6,5	139,20	368,94	85%
Wintergerste	6,8	140,20	374,68	85%
Winterraps	7,6	365,00	365,04	85%
Winterroggen	6,5	147,60	349,48	85%
Winterweizen	6,7	155,50	375,00	85%
Zuckerrübe	16,5	41,00	850,39	20%

Tabelle 3: Pflanzenschutzmittelkosten in €/ha in Abhängigkeit von Standort und Bewirtschaftungsintensität, nach Bundesanstalt für Agrarwirtschaft(2017) und Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2017)

	Trockengebiet			Feuchtgebiet		
Kultur	**Niedrig**	**Mittel**	**Hoch**	**Niedrig**	**Mittel**	**Hoch**
Winterweizen	35,09	39,10	72,62	81,27	118,36	155,27
Winterroggen	35,09	66,92	76,57	48,52	81,47	111,95
Sommergerste	40,17	60,66	60,66	47,20	83,04	105,93
Wintergerste	40,17	62,08	76,51	83,83	138,18	161,89
Durum	40,17	69,71	69,71	40,17	69,71	69,71
Triticale	35,09	67,85	77,51	81,58	98,81	147,46
Hafer	35,24	39,25	39,25	35,74	42,86	45,96
Körnermais	74,39	74,39	74,39	70,85	70,85	70,85
Sonnenblume	103,18	103,18	103,18	103,18	103,18	103,18
Winterraps	135,23	160,76	214,36	149,61	189,56	256,32
Ackerbohne	107,07	132,60	132,60	109,67	135,20	135,20
Erbse	125,46	143,13	143,13	134,69	134,69	134,69
Sojabohne	98,16	98,16	98,16	81,21	81,21	81,21
Maissilage	74,39	74,39	74,39	70,85	70,85	70,85
Zuckerrübe	251,22	291,96	296,16	322,03	338,94	406,63
Kartoffel	427,83	456,43	456,43	427,83	456,43	456,43
Feldgemüse	175,70	265,20	367,60	175,70	265,20	367,60
Brache	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Luzerne	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lieschgras	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Klee	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rotklee	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sorghumhirse	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00	59,00

3.1.2 Derzeitige Anwendung von glyphosathältigen Totalherbiziden im österreichischen Ackerbau

Für die Modellierung über die Folgen eines Verzichts auf GH im österreichischen Ackerbau werden nur jene Anwendungen von GH berücksichtigt, welche in Österreich erlaubt sind.

In der Literatur sowie in offiziellen Statistiken finden sich keine detaillierten Daten zu derzeitigen Anwendungen von GH im österreichischen Ackerbau. In

Tabelle 4 sind daher die Ergebnisse einer Umfrage in Deutschland zusammengefasst (Steinmann et al. 2012). Da die nationale Gesetzgebung in Deutschland anders als in Österreich z.B. die Sikkation von Getreide zulässt, sind diese Daten nicht exakt auf Österreich umlegbar. Trotzdem können die Daten aus Deutschland eine Tendenz erkennen lassen, bei welchen Ackerkulturen im Anbau auch in Österreich am häufigsten GH ausgebracht werden. Die Anteile der Flächen, die in Deutschland zur Sikkation bzw. Vorerntebehandlung behandelt werden sind dort bei den meisten Ackerkulturen relativ gering. Lässt man diese Behandlungen außer Acht, kann man durch die Anteile für die übrigen, auch in Österreich erlaubten Verfahren, auf die Situation hierzulande schließen.

Tabelle 4: Einsatz von GH bei unterschiedlichen Ackerkulturen in Deutschland im Jahr 2009 nach Steinmann et al. (2012)

Ackerkulturen	Anzahl der erfassten Betriebe	Betriebe mit min. 1 GH Anwendung	Vorsaatbehandlung (% der Anbaufläche)	Vorerntebehandlung (% der Anbaufläche)	Stoppelbehandlung (% der Anbaufläche)	Flächenanteil auf dem GH angewendet wurden
Raps	493	59,8%	7,7%	2,1%	71,9%	87,2%
Hülsenfrüchte	100	35,0%	8,3%	11,8%	44,1%	72,1%
Wintergerste	584	48,1%	7,7%	21,7%	32,6%	65,9%
Sommergetreide	250	30,0%	8,1%	1,1%	26,4%	41,7%
Roggen / Triticale	256	31,3%	5,8%	2,8%	24,7%	35,0%
Körnermais	278	36,0%	28,5%	0,0%	3,1%	33,6%
Zuckerrübe	300	41,7%	25,2%	0,0%	3,7%	31,0%
Silomais	475	34,5%	11,7%	0,0%	9,9%	25,2%
Winterweizen	804	53,6%	4,3%	2,6%	14,8%	23,2%
Futterpflanzen	205	17,1%	0,6%	1,4%	9,4%	12,5%
Kartoffel	116	8,6%	8,9%	1,4%	0,1%	10,5%
Total	**896**	**84,1%**	**7,0%**	**3,8%**	**23,1%**	
Anteil der mit GH behandelten Fläche			**20,7%**	**11,2%**	**68,1%**	

Schmitz und Gavert (2012) haben in Experteninterviews die ökonomische Bedeutung von Glyphosat im deutschen Ackerbau untersucht. Dabei haben sie vor allem die Ackerkulturen Winterweizen, Wintergerste, Winterraps, Zuckerrübe und Mais genauer betrachtet. Weiters wurde nach den vier Regionen Nord-, Süd-, Ostdeutschland und Küstenregion unterschieden. Laut Experten ist der Einsatz von GH in der Region Ost vor allem der konservierenden Bodenbearbeitung in den dort vorkommenden großen Betrieben geschuldet. In den Regionen

Küste und Nord wird der Pflug regelmäßig in den Fruchtfolgen eingesetzt, trotzdem werden GH teilweise sogar zusätzlich zum Pflug eingesetzt. Es wurden von den Experten bereits resistente Unkräuter beobachtet. In der Region Süd spielt die Bewirtschaftung mit dem Pflug noch eine vergleichsweise große Rolle, es werden derzeit weniger GH eingesetzt.

Aus Schmitz und Gavert (2012) geht hervor, dass GH in der Region Deutschland Süd nur auf 10% der Getreide- und 15% der Rapsanbaufläche jeweils zur Stoppelbehandlung eingesetzt wird. In der Region Nord sind es immerhin je 15% bei Stoppel- bzw. Vorsaat- oder Vorauflaufbehandlung bei Getreide, 30% bei der Stoppelbehandlung bei Raps und 50% bei der Vorsaatbehandlung von Raps. In den anderen Regionen liegen diese Werte teils deutlich höher, dort kommt auch noch die Vorsaat- bzw. Vorauflaufbehandlung hinzu. Anders hingegen, wenn man nur die Flächen betrachtet, auf denen Mulchsaat[5] betrieben wird. Auch hier liegt der Anteil an mit GH behandelten Flächen in der Region Süd deutlich unter den anderen Regionen bei ca. 40% für Winterweizen, Wintergerste und Mais, ca. 50% für Winterraps und ca. 5% bei Zuckerrübe.

Kehlenbeck et al. (2015) weisen darauf hin, dass die Notwendigkeit einer Stoppelbehandlung mit GH oder der Durchführung einer alternativen Bearbeitung stark von der Fruchtfolge abhängig ist, da die Ausfallsamen bestimmter Ackerkulturen in gewissen Folgekulturen mehr Schaden als in anderen Folgekulturen anrichten können. In der Vorsaatbehandlung werden GH vor allem vor der Aussaat von Wintergetreiden (Wintergerste, Winterweizen) und vor dem Anbau von Zuckerrübe oder Mais in Mulchsaat angewendet. Bei den Getreiden besteht der Nutzen einer Anwendung von GH in der Bekämpfung von Ausfallsamen der Vorkulturen und der Bekämpfung von Unkräutern, die sonst in Konkurrenz mit den Getreidepflanzen treten würden. Bei Mais und Zuckerrübe in Mulchsaat besteht der Hauptnutzen der Anwendung von GH in der Abtötung der Mulchpflanzen,

[5] Mulchsaat ist eine Form der pfluglosen Bodenbearbeitung, bei der Pflanzenreste oder Stroh einer Vor- oder Zwischenfrucht den Boden bedecken und ihn somit vor Austrocknung und Erosion schützen sollen. Erfolgt vor der Mulchsaat keine Bodenbearbeitung, spricht man auch von Direktsaat (Agentur Anna s.a.).

welche oft als Winterbegrünung bzw. Zwischenfrucht angebaut werden und als abgestorbenes Pflanzenmaterial den Mulch bilden (Kehlenbeck et al. 2015).

Da es für Österreich noch keine repräsentativen Umfragen unter Landwirt/innen gab, die den Einsatz von GH erhoben haben, wird auf die Pflanzenschutzmittelverwendungsstatistik der AGES zurückgegriffen (AGES 2013). Diese weist gemäß der Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 über Statistiken zu Pestiziden die in Österreich im Jahr 2012 abgesetzten Mengen an PSM, differenziert nach Wirkstoffgruppen und Ackerkulturen, in denen sie ausgebracht wurden, aus. Die zu erfassenden Ackerkulturen werden in der Verordnung nicht erwähnt, es sollen aber die relevanten und landestypischen Ackerkulturen erfasst werden (siehe auch Kapitel 2.3). In der Gruppe der Organophosphor-Herbizide decken die erhobenen Ackerkulturen nur etwa 52% der in Verkehr gebrachten Menge ab (siehe Tabelle 5). Die verbleibenden 48% entfallen dementsprechend auf andere Ackerkulturen, Lagerstandsänderungen und außerlandwirtschaftliche Abnehmer, wie Kleinanwender im privaten Bereich, die ÖBB oder öffentliche Einrichtungen.

Tabelle 5: Mit GH behandelte Ackerbaukulturen und Flächen in Österreich 2012, Quellen: Organophosphor-Herbizide Verwendung 2012: PSM-Verwendungsstatistik 2012 (AGES 2013); Dosierung: Dosierungsempfehlungen der Hersteller (Anhang 1); Gesamtanbaufläche 2012: Grüner Bericht 2013 (BML-FUW 2013); eigene Berechnungen

Kultur	Organo-phosphor-Herbizide Verwen-dung 2012 in kg	Dosierung in kg G / ha	Behandelte Fläche in ha	Gesamt-anbaufläche 2012 in ha	Behan-delte Fläche in %
Zuckerrübe	58.867	1,44	40.880	49.375	82,8%
Sojabohne	21.098	1,62	13.023	37.126	35,1%
Kartoffel	5.323	1,62	3.286	21.782	15,1%
Körner- und Silomais	50.534	1,44	35.093	302.086	11,6%
Winterraps	9.666	1,62	5.967	55.651	10,7%
Winterweizen	43.619	1,62	26.925	280.745	9,6%
Sommergerste	9.568	1,62	5.906	72.698	8,1%

Um zu berechnen, bei welchen Ackerkulturen im Zuge des Anbaus besonders oft GH eingesetzt werden, muss man die aufgewendete Menge pro Kultur laut PSM-Verwendungsstatistik in Relation zur Gesamtanbaufläche einer Kultur setzen. Da in den zuvor zitierten Quellen (Schmitz und Gavert 2012; Steinmann et al. 2012) stets Anteile der mit GH behandelten Flächen an den Gesamtanbauflächen angeführt werden, sollen diese Anteile für die Situation in Österreich herangezogen werden und dadurch auf die behandelte Fläche in Österreich geschlossen werden. Hierfür wurden die nach Herstellerangaben empfohlenen Dosierungen pro ha von fünf häufig eingesetzten GH herangezogen und daraus der Mittelwert gebildet (siehe

Anhang 1). Als Bezugsfläche wurden die Gesamtanbauflächen der Ackerbaukulturen laut dem Grünen Bericht 2013 (BMLFUW 2013) herangezogen, da dieser, wie die PSM-Verwendungsstatistik der AGES, die Daten des Jahres 2012 enthält. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zu sehen.

3.1.3 Ersatzmaßnahmen und Ertragsrückgänge im Ackerbau bei Verzicht auf glyphosathältige Totalherbizide

Mögliche Ersatzmaßnahmen für den Verzicht auf GH wurden unter anderem bereits in Kapitel 2.5 erwähnt. Kehlenbeck et al. (2015) nennen als Alternative zu GH in der Vorsaat- als auch in der Stoppelbehandlung jeweils einen bis drei mechanische Bodenbearbeitungsgänge. In der Vorsaatbehandlung für Winterweizen und Wintergerste sowie für Mais und Zuckerrübe in Mulchsaat stellen sie die Notwendigkeit einer Behandlung mit GH fest und nennen als Alternative neben nicht näher definierten Ertragseinbußen und höheren Behandlungskosten mit selektiven Herbiziden in der Kultur folgende mögliche zusätzliche Bdenbearbeitungsgänge:

- Wintergerste: bis zu 1 mal
- Winterweizen: bis zu 2 mal (bis zu 3 mal bei Spätsaat)
- Zuckerrüben in Mulchsaat: bis zu 1 mal
- Mais in Mulchsaat: bis zu 2 mal

In der Stoppelbehandlung hängt laut Kehlenbeck et al. (2015) die Notwendigkeit einer Behandlung mit GH vor allem von der Fruchtfolge ab. Bei folgenden Fruchtfolgekombinationen besteht die Notwendigkeit einer Behandlung mit GH und demnach sind mechanische Bodenbearbeitungen als Ersatz zur Behandlung mit GH möglich:

- Winterraps/Winterweizen: bis zu 3 mal
- Winterweizen/Winterweizen: bis zu 3 mal
- Winterweizen/Wintergerste: bis zu 2 mal
- Winterweizen/Zuckerrübe oder Mais: bis zu 3 mal
- Wintergerste/Winterraps: bis zu 1 mal

Als mechanische Alternativen zum Einsatz von GH werden in der Folge das Überfahren mit Pflug oder einem tiefen Grubber angenommen. Kehlenbeck et al. (2015) verweisen weiters darauf, dass die Wirkungsäquivalenz zu GH über das Wiederholen der Bearbeitungsgänge angestrebt wird, eine vollständige Wirkungsäquivalenz aber nur annäherungsweise erreicht werden kann.

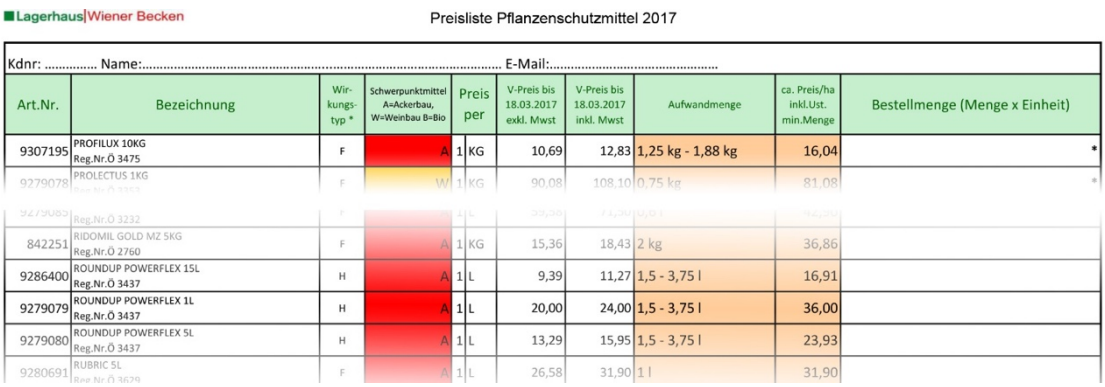
Die für die Berechnung des Deckungsbeitrags angenommenen variablen Kosten und benötigten Arbeitszeiten der Überfahrten mit Pflug, Grubber oder Pflanzenschutzspritze als Alternativen zum Einsatz von GH sind in Tabelle 6 beschrieben. Diese fließen bei der Berechnung des Deckungsbeitrages in den Anpassungsszenarien (siehe Kapitel 3.3)37 ein. Während durch den Verzicht auf GH eine Überfahrt mit der Pflanzenschutzspritze eingespart wird, kann es zur Notwendigkeit einer oder mehrerer zusätzlicher Überfahrten mit Pflug oder Grubber kommen. Für die Ausbringung von GH wird angenommen, dass eine Gesamtmenge von 200 l Spritzbrühe/ha ausgebracht wird. Die Kosten hierfür werden vom Deckungsbeitrag abgezogen.

Die Maschinenkosten in Tabelle 6 wurden aus dem AWI-Deckungsbeitragsrechner entnommen. Für die Berechnung der erforderlichen Arbeitszeit für Überfahrten mit Pflug, Grubber und Pflanzenschutzspritze wurden Daten des deutschen Kuratoriums für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft verwendet (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. 2017). Die Arbeitszeit fließt in die Deckungsbeitragsrechnung mit 10 €/h ein. Die Zahl der zur Verfügung stehenden Arbeitskraftstunden ist im Modell nicht begrenzt, es wird also angenommen, dass man theoretisch unendlich viele Arbeitskraftstunden zu jeder Zeit zum genannten Preis zukaufen kann.

Tabelle 6: Ersatzmaßnahmen bei Verzicht auf GH und ihre Auswirkungen auf variable Kosten und Arbeitszeit (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 2017; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. 2017)

	Grubber tief (10-20 cm)	**Grundbodenbe-arbeitung (Pflug)**	**Pflanzenschutz, Ausbringungs-menge 200 l/ha**
var. Maschinenkosten (exkl. USt.) in €/ha	27,96	52,00	5,08
Arbeitszeit in h/ha	1,50	1,70	0,25

Durch den Verzicht auf GH verringern sich die variablen Kosten der Produktion um die Kosten einer eventuellen Behandlung des Feldes mit GH. Die Herbizidkosten für eine Behandlung mit GH bei durchschnittlicher Aufwandsmenge liegen laut einer Preisliste (Abbildung 4) des Lagerhaus Wiener Becken (2017) zwischen € 14,09 und € 30,00, im Mittel bei € 21,34 pro ha (exkl. USt.).



Lagerhaus|Wiener Becken

Preisliste Pflanzenschutzmittel 2017

Kdnr: ..... Name:..... E-Mail:.....

Art.Nr.	Bezeichnung	Wir-kungs-typ *	Schwerpunktmittel A=Ackerbau, W=Weinbau B=Bio	Preis per	V-Preis bis 18.03.2017 exkl. Mwst	V-Preis bis 18.03.2017 inkl. Mwst	Aufwandmenge	ca. Preis/ha inkl.Ust. min.Menge	Bestellmenge (Menge x Einheit)
9307195	PROFILUX 10KG Reg.Nr.Ö 3475	F	A	1 KG	10,69	12,83	1,25 kg - 1,88 kg	16,04	*
9279078	PROLECTUS 1KG	F	W	1 KG	90,08	108,10	0,75 kg	81,08	*
	Reg.Nr.Ö 3232								
842251	RIDOMIL GOLD MZ 5KG Reg.Nr.Ö 2760	F	A	1 KG	15,36	18,43	2 kg	36,86	
9286400	ROUNDUP POWERFLEX 15L Reg.Nr.Ö 3437	H	A	1 L	9,39	11,27	1,5 - 3,75 l	16,91	
9279079	ROUNDUP POWERFLEX 1L Reg.Nr.Ö 3437	H	A	1 L	20,00	24,00	1,5 - 3,75 l	36,00	
9279080	ROUNDUP POWERFLEX 5L Reg.Nr.Ö 3437	H	A	1 L	13,29	15,95	1,5 - 3,75 l	23,93	
9280691	RUBRIC 5L	F	A	1 L	26,58	31,90	1 l	31,90	

Abbildung 4 Auszug aus einer Preisliste des Lagerhaus Wiener Becken für Pflanzenschutzmittel (Lagerhaus Wiener Becken 2017)

Der Mittelwert für eine Anwendung von GH aus diesen Daten liegt bei € 21,34/ha. In der Berechnung der Deckungsbeiträge liegen die gesamten Herbizidkosten (inkl. der selektiven Herbizide) für einige Getreidearten nur leicht über diesem Wert, bei € 24,93/ha. Da es nicht realistisch erscheint, dass durch den Verzicht auf GH die Herbizidkosten in einen Bereich unter € 10,00/ha und Jahr sinken, wird angenommen, dass bei den bisher mit GH behandelten Ackerkulturen die Behandlung mit GH ein Viertel der Herbizidkosten (25%) ausmacht.

3.2 Modell-Verbund

Der Modell-Verbund besteht aus drei Modellen, die im Folgenden beschrieben werden. Jedes Modell verfügt über eine regionale Auflösung von einem Quadratkilometer (in Summe 36.498 Pixel für 1.331.013 ha Ackerland) und berücksichtigt 22 Ackerkulturen. Jedes Pixel entspricht einem Quadratkilometer Fläche und kann dementsprechend bis zu 100 ha Ackerland beinhalten.

3.2.1 Modell CropRota

Mittels des Fruchtfolgemodells CropRota von Schönhart et al. (2011) werden aus den 22 Ackerkulturen für jedes der 36.498 Pixel jeweils drei Fruchtfolgesysteme abgeleitet. Hierfür werden zuerst Werte der Vorfrucht-Hauptfrucht- und Vor-Vorfrucht-Vorfrucht-Hauptfrucht-Sequenzen aus der Literatur, Fruchtfolgetabellen und Expertenmeinungen abgeleitet. Je höher dieser Wert ist, desto höher ist die positive Wirkung der (Vor-)Vorfrucht auf die Hauptfrucht. Die Wirkung der Vorfrucht auf die Hauptfrucht besteht unter anderem aus dem unterschiedlichen Bedarf an Nährstoffen. Zum Beispiel kann eine Vorfrucht einen Standort hinsichtlich des Gehalts bestimmter Nährstoffe stark beanspruchen und wenn die Hauptfrucht die gleichen Nährstoffe in hohem Maße benötigt, so ist die Vorfruchtwirkung in dieser Hinsicht eher schlecht zu beurteilen. Ein weiterer Faktor zur Vorfruchtwirkung ist, wie anfällig eine Hauptfrucht für Ausfallsamen der Vorfrucht ist, also ob eventuell am Acker verbliebene Samen der Vorkultur in der Hauptkultur aufgehen und dadurch den Bestand der Hauptfrucht verunreinigen oder gefährden können. CropRota berechnet mithilfe eines linearen Solvers Fruchtfolgekombinationen, bei denen der Fruchtfolgewert maximiert wird. Dabei gelten tatsächlich beobachtete Fruchtfolgen sowie die insgesamt beobachtete Verteilung der Ackerkulturen auf Gemeindeebene als Einschränkungen. Die ermittelten Fruchtfolgen bestehen aus einem (Monokultur) bis zu sechs Fruchtfolgegliedern.

3.2.2 Modell EPIC

Das bio-physikalische Prozessmodell EPIC Environmental Policy Integrated Climate Model (Williams 1995) wird verwendet, um jährliche Pflanzenerträge für die einzelnen Ackerkulturen und vier Bewirtschaftungsintensitäten zu simulieren. Wichtige Inputdaten für das Modell EPIC sind Klima, Topographie und Bodentypen. Die Pflanzenerträge werden für jedes Pixel, für drei Fruchtfolgesysteme aus dem Modell CropRota in je vier Bewirtschaftungsintensitäten simuliert.

Aus dem Modell EPIC wurden für diese Arbeit Daten von 1975 bis 2005 für jeden Pixel, jedes der drei im jeweiligen Pixel möglichen Fruchtfolgesysteme („Fruchtfolgesystem 1“ bis „Fruchtfolgesystem 3“) und jede der vier möglichen Bewirtschaftungsintensitäten simuliert. Dies ergibt für 36.498 Pixel insgesamt 13.577.256 Datensätze (31 Jahre * 3 mögliche Fruchtfolgesysteme * 4 Bewirtschaftungsintensitäten * 36.498 Pixel).

3.2.3 Modell BiomAT

Die Zielfunktion des Modells BiomAT ist in Formel 2 abgebildet:

$$\max GDB = \sum_{i,m} \pi_{i,m} x_{i,m} \qquad \text{(Formel 2)}$$

Dabei ist GDB der zu maximierende Gesamtdeckungsbeitrag über alle Pixel i in verschiedenen Bewirtschaftungsmöglichkeiten m. m beinhaltet verschiedene Fruchtfolgen, Bewirtschaftungsintensitäten und Bewässerung. π ist der durchschnittliche jährliche Deckungsbeitrag einer Kultur in einem Pixel, multipliziert mit seinem Anteil an der Fruchtfolge x.

Für das Modell gilt folgende Beschränkung (Formel 3):

$$s.t. \sum_{m} x_{i,m} \leq b_i \qquad \forall\, i \qquad (Formel\ 3)$$

Dabei ist b die verfügbare Fläche Ackerland pro Pixel i, die den Gesamtdeckungsbeitrag auf das insgesamt verfügbare Ackerland beschränkt.

Das Modell BiomAT maximiert als Zielwert die Summe des Deckungsbeitrags aus allen im Modell enthaltenen Pixel, d.h. für das gesamte österreichische Ackerland. Zuerst errechnet das Modell durchschnittliche Deckungsbeiträge für jedes der drei Fruchtfolgesysteme in den vier Bewirtschaftungsintensitäten in jedem Pixel. Es werden also 36.498 * 3 * 4 = 437.976 Deckungsbeiträge errechnet. Hierfür werden die in EPIC simulierten Pflanzenerträge je Fruchtfolgesystem und Bewirtschaftungsintensität der Zeitperiode 1975-2005 (31 Jahre) gemittelt. Die Daten zu Preisen, variablen Kosten (ohne Pflanzenschutz und Düngung) und Akh-Bedarf kommen aus Tabelle 2, siehe Kapitel 3.1 (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft 2017, Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 2017). Die Düngungskosten sind nur von der Bewirtschaftungsintensität abhängig, während die Pflanzenschutzkosten neben der Bewirtschaftungsintensität auch von der Kategorisierung in Trocken- oder Feuchtgebiet abhängig sind. Bei einer durchschnittlichen, jährlichen Niederschlagssumme von über 650 mm gilt ein Standort (in diesem Fall ein Pixel) als Feuchtgebiet, bis zu diesem Wert als Trockengebiet. Der Düngemitteleinsatz und die eventuelle Bewässerung sowie die damit verbundenen Pflanzenerträge je ha kommen aus den Daten des EPIC-Modells. Die Anzahl der insgesamt oder je Pixel zur Verfügung stehenden Akh ist nicht beschränkt. Wie schon in Kapitel 3.1, Abschnitt „Deckungsbeiträge“ erwähnt, fließen die Akh mit Kosten von 10 €/Akh in die Deckungsbeitragsrechnung ein. Die Deckungsbeiträge der einzelnen Ackerkulturen werden auf Deckungsbeiträge des möglichen Fruchtfolgesystems aufgerechnet, indem der Deckungsbeitrag jeder Kultur zum gleichen Anteil in den Deckungsbeitrag der Fruchtfolge einfließt, den auch die jeweilige Kultur an der Fruchtfolge hat.

In einem weiteren Schritt wird der gesamte Deckungsbeitrag über alle Pixel maximiert, indem für jeden Pixel jenes Fruchtfolgesystem und jene Bewirtschaftungsintensität gewählt wird, die in Summe den höchsten Deckungsbeitrag erwirtschaften lassen. Dies geschieht mithilfe eines linearen Solvers. Es ist zu beachten, dass das Modell an keine beobachteten Werte kalibriert ist.

Das Modellergebnis setzt sich aus folgenden Teilen zusammen:

- Absolute Werte in ha Anbaufläche je Kultur und Jahr pro Pixel. Da die Summe der Anbauflächen gleich bleibt, können daraus auch relative Werte errechnet werden.
- Eine relative Verteilung der Bewirtschaftungsintensitäten „Hoch“, „Mittel“, „Niedrig“ und „Hoch mit Bewässerung“ pro Jahr und Pixel.
- Zielwert, das ist die Summe der Deckungsbeiträge in € pro Jahr für das österreichische Ackerland.

3.3 Anpassungsszenarien zu Ersatzmaßnahmen bei Verzicht auf glyphosathältige Totalherbizide

Für die vorliegende Arbeit wurden fünf Szenarien entwickelt und in BiomAT modelliert. Ein Basis-Szenario soll eine Referenz für den aktuellen Stand hinsichtlich Verwendung von GH darstellen. Vier weitere Szenarien, im Folgenden als Anpassungsszenarien bezeichnet, bilden unterschiedliche Varianten ab, wie eine Anpassung auf den Verzicht auf GH erfolgen könnte. Bei der Entwicklung der Szenarien wurde auf die in Kapitel 3.1.3 genannten Ersatzmaßnahmen und Ertragsrückgänge Rücksicht genommen.

Die entwickelten Anpassungsszenarien umfassen:

- **Szenario Arbeitsgänge:** ein Szenario, in dem die Anpassung an den Verzicht auf GH durch einen bis mehrere zusätzliche Arbeitsgänge zum Basis-Szenario erfolgt und zudem teilweise leichte Ertragseinbußen hingenommen werden müssen,
- **Szenario Ertragseinbußen**: ein Szenario, in dem weniger bis keine zusätzlichen Arbeitsgänge zum Basis-Szenario durchgeführt werden und zusätzlich mittelmäßige Ertragseinbußen zum Basis-Szenario hingenommen werden müssen,
- **Szenario Optimistisch:** ein optimistisches Szenario, für das die geringeren Ertragseinbußen aus dem Szenario Arbeitsgänge und die wenigeren zusätzlichen Arbeitsgänge aus dem Szenario Ertragseinbußen kombiniert werden und
- **Szenario Pessimistisch:** ein pessimistisches Szenario, für das die zahlreicheren zusätzlichen Arbeitsgänge aus dem Szenario Arbeitsgänge und die höheren Ertragseinbußen aus dem Szenario Ertragseinbußen kombiniert werden.

Durch die Daten über die derzeitige Verwendung von GH aus Kapitel 3.1.2 wurden Ackerkulturen ausgewählt, bei denen Ersatzmaßnahmen an den Verzicht auf GH erfolgen oder Ertragsverluste auftreten. Es handelt sich um die Ackerkulturen, welche laut

Tabelle 4 und Tabelle 5, den höchsten Anteil an mit GH behandelter Fläche aufweisen, bei denen aber mindestens 30% der Fläche mit GH behandelt werden, das sind Raps (Winterraps), Hülsenfrüchte und Wintergerste laut Steinman et al. (2012) und Zuckerrübe und Sojabohne nach den Daten der AGES (2013). Die drittgereihte Kultur (Kartoffel) wird nur auf 15,1% der Anbaufläche mit GH behandelt und fällt somit aus der Auswahl. Da Winterweizen in der ackerbaulichen Praxis ähnlich zu handhaben ist wie Wintergerste und z.B. in Schmitz und Gavert

(2012) bei der Anwendung von GH „Getreide“ genannt wird, wird davon ausgegangen, dass Winterweizen die gleichen Ersatzmaßnahmen erfordert wie Wintergerste.

In dem Modell-Verbund werden die entwickelten Szenarien bei folgenden Ackerkulturen angewendet (alphabetisch sortiert):

- Ackerbohne
- Erbse
- Sojabohne
- Wintergerste
- Winterraps
- Winterweizen
- Zuckerrübe

Durch den Verzicht auf GH verringern sich in allen Anpassungsszenarien die Herbizidkosten bei diesen sieben betroffenen Ackerkulturen um 25% (siehe Kapitel 3.1.3). Weiters wird eine Überfahrt mit der Pflanzenschutzmittelspritze weniger durchgeführt, wodurch Arbeitszeiten frei und die variablen Kosten reduziert werden. Die zusätzlichen Arbeitsgänge sind in ihrer Intensität und Ausprägung Kehlenbeck et al. (2015) entnommen. Da sich für die Hülsenfrüchte in den zuvor zitierten Quellen keine genaueren Ersatzmaßnahmen finden, wird angenommen, dass sich diese hinsichtlich Ersatzmaßnahmen und Ertragsrückgängen auf einem ähnlichen Niveau wie Zuckerrübe befinden. Der Ertragsrückgang wird in der Literatur oft sehr ungenau beziffert und dabei oft auf einen Wegfall der Sikkation zurückgeführt (Cook et al. 2010). Da Sikkation in Österreich derzeit verboten ist (siehe Kapitel 2.3), kann der Rückgang um 20% wie er in Cook et al. (2010) beschrieben ist, nicht auf Österreich umgelegt werden. Trotzdem ist auch in Stoppel- und Vorauflaufbehandlungen laut Kehlenbeck et al. (2015) durch die mechanischen Alternativen keine vollständige Wirkungsäquivalenz zu GH zu erwarten (siehe Kapitel 3.1.32.5). Deshalb werden für betroffene Ackerkulturen in

den Szenarien Ertragseinbußen und Pessimistisch Ertragsrückgänge von 5% für die am stärksten betroffene Kultur Winterraps und 2,5% für die weniger stark betroffenen übrigen Ackerkulturen angenommen. In den übrigen Szenarien wird von einem Rückgang von 2,5% für Winterraps und keinem Rückgang in den übrigen Ackerkulturen ausgegangen.

Anders ausgedrückt stellt das Szenario Arbeitsgänge ein Szenario dar, bei dem durch mehrere zusätzliche Arbeitsgänge der Ertragsverlust gering gehalten oder gar vermieden wird. Im Szenario Ertragseinbußen hingegen wird mit zusätzlichen Arbeitsgängen eher sparsam umgegangen, dafür müssen aber Ertragsverluste hingenommen werden. Dass keine zusätzlichen Arbeitsgänge erfolgen, muss nicht die Entscheidung des/der Bewirtschaftenden sein, sondern kann auch dem Umstand geschuldet sein, dass keine oder nur wenige zusätzlichen Arbeitszeitkapazitäten vorhanden sind. Diese Einschränkung ist zwar im Modell nicht vorhanden, tritt in der Praxis aber mit Sicherheit auf und soll über die Bestimmung der Szenarien abgebildet werden. Das Szenario Pessimistisch vereint die zusätzlichen Arbeitsgänge aus dem Szenario Arbeitsgänge mit den höheren Ertragsrückgängen aus dem Szenario Ertragseinbußen. Umgekehrt verhält es sich mit dem Szenario Optimistisch, das die niedrigeren Ertragsrückgänge des Szenarios Arbeitsgänge mit den weniger zahlreichen zusätzlichen Arbeitsgängen des Szenarios Ertragseinbußen verbindet. Einen Überblick über die Szenarien gibt Tabelle 7.

Tabelle 7: Überblick über die in den Szenarien getroffenen Annahmen hinsichtlich zusätzlicher Maßnahmen im Ackerbau bei Verzicht auf GH im Vergleich zum Basis-Szenario

Szenarioname	**Ackerkulturen**	**Anpassung Arbeits-gänge Pflug**	**Anpassung Arbeitsgänge Grubber**	**Ertragsrück-gang in %**
Basis	keine	0	0	0%
Szenario Arbeitsgänge	Winterraps	1	1	2,5%
	Zuckerrübe	1	0	0%
	Sojabohne	1	0	0%
	Ackerbohne	1	0	0%
	Erbse	1	0	0%
	Wintergerste	0	1	0%
	Winterweizen	0	1	0%
Szenario Ertragseinbußen	Winterraps	0	1	5%
	Zuckerrübe	0	1	2,5%
	Sojabohne	0	1	2,5%
	Ackerbohne	0	1	2,5%
	Erbse	0	1	2,5%
	Wintergerste	0	0	2,5%
	Winterweizen	0	0	2,5%
Szenario Pessimistisch	Winterraps	1	1	5%
	Zuckerrübe	1	0	2,5%
	Sojabohne	1	0	2,5%
	Ackerbohne	1	0	2,5%
	Erbse	1	0	2,5%
	Wintergerste	0	1	2,5%
	Winterweizen	0	1	2,5%
Szenario Optimistisch	Winterraps	0	1	2,5%
	Zuckerrübe	0	1	0%
	Sojabohne	0	1	0%
	Ackerbohne	0	1	0%
	Erbse	0	1	0%
	Wintergerste	0	0	0%
	Winterweizen	0	0	0%

4 Ergebnisse

4.1 Modellierter Gesamtdeckungsbeitrag für das österreichische Ackerland

In Tabelle 8 finden sich die Zielwerte des Modells BiomAT in den unterschiedlichen Szenarien sowie die Veränderung in Relation zum Basis-Szenario. Die Zielwerte entsprechen der Summe aller Deckungsbeiträge über alle Pixel für das gesamte österreichische Ackerland für ein Jahr, berechnet nach den durchschnittlichen Erträgen und Bedingungen der Jahre 1975-2005. Es handelt sich hierbei um jenen Wert, der im Modell durch Auswählen der optimalen Fruchtfolge und der optimalen Intensität für jeden Pixel erreicht wird, wobei die hierfür optimale Fruchtfolge und Intensität diejenige ist, die den höchsten Deckungsbeitrag erwirtschaften lässt. Bei Szenario Pessimistisch, bei dem die meisten Ersatzmaßnahmen und Ertragseinbußen angenommen werden, sinkt der gesamte Deckungsbeitrag am stärksten, i.e. um fast 5% (siehe Tabelle 8). Bei Szenario Optimistisch, für welches vergleichsweise geringe Ersatzmaßnahmen und Ertragseinbußen angenommen wurden, sinkt er nur um 0,03%, das sind 250.000 €.

Tabelle 8: Modellierte Summe der Deckungsbeiträge (DB) pro Jahr für das österreichische Ackerland in den unterschiedlichen Szenarien

Szenario	**Gesamt-DB in Mio. €**	**Veränderung des Gesamt-DB im Vergleich zum Basis-Szenario in %**	**Veränderung des Gesamt-DB im Vergleich zum Basis-Szenario in Mio. €**
Basis-Szenario	927		
Szenario Arbeitsgänge	899	- 3,07%	- 28
Szenario Ertragseinbußen	910	- 1,87%	- 17
Szenario Pessimistisch	883	- 4,83%	- 44
Szenario Optimistisch	927	- 0,03%	- 0,25

4.1.1 Räumliche Verteilung der durchschnittlichen, jährlichen Deckungsbeiträge

In Abbildung 5 ist die räumliche Verteilung der durchschnittlichen, jährlichen Deckungsbeiträge im Basis-Szenario dargestellt. Demnach sind die Deckungsbeiträge an ertragreichen Standorten im March- und Tullnerfeld, im Weinviertel, in der östlichen Steiermark sowie im südlichen Burgenland, zum Teil auch im nieder- und oberösterreichischen Alpenvorland, aber auch in inneralpinen Tälern wie Rhein- und Inntal oder dem Klagenfurter Becken sehr hoch (bis über 750 €/ha), während sie an weniger ertragreichen Standorten wie dem Wald-, Mühl- und Innviertel meist unter 650 €/ha liegen. Hauptgründe für die unterschiedlichen Deckungsbeiträge sind vermutlich die unterschiedlichen Bodenformen und klimatischen Bedingungen, die es in bestimmten Regionen erlauben, Fruchtfolgen mit Ackerkulturen zu wählen, die einen hohen Deckungsbeitrag aufweisen oder die denselben Ackerkulturen höhere Erträge als auf weniger vorteilhaften Standorten erlauben. Beide Aspekte sind wesentliche Faktoren, die den Deckungsbeitrag beeinflussen.

In den Mustern der räumlichen Verteilung der durchschnittlichen, jährlichen Deckungsbeiträge sind zwischen den Szenarien kaum Veränderungen zu erkennen, weshalb in Abbildung 5 nur die Verteilung im Basis-Szenario des Modells BiomAT dargestellt ist.

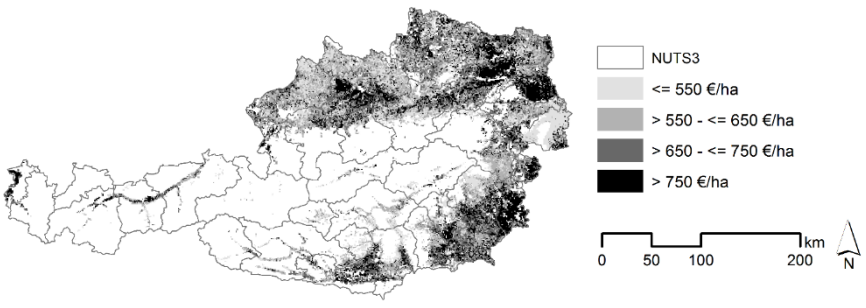


Abbildung 5: Räumliche Verteilung der durchschnittlichen, jährlichen Deckungsbeiträge im Basis-Szenario

4.2 Verteilung der Ackerkulturen auf dem Ackerland

Die Verteilung der Anbauflächen auf die im Modell berücksichtigten Ackerkulturen ist in Tabelle 9 ersichtlich. Im Basis-Szenario wird auf rund 20% des zur Verfügung stehenden Ackerlandes Winterweizen angebaut. Etwa 13% entfallen auf Lieschgras und ungefähr gleich viel auf Körnermais. Alle übrigen Ackerkulturen haben Anteile unter 8%. Die Ackerkulturen, deren Deckungsbeiträge sich durch den Verzicht auf GH laut der getroffenen Annahmen verringern (in Tabelle 9 grau markiert), haben Anteile von nur 0,4% (Ackerbohne) bis zu fast 20% (Winterweizen), insgesamt machen sie knapp mehr als 42% der Anbaufläche aus.

Tabelle 9: Verteilung der Anbauflächen auf Ackerkulturen im Basis-Szenario und relative Veränderung der Anbauflächen in den Anpassungsszenarien im Vergleich zu den Anbauflächen im Basis-Szenario; grau markiert sind jene Ackerkulturen, die von einer Anpassung beim Verzicht auf GH betroffen sind.

	Basis-Szenario					
Kultur	Fläche in ha	Fläche in % der Gesamtanbaufläche	**Veränderung Szenario Arbeitsgänge**	**Veränderung Szenario Ertragseinbußen**	**Veränderung Szenario Pessimistisch**	**Veränderung Szenario Optimistisch**
Luzerne	11.164	0,8%	- 1,2%	- 4,3%	- 2,2%	- 2,8%
Wintergerste	72.674	5,5%	- 9,4%	- 3,9%	- 14,9%	+ 1,1%
Klee	24.485	1,8%	+ 2,3%	+ 3,0%	+ 3,5%	+ 2,0%
Körnermais	168.536	12,7%	+ 3,1%	+ 2,3%	+ 4,5%	+ 1,6%
Feldgemüse	25.795	2,0%	+ 0,9%	+ 1,0%	+ 1,7%	- 0,1%
Silomais	26.749	2,0%	+ 8,5%	+ 2,2%	+ 12,9%	- 0,2%
Durum	16.326	1,2%	+ 10,3%	+ 2,1%	+ 13,3%	+ 0,3%
Ackerbohne	5.309	0,4%	- 10,7%	- 14,2%	- 14,1%	- 9,8%
Brache	15.766	1,2%	+ 18,2%	+ 6,9%	+ 23,9%	+ 1,0%
Erbse	16.089	1,2%	- 3,0%	- 3,6%	- 4,8%	- 3,1%
Hafer	12.392	0,9%	+ 6,4%	+ 0,6%	+ 9,3%	- 2,0%
Rotklee	93.790	7,0%	+ 4,5%	+ 2,9%	+ 6,0%	+ 0,9%
Kartoffel	38.458	3,0%	- 0,2%	- 0,2%	- 0,3%	± 0,0%
Sommergerste	49.786	3,7%	+ 7,7%	+ 2,6%	+ 10,7%	- 0,6%
Zuckerrübe	68.559	5,2%	+ 4,5%	+ 0,4%	+ 3,1%	+ 1,6%
Sojabohne	84.074	6,3%	- 6,0%	- 3,2%	- 8,5%	- 1,6%
Sonnenblume	27.280	2,0%	- 1,5%	+ 3,4%	- 0,8%	+ 1,3%
Triticale	38.321	2,9%	+ 1,5%	- 2,8%	+ 2,6%	- 4,5%
Winterraps	57.805	4,4%	- 19,6%	- 9,0%	- 23,4%	- 5,9%
Winterroggen	43.956	3,3%	+ 3,5%	± 0,0%	+ 5,3%	- 1,2%
Winterweizen	260.791	19,6%	- 3,1%	- 0,1%	- 4,3%	+ 1,3%
Lieschgras	171.158	13,0%	+ 3,4%	+ 1,1%	+ 5,2%	- 0,4%
Sorghumhirse	1.750	0,1%	+ 7,9%	+ 1,8%	+ 11,7%	- 4,3%
Summe	**1.331.013**	**100%**				

Im Szenario Arbeitsgänge zeigen die Modellergebnisse, dass die Anbaufläche für Winterraps um fast 20% sinkt. Beträchtliche Rückgänge sind auch bei Ackerbohne (- 10,7%) und Wintergerste (- 9,4%) zu beobachten. Bei Sojabohne (- 6,0%), Winterweizen (- 3,1%) und Erbse (- 3,0%) sind die Rückgänge weniger stark ausgeprägt und bei Zuckerrübe ist sogar eine Steigerung der Anbaufläche um über 5% zu beobachten. Von den nicht von einer Anpassung an den Verzicht auf GH betroffenen Ackerkulturen gewinnen vor allem Durum (+ 10,1%), Silomais (+ 8%) und Sommergerste (+ 7%) sowie Brache (+ 17,2%) an Anbaufläche.

Im Szenario Ertragseinbußen sind laut Modellergebnissen die stärksten Rückgänge in der Anbaufläche bei Ackerbohne (- 14,2%) zu beobachten, während sie bei Winterraps nur bei - 9,0% liegen. Für Zuckerrübe und Winterweizen bleibt die Anbaufläche im Vergleich zum Basis-Szenario annähernd gleich (+ 0,4% und - 0,1%), leichte Rückgänge gibt es bei Wintergerste (- 3,9%), Erbse (- 3,6%) und Sojabohne (- 3,2%). Bei den übrigen Ackerkulturen gewinnt vor allem Brache (+ 6,9%). Die Veränderungen fallen aber im Allgemeinen moderater aus als im Szenario Arbeitsgänge.

In den Modellergebnissen des Szenarios Pessimistisch kann man die größten Veränderungen zum Basis-Szenario beobachten. Die Anbaufläche für Winterraps geht um 23,4% zurück. Ebenfalls starken Rückgang kann man bei Wintergerste (- 14,9%) und Ackerbohne (- 14,1%) beobachten. Geringer sind die Rückgänge bei Sojabohne (- 8,5%) und Erbse (- 4,8%), während es bei Zuckerrübe sogar eine leichte Steigerung um 3,1% gibt. Auch bei den übrigen Ackerkulturen gibt es teils große Veränderungen. Zum Beispiel steigt der Flächenanteil von Brache um 23,9%, von Durum um 13,3%, von Silomais um 12,9%, von Sorghumhirse um 11,7% und von Sommergerste um 10,7%.

Im Szenario Optimistisch treten laut Modellergebnissen die größten Rückgänge in der Anbaufläche bei Ackerbohne (- 9,8%) auf. Die Anbaufläche für Winterraps sinkt um 5,9%, die Anbauflächen für Wintergerste, Zuckerrübe, Sojabohne und Winterweizen verändern sich im Bereich von weniger als 2%. Brache, die in den

übrigen Szenarien teils sehr stark in der Fläche zunahm, bleibt in diesem Szenario annähernd am Niveau des Basis-Szenarios (+ 1,0%). In den übrigen Ackerkulturen stechen Triticale und Sorghumhirse mit einem Rückgang der Anbaufläche von 4,5% und 4,3% heraus.

Über alle Szenarien hinweg ist zu beobachten, dass die Anbaufläche für Kartoffel relativ stabil bleibt (maximal - 0,3% im Szenario Pessimistisch). Die von einer Anpassung an den Verzicht auf GH betroffenen Getreidekulturen Winterweizen und Wintergerste reagieren im Rahmen des Modells im Ausmaß ihrer Anbaufläche stärker auf die erhöhten variablen Kosten im Szenario Arbeitsgänge als auf die Ertragsrückgänge im Szenario Ertragseinbußen, natürlich besonders stark auf die Kombination aus beidem im Szenario Optimistisch.

Den größten Rückgang der Summe der Anbauflächen der betroffenen Ackerkulturen kann man im Szenario Pessimistisch beobachten, während die Summe dieser Anbauflächen im Szenario Optimistisch nur sehr leicht (weniger als 1.000 ha) sinkt.

4.2.1 Verteilung der Anbauflächen im Modell im Vergleich zu gemeldeten Daten zusammengefasst im Grünen Bericht

In Tabelle 10 werden die Modellergebnisse der Anbaufläche des Basis-Szenarios mit den Daten des Grünen Berichts der Jahre 2010-2015 verglichen (BMLFUW 2011, 2012, 2013, 2014, 2015a, 2016a) und dadurch teilweise validiert. Bei Ackerkulturen, die von einer Anpassung an den Verzicht auf GH betroffen sind (in der Tabelle grau markiert), zeigt sich, dass ihr Anteil an der Gesamtanbaufläche in der Realität in etwa so hoch wie im Basis-Szenario des Modells ist. Eine Differenz bei den Anbauflächen für Sojabohne ist sicherlich auch dem Umstand geschuldet, dass der Sojaanbau in den letzten Jahrzehnten durch Förderungen und relative Preisänderungen stark schwankte (Mitter et al. 2015). Die Anbauflächen für Winterweizen sind nahezu ident, auch Winterraps, Wintergerste und Erbse weisen eine hohe Übereinstimmung zwischen den Daten aus den Grünen

Berichten und den Modellergebnissen auf. Die Anbauflächen für alle Ackerkulturen über die Jahre 2010-2015 sind in Anhang 2 angeführt.

In den Jahren 2010-2015 wurden auf durchschnittlich 92,8% des österreichischen Ackerlandes jene Ackerkulturen angebaut, die im Modell enthalten sind. Das Modell deckt damit einen Großteil der angebauten Ackerkulturen ab. Die Summe der Anbauflächen im Modell beläuft sich auf 1.331.012 ha, das entspricht 98,2% der 1.354.926 ha, die im Durchschnitt von 2010-2015 österreichweit bewirtschaftet wurden. Die Daten zur Fläche, welche im Modell BiomAT verwendet werden, stammen aus INVEKOS-Daten von 2010 und wurden in einem Forschungsprojekt der HBLFA Raumberg-Gumpenstein aufbereitet und im Fachatlas Landwirtschaft veröffentlicht (Guggenberger et al. 2012).

Tabelle 10: Anbauflächen von Ackerkulturen im österreichischen Durchschnitt 2010-2015 (BMLFUW 2011, 2012, 2013, 2014, 2015a, 2016a) im Vergleich zum Basis-Szenario des Modells. Grau markiert sind Ackerkulturen, die von einer Anpassung an den Verzicht auf GH betroffen sind. Dargestellt sind ausschließlich Ackerkulturen, die im Modell BiomAT berücksichtigt sind.

	Gemeldete Werte (lt. Grüner Bericht)		**Modellierte Werte (Basis-Szenario)**	
Ackerkulturen	Durchschn. Anbaufläche in ha 2010-2015	in % der Summe der durchschn. Anbaufläche 2010-2015	Modellierte Anbaufläche in ha	in % der Summe der Anbaufläche im Basis-Szenario
Winterweizen	273.874	21,8%	260.791	19,6%
Lieschgras	58.661	4,7%	171.158	12,9%
Körnermais	207.483	16,5%	168.535	12,7%
Klee	61.522	4,9%	93.790	7,1%
Sojabohne	42.063	3,3%	84.074	6,3%
Wintergerste	81.664	6,5%	72.674	5,5%
Zuckerrübe	47.948	3,8%	68.559	5,2%
Winterraps	51.870	4,1%	57.805	4,3%
Sommergerste	70.489	5,6%	49.786	3,7%
Winterroggen	47.347	3,8%	43.956	3,4%
Kartoffel	21.581	1,7%	38.458	2,9%
Triticale	47.860	3,8%	38.321	2,9%
Sonnenblume	22.705	1,8%	27.280	2,0%
Silomais	88.554	7,0%	26.749	2,0%
Feldgemüse	12.658	1,0%	25.795	1,9%
Rotklee	10.703	0,9%	24.485	1,8%
Durum	15.422	1,2%	16.326	1,2%
Erbse	9.561	0,8%	16.089	1,2%
Brache	40.572	3,2%	15.766	1,2%
Hafer	24.396	1,9%	12.392	0,9%
Luzerne	13.512	1,1%	11.164	0,8%
Ackerbohne	6.945	0,6%	5.309	0,4%
Sorghumhirse	-	-	1.750	0,1%
Summe	**1.257.388**	**100%**	**1.331.012**	**100%**

4.3 Verteilung der Anbauintensitäten

In Tabelle 11 sind die Verteilung der Bewirtschaftungsintensitäten und die relativen Veränderungen zum Basis-Szenario dargestellt. Im Basis-Szenario werden 64,1% der Gesamtanbaufläche in der Intensität „Mittel“ bewirtschaftet, 17,8% in der Intensität „Niedrig“, nur 5,9% in der Intensität „Hoch“ und 12,2% in der Intensität „Hoch mit Bewässerung“.

Die moderate Düngungsintensität „Mittel“ verzeichnet auf dem Niveau eines hohen Anteils an der Gesamtanbaufläche über die Szenarien geringe Rückgänge zwischen 0,2% und 0,9%, bleibt also annähernd konstant und liegt zwischen 63,5% (Szenario Arbeitsgänge) und 64,0% (Szenario Ertragseinbußen) der Anbaufläche.

Die Anbauintensität „Hoch“ verzeichnet durchgehend höhere Anteile, die in dieser Intensität bewirtschaftete Fläche steigt zwischen 1,7% (Szenario Ertragseinbußen) und 8,5% (Szenario Arbeitsgänge). Allerdings liegen die Anteile an der Gesamtfläche weiterhin auf einem sehr geringen Niveau zwischen 6,4% (Szenario Arbeitsgänge) und 6,0% (Szenario Ertragseinbußen).

Die Anteile der Bewirtschaftungsintensität „Hoch mit Bewässerung“ gehen in den Szenarien Arbeitsgänge, Ertragseinbußen und Pessimistisch zurück und liegen zwischen 11,2% (Szenario Pessimistisch) und 12,0% (Szenario Arbeitsgänge), während der Anteil im Szenario Optimistisch auf dem Niveau des Basis-Szenarios bleibt.

Der Anteil der Anbaufläche, welcher in der Intensität „Niedrig“ bewirtschaftet wird, kann einen Zuwachs um 5,1% im Szenario Pessimistisch und um 4,5% im Szenario Ertragseinbußen verbuchen. Im Szenario Arbeitsgänge ist ein geringerer Zuwachs zu beobachten und im Szenario Optimistisch gibt es keine nennenswerte Änderung im Vergleich mit dem Basis-Szenario.

Tabelle 11: Anteil der Bewirtschaftungsintensitäten an der gesamten Ackerfläche (in ha und in %), Basis-Szenario im Vergleich zu den Anpassungsszenarien

	Hoch	Mittel	Niedrig	Hoch mit Bewässe-rung	Summe
Basis-Szenario					
Fläche in ha	78.530	853.179	236.920	162.384	1.331.013
Fläche in %	5,9%	64,1%	17,8%	12,2%	100,0%
Szenario Arbeitsgänge					
Fläche in ha	85.185	845.193	240.913	159.722	1.331.013
Fläche in %	6,4%	63,5%	18,1%	12,0%	100,0%
Veränderung zum Basis-Szenario in %	+ 8,47%	- 0,94%	+ 1,69%	- 1,64%	
Szenario Ertragseinbußen					
Fläche in ha	79.861	851.848	247.568	151.736	1.331.013
Fläche in %	6,0%	64,0%	18,6%	11,4%	100,0%
Veränderung zum Basis-Szenario in %	+ 1,69%	- 0,16%	+ 4,49%	- 6,56%	
Szenario Pessimistisch					
Fläche in ha	82.523	850.518	248.899	149.073	1.331.013
Fläche in %	6,2%	63,9%	18,7%	11,2%	100,0%
Veränderung zum Basis-Szenario in %	+ 5,08%	- 0,31%	+ 5,06%	- 8,20%	
Szenario Optimistisch					
Fläche in ha	82.523	849.186	236.920	162.384	1.331.013
Fläche in %	6,2%	63,8%	17,8%	12,2%	100,0%
Veränderung zum Basis-Szenario in %	+ 5,08%	- 0,47%	0,00%	0,00%	

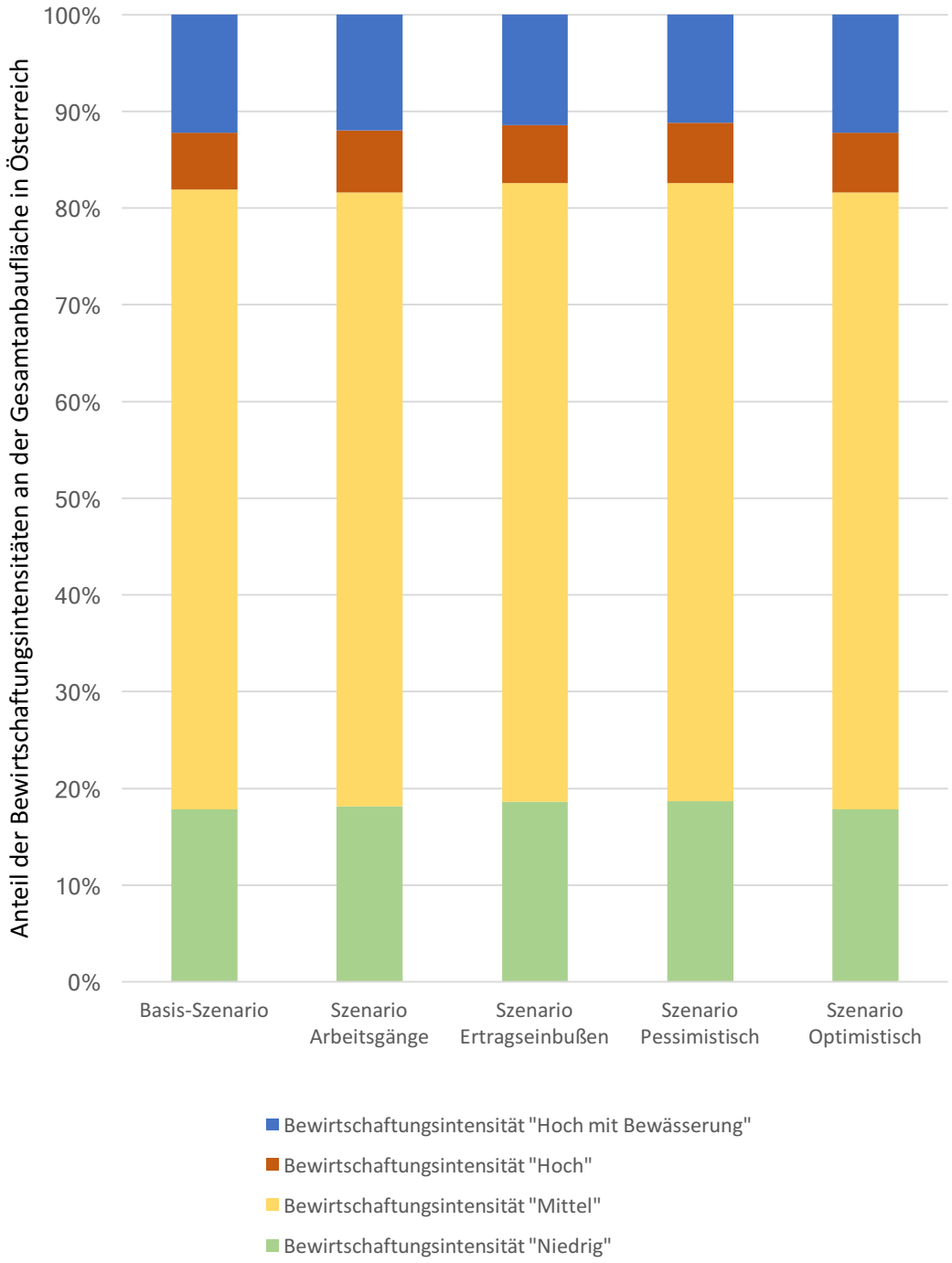


Abbildung 6: Verteilung der Bewirtschaftungsintensitäten im Basis-Szenario und in den Anpassungsszenarien

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass im Vergleich zum Basis-Szenario vor allem die Bewirtschaftungsintensität „Hoch“ über alle Anpassungsszenarien hinweg leicht gewinnt. Diese Bewirtschaftungsintensität weist allerdings im Basis-Szenario die mit Abstand geringsten Anteile an der Gesamtanbaufläche auf, sodass ihr Zuwachs in absoluten Zahlen nie über 7.000 ha beträgt. In absoluten

Zahlen treten die größten Zugewinne bei der Bewirtschaftungsintensität „Niedrig“ im Szenario Pessimistisch auf (+ 11.979 ha, ca. 0,9% der Gesamtanbaufläche). Die größten Verluste sowohl in absoluten Zahlen als auch im Verhältnis zum Basis-Szenario treten bei der Bewirtschaftungsintensität „Hoch mit Bewässerung“ im Szenario Pessimistisch auf. Sie betragen 13.310 ha (- 1,0% der Gesamtanbaufläche) oder - 8,2% im Vergleich zum Basis-Szenario.

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Ergebnisse

Ein bemerkenswertes Modellergebnis ist, dass im Szenario Optimistisch der Zielwert (der Gesamtdeckungsbeitrag) höher ist als im Basis-Szenario. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass für zwei Ackerkulturen (Wintergerste, Winterweizen), die im Basis-Szenario gemeinsam über 25% der Anbaufläche ausmachen, in diesem Szenario keine zusätzlichen Kosten oder Ertragsrückgänge angenommen werden, wohl aber ein Rückgang der variablen Kosten um die Kosten einer Überfahrt mit der Pflanzenschutzspritze. Der Deckungsbeitrag dieser beiden Ackerkulturen ist im Szenario Optimistisch höher als im Basis-Szenario, daher steigt ihr gemeinsamer Anteil an der Gesamtanbaufläche in diesem Szenario auch noch leicht an. Das bedeutet, dass im Basis-Szenario durch den angenommenen Einsatz von GH nicht optimal gewirtschaftet wird bzw. dass der Einsatz von GH nicht notwendig gewesen wäre. Auch Dickeduisberg et al. (2012) erwähnen, dass der Einsatz von GH viel weniger aus Gründen der herbologischen Notwendigkeit zum Zwecke des Pflanzenschutzes, sondern vielmehr aus Gründen der Arbeitserleichterung erfolgt. Das heißt, dass durch den Einsatz von GH die vergleichsweise teuren Arbeitsgänge in der Grundbodenbearbeitung eingespart werden können, während die Bekämpfung von Unkraut in der Folgekultur nur ein Nebeneffekt dieser Behandlungen ist, der auch durch die mechanische Grundbodenbearbeitung annähernd wirkungsgleich erfolgen könnte (Kehlenbeck et al. 2015).

Eine Arbeit von Böcker et al. (2018) führt eine Modellierung eines Verbotes von GH im Anbau von Silomais in Nordrhein-Westfalen durch. Die Autoren weisen darauf hin, dass nur jene landwirtschaftlichen Betriebe von den Folgen betroffen sind, deren optimale Bewirtschaftungsform auch bisher die Ausbringung von GH umfasst. Dazu gehören vor allem jene Betriebe, die auch bisher auf konservierende Bodenbearbeitung setzen. In vielen Fällen scheint es gemäß ihrer Modellergebnisse vorteilhafter, Ertragsrückgänge hinzunehmen als höhere Ausgaben

für selektive Herbizide zu leisten. Weiters simulierten die Autoren einen erhöhten Bedarf an Arbeitskraftstunden durch die zunehmende mechanische Bodenbearbeitung infolge des Wegfalls von GH. Die Unterschiede in der Bodenbearbeitung wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Die genaue Untersuchung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme am österreichischen Ackerland im Zusammenhang mit der Verwendung von GH stellt weiterhin Forschungsbedarf dar.

Der Zielwert des Modells BiomAT drückt die Summe der Deckungsbeiträge über alle Pixel (das gesamte Ackerland Österreichs) aus. Ein Rückgang dieses Zielwerts kann also gleichgesetzt werden mit einem Rückgang des Gesamtdeckungsbeitrags für landwirtschaftliche Betriebe. In den Anpassungsszenarien betrug der Rückgang des Gesamtdeckungsbeitrags zwischen 0,25 und 44 Mio. Euro für das gesamte österreichische Ackerland. Cook et al. (2010) errechnen für britische Farmen einen Einkommensverlust von durchschnittlich ca. 10.000 £ (derzeit ca. 11.100 €) pro Jahr für einen Betrieb mit 100 ha Ackerland. Steinmann et al. (2012) errechnen den Nutzen von GH für die gesamte deutsche Landwirtschaft mit 79-202 Mio. € pro Jahr bei ca. 11 Mio. ha Ackerland. Der Vergleich mit den Studien aus Deutschland und Großbritannien ist aber aus Gründen der unterschiedlichen Einsatzzwecke von GH nur bedingt möglich. Vor allem Cook et al. (2010) messen der Ernteerleichterung und den verminderten Trocknungskosten von Getreide durch die Sikkation hohen Wert bei. Da dieses Verfahren aber in Österreich, wie bereits in Kapitel 2.3 erwähnt, nicht erlaubt ist und daher im Modell nicht berücksichtigt wurde, lässt der Vergleich mit der Situation in Großbritannien und Deutschland für Österreich nur den Schluss zu, dass im Falle eines Verbotes von GH die österreichische Landwirtschaft aufgrund der geringeren Abhängigkeit von Verfahren, die GH benötigen, geringere Ertragseinbußen und Einkommensverluste zu erwarten hat, als die britische oder deutsche Landwirtschaft.

Der Rückgang im Anbau von Eiweißkulturen insgesamt (Ackerbohne, Erbse und Sojabohne) kann zu einer Verschärfung des Protein-Defizits (Martin 2014) in Österreich und der EU führen. Durch die Ergebnisse dieser Arbeit liegt der Schluss nahe, dass ein deutlicher Rückgang im Anbau von Eiweißkulturen durch den Verzicht auf GH eintreten könnte. Dies wird durch die PSM-Verwendungsstatistik der AGES (2013) und Steinmann et al. (2012) untermauert, da auch sie Sojabohne bzw. Hülsenfrüchte unter den Ackerkulturen mit dem höchsten Einsatz an GH sehen.

Ackerkulturen, welche in den Anpassungsszenarien vermehrt angebaut werden, sind oftmals Getreidesorten wie Durum oder Hafer, die vermutlich aufgrund ihrer geringeren Bedeutung für die europäische Landwirtschaft in den bislang veröffentlichten Studien nicht mit intensivem Einsatz von GH in Verbindung gebracht wurden. Da viele dieser Getreidekulturen aber in der Bewirtschaftung und im Management ähnlich wie Winterweizen oder Wintergerste sind, kann nicht ausgeschlossen werden, dass bei deren Anbau ebenso GH verwendet wird und damit auch die Ersatzmaßnahmen oder Ertragseinbußen auftreten würden. Jedenfalls konnte in der verwendeten Literatur kein Hinweis auf einen Einsatz von GH bei Hafer oder Durum gefunden werden. Zumindest für Hafer sind aber im Pflanzenschutzmittelregister der AGES (BAES 2017b) 3 Herbizide mit dem Wirkstoff Glyphosat zugelassen. Für Hartweizen konnte im Pflanzenschutzmittelregister kein explizit zugelassenes GH gefunden werden.

Ein Aspekt, der in der derzeitigen Version des Modells BiomAT unberücksichtigt bleibt, sind ökologische Effekte. Gerade in der Diskussion um GH werden immer wieder die potentiell schädlichen Folgen für Menschen und Umwelt angeführt. Während Gegner von Glyphosat wie Umweltschutzorganisationen die schädigende Wirkung für Mensch und Umwelt bereits mehr als bewiesen sehen, wollen viele Entscheidungsträger in der nationalen und Europapolitik noch weitere wissenschaftliche Gutachten abwarten (Ständiger Unterausschuss in Angelegenheiten der Europäischen Union 2017). Für eine Gesamtbetrachtung aller Folgen

eines Verzichts oder des Nutzens der Verwendung von GH müssen selbstverständlich auch ökologische Folgen berücksichtigt werden, da sich diese früher oder später auch in ökonomischen Effekten äußern. Langfristige ökologische Effekte könnten, sofern sie den Anbau und Gedeih der Kulturpflanzen betreffen, in einem weiteren Schritt mit dem bio-physikalischen Prozessmodell EPIC abgebildet werden. Langfristige Schäden, wie eine im Raum stehende möglicherweise krebserregende Wirkung auf Menschen (Guyton et al. 2015) durch die Rückstände von Glyphosat und dessen Abbauprodukten in Nahrungsmitteln sind nur schwer in Zahlen zu fassen und bedürften einer gesamtökonomischen Betrachtung und Untersuchung.

Die Bewirtschaftungsintensitäten „Hoch“ und „Niedrig“ gewinnen in den Anpassungsszenarien fast durchgehend an Fläche und damit an Bedeutung. Ähnlich gewinnt auch die Brache in den Anpassungsszenarien durchgehend an Fläche. Die Zunahme extensiver und Nicht-Bewirtschaftung könnte positive ökologische Effekte zur Folge haben, aber auch zur Aufgabe von Grenzertragsstandorten und damit zum Verlust von Kulturlandschaft führen. Die Zunahme von hoher Bewirtschaftungsintensität könnte durch intensiveren Einsatz von Düngemitteln umgekehrt negative ökologische Folgen haben, welche sich hinsichtlich der Düngung vor allem auf die Grundwasserqualität niederschlagen könnten.

5.2 Diskussion von Datengrundlage und Methode

Die in Tabelle 10 dargestellten Unterschiede im Hinblick auf die Anbauflächen zwischen dem Basis-Szenario und den Daten aus den Grünen Berichten sind darauf zurückzuführen, dass das Modell nicht an tatsächlich beobachtete Anbauverteilungen kalibriert ist. Das lineare Modell BiomAT liefert die Verteilung der Anbauflächen, welche den Gesamt-DB maximiert. Die tatsächliche Verteilung der Anbauflächen kann aus mehreren Gründen davon abweichen. Ein Grund könnte die unvollständige Information der Landwirt/innen über die zu erwartenden Erträge und Preise bzw. nicht vollständig rationales Verhalten, wie im

Modell angenommen, sein. Ein weiterer Grund, vor allem für die stark abweichenden Anbauflächen für Mais (Körnermais und Silomais), könnte sein, dass die Entscheidung, Silomais anzubauen in vielen Fällen nicht vom erzielbaren Marktpreis abhängt, sondern davon, ob und wie viel Silomais als Futtermittel im eigenen Betrieb benötigt wird. Durch die Verfütterung im eigenen Betrieb und damit vermiedene Kosten für zugekaufte Futtermittel kann der Deckungsbeitrag für Silomais höher sein, als er durch den reinen Verkauf des Produkts, wie im Modell angenommen, ist. Im Modell BiomAT wird aber nur Ackerbau, nicht aber Tierhaltung berücksichtigt, weshalb diese Aspekte außer Acht gelassen werden. Ein ähnliches Problem ergibt sich in der Betrachtung des Wechselgrünlandes. Auch hier wird im Modell mit Deckungsbeiträgen gerechnet, die sich aus einem Verkauf des dort produzierten Futters ergeben würden. Die Abweichungen in den Anbauflächen für Silomais und Wechselgrünland zwischen dem Basis-Szenario und den tatsächlichen Anbauflächen laut Grünem Bericht legen den Schluss nahe, dass der Wert eines Silomaisanbaus in den Deckungsbeiträgen des Modells eher unterschätzt und der Wert von Wechselgrünland mit den errechneten Deckungsbeiträgen eher überschätzt wird.

All jene Ackerkulturen, welche im Grünen Bericht 2016 (BMLFUW 2016a) mehr als 1% der Gesamtanbaufläche ausmachen, sind – mit Ausnahme von Ölkürbis (2,4% im Grünen Bericht) – im Modell-Verbund berücksichtigt und machen insgesamt 92,8% des 2010-2015 im Durchschnitt bewirtschafteten Ackerlandes aus. Die im Modell berücksichtigten Ackerkulturen repräsentieren daher einen Großteil des österreichischen Ackerlands.

Die im Modell angenommenen Flächenprämien sind wichtiger Gegenstand der Verhandlungen über die zukünftige Ausrichtung der GAP der EU-Mitgliedsstaaten. Die aktuelle GAP-Periode begann 2014 und endet 2020. Bereits in den Verhandlungen von 2011 bis 2013 waren die Flächenprämien Gegenstand heftiger Diskussionen (BMLFUW 2016b). Es ist derzeit völlig offen, wie die Verhandlungen zur nächsten GAP-Periode laufen werden und somit ist ein Fortbestehen des Systems der Flächenprämien unsicher. Die Flächenprämien sind derzeit von der

Produktion auf der Fläche entkoppelt und somit beeinflussen sie die Produktionsentscheidung nicht. Eine Veränderung der Flächenprämien hätte somit einen Effekt auf die Deckungsbeiträge und das Einkommen von Landwirt/innen. Bei einem Wegfall oder einer drastischen Reduktion der Flächenprämien könnte der Deckungsbeitrag einzelner Ackerkulturen bzw. Fruchtfolgen in bestimmten oder allen Pixeln aber negativ werden, wodurch diese Ackerkulturen aus dem Portfolio der verfügbaren Ackerkulturen fallen würden.

Die derzeit geltenden ÖPUL-Prämien können mit den Annahmen im Modell nur teilweise abgebildet werden. Maßnahmen wie z.B. vorbeugender Grundwasserschutz (BMLFUW 2015c) beschränken die Düngung des Ackerlandes sowohl hinsichtlich der Menge als auch des Ausbringungszeitpunktes. Zusätzliche Levels an Düngemitteleinsatz könnten im biophysikalischen Prozessmodell EPIC simuliert werden, um weitere Differenzierungen abzubilden. Andere Maßnahmen aber, wie etwa der Silageverzicht (BMLFUW 2015c), sind auch flächenbezogen aber lassen sich in ein Modell, das nur die Landnutzung und nicht die Tierhaltung abbildet, nicht miteinbeziehen. Die Modellergebnisse müssen vorsichtig interpretiert werden, da die im Modell angenommenen ÖPUL-Prämien die geringeren Bewirtschaftungsintensitäten begünstigen.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor in der Deckungsbeitragsrechnung sind die Pflanzenerträge pro ha Anbaufläche. Die in dieser Arbeit verwendeten Pflanzenerträge wurden im biophysikalischen Prozessmodell EPIC simuliert, das zwar inter-annuelle Variabilität berücksichtigt, Ertragseinbußen durch Krankheiten, Schädlinge oder Unkräuter in den Simulationen nicht abbildet. Auch sind die verwendeten Daten zu Pflanzenerträgen und Klima historischer Natur und berücksichtigen nicht steigende Durchschnittstemperaturen und zunehmende Extremwetterereignisse wie längere Dürreperioden oder stärkere Unwetter, wie sie durch den Klimawandel zu erwarten sind. Zum Schutz vor Erosion im Zuge von vermehrten Extremwetterereignissen in Folge des Klimawandels könnte die konservierende Bodenbearbeitung beitragen, wo aber gleichzeitig mit einem höheren Einsatz von GH zu rechnen ist.

Auch die Anzahl der benötigten Akh pro ha muss kritisch betrachtet werden. In den Daten der AWI hängt die benötigte Arbeitszeit pro ha stark von der Schlaggröße ab. In den für diese Arbeit verwendeten Daten der AWI (Bundesanstalt für Agrarwirtschaft 2017) wird von einer Schlaggröße von 2 ha ausgegangen. Da mit Durchschnittswerten gerechnet wird, ist dieser Wert plausibel und kann als Durchschnitt für Österreich so belassen werden. Im ökonomischen Optimierungsmodell BiomAT wird davon ausgegangen, dass die zur Verfügung stehenden Akh nicht limitiert sind, sondern lediglich zu einem festen Preis am Arbeitsmarkt in beliebiger Menge verfügbar sind. Dabei handelt es sich um eine starke Annahme, da es sich bei den meisten Betrieben in Österreich um Familienbetriebe handelt, deren Kapazität an Arbeitskraft oft auch durch Nebentätigkeiten begrenzt ist. Cook et al. (2010) erwähnen zum Beispiel, dass der Bedarf an zusätzlichen Arbeitsstunden durch den Verzicht auf GH zu einer Zeit anfällt, in der die Zeitressourcen von Landwirt/innen ohnehin schon fast ausgeschöpft sind, was eine noch höhere zusätzliche Belastung für Arbeitskräfte in der Landwirtschaft bedeuten würde.

Die variablen Kosten für Maschinen sind stark vom Preis für Treibstoffe abhängig. Die Preisschwankungen am Energiemarkt beeinflussen auch die Preise für Dünger, insbesondere mineralischen Stickstoffdünger, der im energieaufwändigen Haber-Bosch-Verfahren hergestellt wird. Auch über die Zukunft der Versorgung mit Phosphatdünger herrscht Unsicherheit (Ulrich und Frossard 2014). Sehr große Preissteigerungen am Düngemittel-, aber auch am Pflanzenschutzmittelmarkt, könnten bei gleichbleibenden Produktpreisen die im Rahmen dieses Modells errechneten Bewirtschaftungsintensitäten sinken lassen, da in geringeren Bewirtschaftungsintensitäten weniger Dünge- und Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden.

Der tatsächliche Einsatz von GH in Österreich wurde von der AGES (2013) nur unzureichend erfasst, da die Verwendung von Organophosphor-Herbiziden, zu denen die GH zählen, in erhobenen Ackerkulturen nur ca. 52% der in Verkehr

gebrachten Menge des Jahres 2012 ausmacht. Geht man davon aus, dass, ähnlich wie in 2014, weitere 3% oder 9,5 t von den ÖBB ausgebracht werden (Kolb 2017), bleiben 45% der in Verkehr gebrachten Menge, deren Verbleib nicht erfasst wurde. Es kann bei der derzeitigen Verfügbarkeit von Daten nur gemutmaßt werden, wo die fehlenden 194 t Glyphosat im Jahr 2012 verwendet wurden. Eine lückenlose Aufzeichnungspflicht für Verkäufe und Ausbringungen von GH in Österreich wäre wünschenswert um künftige Analysen zu Auswirkungen eines Verbotes von GH zu erleichtern oder überhaupt erst zu ermöglichen und damit eine solide Entscheidungsbasis für die Politik zu bieten.

In der PSM-Verwendungsstatistik wird nicht genauer nach Wirkstoffen differenziert, sodass in der Gruppe der Organophosphor-Herbizide neben Glyphosat auch andere Wirkstoffe wie z.B. Glufosinat enthalten sind. Weiters ist es auch wichtig, zwischen dem Inverkehrbringen und der tatsächlichen Ausbringung zu unterscheiden. Im Zuge der Recherchen konnten keine Erhebungen über die tatsächliche Ausbringung von GH in Österreich gefunden werden. Die rechtlichen Rahmenbedingungen in Österreich sind insbesondere durch das Verbot der Sikkation deutlich unterschiedlich zu jenen in Großbritannien oder Deutschland, wo es genauere Studien (Cook et al. 2010; Steinmann et al. 2012) über die Ausbringung von GH gibt. Daher kann man die Ergebnisse der genannten Autoren für eine Arbeit über die Situation in Österreich nur bedingt übernehmen.

Die konkreten Einsätze von GH auf einzelbetrieblicher Ebene sind von vielen Faktoren abhängig, ein ganz wesentlicher ist hierbei die Fruchtfolge. Kehlenbeck et al. (2015) beschreiben z.B., dass die Stoppelbehandlung mit GH nach der Ernte von Winterweizen vor dem Anbau von Winterraps nicht erforderlich ist, während sie vor dem erneuten Anbau von Winterweizen, vor Zuckerrübe, Mais (Silomais oder Körnermais) oder Wintergerste durchaus erforderlich ist. Der Anbau von Winterweizen erfordert ihren Daten zufolge auch eine Vorsaatbehandlung. Die Autoren erwähnen, dass die Zuordnung einer konkreten Behandlung mit GH zu Stoppel- oder Vorsaatbehandlung nicht immer eindeutig ist. Für Winterraps führen sie als einzige der untersuchten Ackerkulturen keine Notwendigkeit einer

Vorsaatbehandlung an, was sich mit den Notwendigkeiten einer Stoppelbehandlung (nach Winterweizen vor allen Ackerkulturen außer Winterraps) in den zuvor genannten Fruchtfolgen deckt. In dieser Arbeit wurde ein Einsatz von GH immer für bestimmte Ackerkulturen angenommen, ungeachtet der Folge- oder Vorfrucht. Deshalb wurde der Deckungsbeitrag dieser einzelnen Ackerkulturen angepasst. Wie aber in der erwähnten Literatur häufig erwähnt wird, ist der Einsatz von GH sehr wohl auch von der tatsächlichen Fruchtfolge abhängig. Eine sinnvolle Erweiterung der hier verwendeten Methode wäre, den Einsatz von GH nicht an bestimmten Ackerkulturen, sondern an Fruchtfolgen festzumachen. Dies könnte geschehen, indem man im ökonomischen Optimierungsmodell BiomAT bestimmten Fruchtfolgen, in denen zwei oder mehrere Fruchtfolgeglieder aus betroffenen Ackerkulturen bestehen, für das Basis-Szenario die ein- oder mehrmalige Behandlung mit GH (und in den Anpassungsszenarien die dementsprechenden Ersatzmaßnahmen und/oder Ertragsrückgänge) annimmt, während diese in Fruchtfolgen, in denen nur eine oder keine der betroffenen Ackerkulturen enthalten ist, diese nicht angenommen werden.

In dieser Arbeit wurde angenommen, dass auf der gesamten Anbaufläche einer Kultur GH eingesetzt werden, dort dann im Falle eines Verzichts darauf genau diese Ersatzmaßnahmen durchgeführt werden und der Ertrag überall um exakt diesen Wert sinkt. In den Erhebungen des aktuellen Einsatzes von GH ist zu sehen, dass Ackerkulturen unterschiedlich stark vom Einsatz von GH betroffen sind. Aus diesem Grund wurden die Annahmen für die Notwendigkeit zusätzlicher Arbeitsgänge und Ertragsrückgänge in den Anpassungsszenarien bewusst gering gehalten. Sehr oft werden GH bei der reduzierten oder Minimalbodenbearbeitung, Mulch- und Direktsaat eingesetzt weshalb beim Verzicht auf GH mit einem Rückgang dieser Bewirtschaftungsformen und erhöhtem Pflugeinsatz zu rechnen ist (Clarke et al. 2009). Es wäre interessant, wenn mit dem biophysikalischen Modell EPIC auch Bodenbearbeitungsverfahren in die Bewirtschaftungsintensitäten einfließen würden, um genauere Analysen in diesem Zusammenhang durchführen zu können.

Die Fruchtfolgen aus dem Modell CropRota, welche Eingang in das Modell BiomAT gefunden haben, wurden zwar in der Praxis beobachtet, allerdings ist das BiomAT-Modell in seinem Basis-Szenario nicht an Beobachtungen aus der Praxis kalibriert. In einem weiteren Schritt wäre eine Kalibrierung des BiomAT-Modells mittels PMP (Postive Mathematical Programming) in einem nichtlinearen Modell möglich. Somit könnten Veränderungen zur derzeitigen Landnutzung besser abgebildet werden. Trotzdem ist das Modell CropRota gut geeignet, empirisch begründete Fruchtfolgen abzuleiten und wurde bereits häufig zur Erstellung wissenschaftlicher Arbeiten (Feusthuber et al. 2017; Mitter et al. 2014, 2015) eingesetzt.

Im Modell BiomAT wird von rationalen Akteur/innen ausgegangen, das heißt es wird den Entscheider/innen in landwirtschaftlichen Betrieben völlige Rationalität, perfekte Information und sofortige Reaktion unterstellt. In der Realität handeln Menschen aber nicht immer rein rational, sind nicht immer perfekt informiert und reagieren oft erst mit einer gewissen Verzögerung auf Veränderungen. Entsprechend der Annahme rationaler Akteur/innen optimiert das Modell BiomAT mithilfe eines linearen Solvers die maximale Summe der Deckungsbeiträge am österreichischen Ackerland, die unter den zuvor genannten Bedingungen theoretisch möglich wäre. Dafür müsste ein/e Landwirt/in im Anlassfall über alle notwendigen Informationen verfügen, um wirklich ihre/seine Fruchtfolgen und Bewirtschaftungsintensitäten schnell genug umzustellen und damit den für sie/ihn optimalen Deckungsbeitrag zu erwirtschaften.

6 Schlussfolgerungen

Die politische Diskussion über ein mögliches Verbot von GH bezieht sich derzeit fast ausschließlich auf mögliche ökologische Folgen und Gesundheitsrisiken für Menschen. Die ökonomischen Folgen für die Landwirtschaft werden nur selten thematisiert, obwohl sie für eine differenzierte Betrachtungsweise wesentlich sind. Die Ergebnisse dieser integrierten Landnutzungsanalyse lassen den Schluss zu, dass bei einem Verzicht auf den Einsatz von GH und unter Annahme von entsprechenden Ersatzmaßnahmen im österreichischen Ackerbau im Durchschnitt nur geringe Einkommensverluste für Landwirt/innen durch Rückgänge in den Deckungsbeiträgen zu erwarten sind. Die Betrachtung mittels integrierter Landnutzungsanalyse lässt allerdings nur eingeschränkt Schlussfolgerungen zu, wie sich ein Verbot von GH tatsächlich auf den österreichischen Ackerbau auswirkt, insbesondere auch deshalb, weil die Datenlage zum derzeitigen Einsatz von GH und zu möglichen bzw. von Landwirt/innen geplanten Ersatzmaßnahmen nur unzureichend ist. Eine verpflichtende, europaweite, genaue und transparente Erfassung von Daten über die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln, unterteilt nach Wirkstoffen und Ackerkulturen, durchgeführt von einer oder mehreren unabhängigen Kontrolleinrichtungen ist für die Zukunft wünschenswert, um ökonomische Analysen zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu verbessern.

Zusätzlich ist derzeit unklar, welche Ersatzmaßnahmen für den Einsatz von GH getroffen werden können. Derzeit gibt es keine wirkungsgleiche chemische Alternative zu GH (Kehlenbeck et al. 2015). Daher besteht weiterer Forschungsbedarf in der Entwicklung von (chemischen) Alternativen, sowie in deren ganzheitlicher ökologischer und ökonomischer Bewertung.

Um den Verzicht auf GH für die landwirtschaftlichen Betriebe zu erleichtern, empfiehlt es sich, vorab Alternativen zu deren Einsatz zu finden und zu bewerten. Da über die Verwendung und die tatsächliche Bedeutung von GH im österreichischen Ackerbau keine aktuellen Daten zur Verfügung stehen, können mögliche Auswirkungen eines Verbots von GH nur schwer abgeleitet werden. Die

Ergebnisse dieser Arbeit zeigen aber, dass durch die angenommenen Ersatzmaßnahmen und Ertragsrückgänge der Anbau von bestimmten Ackerkulturen – wie etwa Winterraps – stark zurückgehen kann, wohingegen die Bracheflächen zunehmen könnten und das gesamte Produktionsvolumen sinkt, da weniger Flächen bewirtschaftet werden.

Nicht zuletzt darf nicht außer Acht gelassen werden, dass, obwohl in dieser Arbeit nicht behandelt, GH auch außerhalb der Landwirtschaft eine große Rolle spielen und Anwender wie etwa die ÖBB GH derzeit auch als alternativlos betrachten (Kolb 2017).

Literatur

AGES (2013): Pflanzenschutzmittel-Verwendungsstatistik. In: *AGES - Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit*, Text abrufbar unter: https://www.ages.at/themen/landwirtschaft/pflanzenschutzmittel/forschung/pflanzenschutzmittel-verwendungsstatistik/ (Zugriff am 28.3.2017).

BAES (2016): Verlängerung der EU-Wirkstoffgenehmigung von Glyphosat. Text abrufbar unter: http://www.baes.gv.at/pflanzenschutzmittel/fachmeldungen/verlaengerung-der-eu-wirkstoffgenehmigung-von-glyphosat/ (Zugriff am 28.3.2017).

BAES (2017a): VerbraucherInnen-Information zu Glyphosat. Text abrufbar unter: https://www.ages.at/service/service-presse/pressemeldungen/verbraucherinnen-information-zu-glyphosat/ (Zugriff am 2.6.2017).

BAES (2017b): Verzeichnis der in Österreich zugelassenen/genehmigten Pflanzenschutzmittel. Text abrufbar unter: http://pmg.ages.at (Zugriff am 8.6.2017).

Bai, Shahla Hosseini; Ogbourne, Steven M. (2016): Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination. In: *Environmental Science and Pollution Research*, 23 (19), 18988–19001.

Barrett, K. A.; McBride, M. B. (2005): Oxidative degradation of glyphosate and aminomethylphosphonate by manganese oxide. In: *Environmental Science and Technology*, 39 (23), 9223–9228.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2017): LfL Deckungsbeiträge und Kalkulationsdaten. Text abrufbar unter: https://www.stmelf.bayern.de/idb/default.html (Zugriff am 8.6.2017).

Benbrook, Charles M. (2016): Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. In: *Environmental Sciences Europe*, 28 (1), 3.

BMLFUW (2011): Grüner Bericht 2011 - Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2010. 52. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Text abrufbar unter: www.gruenerbericht.at (Zugriff am 31.5.2017).

BMLFUW (2012): Grüner Bericht 2012 - Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2011. 53. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Text abrufbar unter: www.gruenerbericht.at (Zugriff am 31.5.2017).

BMLFUW (2013): Grüner Bericht 2013 - Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2012. 54. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Text abrufbar unter: www.gruenerbericht.at (Zugriff am 31.5.2017).

BMLFUW (2014): Grüner Bericht 2014 - Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2013. 55. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Text abrufbar unter: www.gruenerbericht.at (Zugriff am 31.5.2017).

BMLFUW (2015a): Grüner Bericht 2015 - Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2014. 56. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Text abrufbar unter: www.gruenerbericht.at (Zugriff am 31.5.2017).

BMLFUW (2015b): Integrierter Pflanzenschutz. Text abrufbar unter: https://www.bmlfuw.gv.at/land/produktion-maerkte/pflanzliche-produktion/pflanzenschutz/Integrierter_PS.html (Zugriff am 25.11.2017).

BMLFUW (2016a): Grüner Bericht 2016 - Bericht über die Situation der Österreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2015. 57. Auflage. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Text abrufbar unter: www.gruenerbericht.at (Zugriff am 25.11.2017).

BMLFUW (2016b): Agrarumweltprogramm ÖPUL 2015. Landwirtschaft, Umwelt und Natur. Text abrufbar unter: https://www.bmlfuw.gv.at/dam/jcr:da712ede-a3a7-4054-a82c-cfbc7a361ab6/ÖPUL%202015_Info-Broschüre_online.pdf (Zugriff am 31.10.2017).

BMLFUW (2016c): Beantwortung der Parlamentarischen Anfrage 9365/AB. *Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft*, Text abrufbar unter: https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXV/AB/AB_09365/index.shtml (Zugriff am 6.6.2017).

BMVIT (2017): Beantwortung der Parlamentarischen Anfrage 11196/J. *Bundesministerium für Verkehr, Infrastruktur und Technologie, Text abrufbar unter: https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXV/AB/AB_10748/imfname_616450.pdf (Zugriff am 26.11.2017).*

Böcker, Thomas; Britz, Wolfgang; Finger, Robert (2018): Modelling the Effects of a Glyphosate Ban on Maize Production Weed Management in Silage Maize Production. In: *Ecological Economics*, 145, 182–193.

Borggaard, Ole K.; Gimsing, Anne Louise (2008): Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. In: *Pest Management Science*, 64 (4), 441–456.

Börner, Horst (1995): Unkrautbekämpfung. Jena: Fischer.

Bundesanstalt für Agrarwirtschaft (2017): Internet-Deckungsbeitragsrechner. Text abrufbar unter: http://www.awi.bmlfuw.gv.at/idb (Zugriff am 8.6.2017).

Cheminova Austria GmbH (s.a.): Glyfos - Technische Beschreibung. Text abrufbar unter: https://cheminova.at/websitebox/Manage/MediaDownload.aspx?mediaid=70176 (Zugriff am 11.11.2017).

Cheminova Austria GmbH (s.a.): Glyfos Envision - Technische Beschreibung. Text abrufbar unter: https://cheminova.at/websitebox/Manage/MediaDownload.aspx?mediaid=151816 (Zugriff am 11.11.2017).

Clarke, J; Wynn, S; Twining, S; Berry, P; Cook, S; Ellis, S; Gladders, P (2009): Pesticide availability for cereals and oilseeds following revision of Directive 91/414/ECC; effects of losses and new research priorities. In: *HGCA Research Review*,.

Cook, Sarah K.; Wynn, Sarah C.; Clarke, James H. (2010): How Valuable Is Glyphosate to UK Agriculture and the Environment? In: *Outlooks on Pest Management*, 21 (6), 280–284.

Dickeduisberg, Michael; Steinmann, Horst-Henning; Theuvsen, Ludwig (2012): Erhebungen zum Einsatz von Glyphosat im deutschen Ackerbau. In: *2012*, DOI: 10.5073/jka.2012.434.056. Text abrufbar unter: https://ojs.openagrar.de/index.php/JKA/article/view/1766 (Zugriff am 6.6.2017).

Dill, Gerald M.; Sammons, R. Douglas; Feng, Paul C. C.; Kohn, Frank; Kretzmer, Keith; Mehrsheikh, Akbar; Bleeke, Marion; Honegger, Joy L.; Farmer, Donna; Wright, Dan; et al. (2010): Glyphosate: Discovery, Development, Applications, and Properties. In: Nandula, Vijay K. (Hrsg.), Glyphosate Resistance in Crops and Weeds: History, Development, and Management. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.

Europäische Kommission (s.a.): EU Register of authorised GMOs. Genetically Modified Organisms. Text abrufbar unter: http://ec.europa.eu/food/dyna/gm_register/index_en.cfm (Zugriff am 5.11.2017).

Europäische Kommission (2016a): Durchführungsverordnung (EU) 2016/1056 der Kommission vom 29. Juni 2016 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 hinsichtlich der Bedingungen für die Genehmigung des Wirkstoffs Glyphosat.

Europäische Kommission (2016b): Durchführungsverordnung (EU) 2016/1313 der Kommission vom 1. August 2016 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 540/2011 hinsichtlich der Bedingungen für die Genehmigung des Wirkstoffs Glyphosat.

Europäischer Rat (2008): Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen.

Europäisches Parlament; Europäischer Rat (2009): Richtlinie 2009/128/EG des Europäischen Parlaments und des Rates. *2009/128/EG*,.

Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union (2009): Verordnung (EG) Nr. 1185/2009 des Europäischen Parlaments und des Ratest vom 25. November 2009 über Statistiken zu Pestiziden.

Europäisches Parlament; Rat der Europäischen Union (2014): Verordnung Nr. 1310/2013 des Europäischen Parlaments und des Rates. *1310/2013*.

Feusthuber, Elisabeth; Mitter, Hermine; Schönhart, Martin; Schmid, Erwin (2017): Integrated modelling of efficient crop management strategies in response to economic damage potentials of the Western Corn Rootworm in Austria, Bd. 157.

Franz, John E.; Mao, Michael K.; Sikorski, James A. (1997): Glyphosate: A Unique Global Herbicide, Bd. 189. Washington, DC: American Chem. Soc.

GLOBAL 2000 (2017): Europäische Bürgerinitiative „STOP GLYPHOSAT“. Text abrufbar unter: https://www.global2000.at/ebi-stop-glyphosat (Zugriff am 6.6.2017).

Griffin, James L.; Boudreaux, Joseph M.; Miller, Donnie K. (2010): Herbicides As Harvest Aids. In: *Weed Science*, 58 (3), 355–358.

Guggenberger, Thomas; Hofer, Otto; Fahrner, Wolfgang; Sucher, Bernhard; Wiedner, Günther; Bader, Renate (2012): Forschungsbericht Fachatlas Landwirtschaft: Entwicklung landwirtschaftlicher Geodaten im Geographical Grid System Austria : development of agricultural geodata based on Geographical Grid System Austria, Bd. 49. HBLFA Raumberg-Gumpenstein. Text abrufbar unter: https://books.google.at/books?id=6cidDAEACAAJ (Zugriff am 26.11.2016).

Guyton, Kathryn Z; Loomis, Dana; Grosse, Yann; El Ghissassi, Fatiha; Benbrahim-Tallaa, Lamia; Guha, Neela; Scoccianti, Chiara; Mattock, Heidi; Straif, Kurt (2015): Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. In: *The Lancet Oncology*, 16 (5), 490–491.

Hock, Bertold; Fedtke, Carl; Schmidt, Robert R. (1995): Herbizide: Entwicklung, Anwendung, Wirkungen, Nebenwirkungen ; 101 Tabellen. Stuttgart [u.a.]: Thieme. Text abrufbar unter: http://media.obvsg.at/AC01053959-1001 (Zugriff am 4.11.2017).

Ittersum, van M. K.; Cassman, K. G.; Grassini, P.; Wolf, J.; Tittonell, P. A.; Hochman, Z. (2013): Yield gap analysis with local to global relevance—A review. In: *Field Crops Research*, 143, 4–17.

Kehlenbeck, Hella; Saltzmann, Jovanka; Schwarz, Jürgen; Zwerger, Peter; Nordmeier, Henning; Roßberg, Dietmar; Karpinski, Isabella; Strassemeyer, Jörn; Golla, Burkhard; Freier, Bernd (2015): Folgenabschätzung für die Landwirtschaft zum teilweisen oder vollständigen Verzicht auf die Anwendung von glyphosathaltigen Herbiziden in Deutschland. In: *Julius-Kühn-Archiv*, 0 (451).

Kolb, Erich (2017): Vegetationskontrolle auf Gleisanlagen - Schriftliche Auskunft. Interview am 10. Oktober 2017.

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (2017): KTBL-Feldarbeitsrechner. Text abrufbar unter: http://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html (Zugriff am 6.6.2017).

Landwirtschaftskammer Österreich (2015): Neues Flächenmodell ab 2015. Text abrufbar unter: https://www.lko.at/neues-flächenmodell-ab-2015+2500+2272895 (Zugriff am 8.11.2017).

Martin, Nicolas (2014): What is the way forward for protein supply? The European perspective. In: *Ocl*, 21 (4), D403.

Mitter, Hermine; Kirchner, Mathias; Schmid, Erwin; Schönhart, Martin (2014): The participation of agricultural stakeholders in assessing regional vulnerability of cropland to soil water erosion in Austria. In: *Regional Environmental Change*, 14 (1), 385–400.

Mitter, Hermine; Schmid, Erwin; Sinabell, Franz (2015): Integrated modelling of protein crop production responses to climate change and agricultural policy scenarios in Austria. In: *Climate Research*, 65, 205–220.

Monsanto Agrar Deutschland GmbH (2014): Produktinformationen 2015. Text abrufbar unter: http://s3.nuuspace.com/monsanto/roundup/wp-content/uploads/2015/04/Mon_Produktinfo20151.pdf (Zugriff am 11.11.2017).

MONSANTO Europe S.A. (2016): Sicherheitsdatenblatt-Roundup® PowerFlex. Text abrufbar unter: http://s3.nuuspace.com/monsanto/roundup/wp-content/uploads/2015/04/Sicherheitsdatenblatt-Roundup®REKORD.pdf (Zugriff am 31.10.2016).

Mußhoff, Oliver; Hirschauer, Norbert (2016): Modernes Agrarmanagement: betriebswirtschaftliche Analyse- und Planungsverfahren. 4., überarbeitete und erweiterte Auflage.

Pflanzenschutzmittelgesetz (2011): Bundesgesetz über den Verkehr mit Pflanzenschutzmitteln und über Grundsätze für die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln.

Preiner, Erwin (2016): Parlamentarische Anfrage 9882/J: Verbot der Vor-Erntebehandlung durch den Wirkstoff Glyphosat sowie das notwendige Verbot des Beistoffes POE-Tallowamin. In: Text abrufbar unter: https://www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXV/J/J_09882/index.shtml (Zugriff am 31.5.2017).

Sammons, Robert Douglas; Gaines, Todd A. (2014): Glyphosate resistance: state of knowledge. In: *Pest Management Science*, 70 (9), 1367–1377.

Schmitz, P. Michael; Gavert, Hendrik (2012): Die ökonomische Bedeutung des Wirkstoffes Glyphosat für den Ackerbau in Deutschland. In: *Journal für Kulturpflanzen*, 64 (5), 150–162.

Schönhart, Martin; Schmid, Erwin; Schneider, Uwe A. (2011): CropRota – A crop rotation model to support integrated land use assessments. In: *European Journal of Agronomy*, 34 (4), 263–277.

Schwarz, Jürgen (2013): Energetische Betrachtung zum Einsatz von Herbiziden und Bodenbearbeitung. In: *Gesunde Pflanzen*, 65 (1), 33–37.

Ständiger Unterausschuss in Angelegenheiten der Europäischen Union (2017): EU-Unterausschuss: S-F-G-Mehrheit gegen weitere Zulassung von Glyphosat. Parlamentskorrespondenz Nr. 1011 vom 03.10.2017. Text abrufbar unter: https://www.parlament.gv.at/PAKT/PR/JAHR_2017/PK1011/index.shtml (Zugriff am 6.11.2017).

Statistik Austria (2017): Land- und forstwirtschaftliche Erzeugerpreise. Text abrufbar unter: http://statistik.at/wcm/idc/idcplg?IdcService=GET_PDF_FILE&RevisionSelectionMethod=LatestReleased&dDocName=022428 (Zugriff am 20.6.2017).

Steinmann, Horst Henning; Dickeduisberg, Michael; Theuvsen, Ludwig (2012): Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. In: *Crop Protection*, 42, 164–169.

Steinmann, Horst-Henning (2013): Glyphosat – ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß“. In: *Gesunde Pflanzen*, 65 (2), 47–56.

Strange-Hansen, Rikke; Holm, Peter E.; Jacobsen, Ole S.; Jacobsen, Carsten S. (2004): Sorption, mineralization and mobility of N-(phosphonomethyl)glycine (glyphosate) in five different types of gravel. In: *Pest Management Science*, 60 (6), 570–578.

Ulrich, Andrea E.; Frossard, Emmanuel (2014): On the history of a reoccurring concept: Phosphorus scarcity. In: *Science of The Total Environment*, 490, 694–707.

Wegler, Richard (1977): Herbizide, Bd. 5. Berlin [u.a.]: Springer.

WHO/FAO (2016): Summary Report from the May 2016 Joint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues (JMPR). Präsentiert auf: oint FAO/WHO Meeting on Pesticide Residues, 16. Mai 2016, Geneva. Text abrufbar unter: http://www.who.int/foodsafety/jmprsummary2016.pdf (Zugriff am 2.12.2016).

Anhang

Anhang 1: Empfohlene Dosierung von GH (laut Angaben der Hersteller (Cheminova Austria GmbH s.a., s.a.b; Monsanto Agrar Deutschland GmbH 2014); G: Menge des Wirkstoffes Glyphosat)

	Roundup Power Flex (Monsanto)			**Roundup REKORD (Monsanto)**			**DURANO TF (Monsanto)**			**Glyfos (Cheminova)**			**Glyfos Envision (Cheminova)**			**durch-schn. Dosierung**
	G/l	l/ha	G/ha (kg)	G/kg	kg/ha	G/ha (kg)	G/l	l/ha	G/ha (kg)	G/l	l/ha	G/ha (kg)	G/l	l/ha	G/ha (kg)	G/ha (kg)
Apfel	480 g	3,75	1,80	720 g	2,50	1,80	360 g	5,00	1,80	360 g	4,00	1,44	450 g	4,00	1,80	1,73
Kartoffel	480 g	3,75	1,80	720 g	2,50	1,80	360 g	5,00	1,80	360 g	3,00	1,08	450 g			1,62
Mais	480 g	3,75	1,80	720 g	2,50	1,80	360 g	3,00	1,08	360 g	3,00	1,08	450 g			1,44
Sojabohne	480 g	3,75	1,80	720 g	2,50	1,80	360 g	5,00	1,80	360 g	3,00	1,08	450 g			1,62
Sommergerste	480 g	3,75	1,80	720 g	2,50	1,80	360 g	5,00	1,80	360 g	3,00	1,08	450 g			1,62
Weinbau	480 g	7,50	3,60	720 g	5,00	3,60	360 g	10,00	3,60	360 g	8,00	2,88	450 g	8,00	3,60	3,46
Winterraps	480 g	3,75	1,80	720 g	2,50	1,80	360 g	5,00	1,80	360 g	3,00	1,08	450 g			1,62
Winterweizen	480 g	3,75	1,80	720 g	2,50	1,80	360 g	5,00	1,80	360 g	3,00	1,08	450 g			1,62
Zuckerrübe	480 g	3,75	1,80	720 g	2,50	1,80	360 g	3,00	1,08	360 g	3,00	1,08	450 g			1,44

Anhang 2: Anbauflächen in ha am österreichischen Ackerland in den Jahren 2010-2015 (BMLFUW 2011, BMLFUW 2012, BMLFUW 2013, BMLFUW 2014, BMLFUW 2015b, BMLFUW 2016c)

	Anbauflächen in ha					
Kultur	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Getreide [Summe]	**811.789**	**807.270**	**811.495**	**784.004**	**809.108**	**780.697**
Brotgetreide [Summe]	**351.543**	**353.486**	**359.909**	**356.684**	**356.325**	**345.574**
Winterweichweizen	272.175	275.046	280.745	273.106	277.027	265.144
Sommerweichweizen	4.091	5.010	4.124	3.550	3.532	4.869
Hartweizen (Durum)	17.503	15.315	14.248	12.351	14.036	19.080
Dinkel	9.082	8.963	9.062	8.279	10.050	13.872
Roggen	45.699	45.943	48.525	56.108	48.241	39.563
Wintermenggetreide	2.992	3.208	3.205	3.290	3.440	3.045
Futtergetreide [Summe]	**460.246**	**453.784**	**451.586**	**427.320**	**452.783**	**435.123**
Wintergerste	85.549	78.475	77.871	78.519	81.927	87.640
Sommergerste	83.343	74.810	72.698	64.054	63.898	64.129
Sommermenggetreide	6.210	4.816	4.441	3.935	3.604	3.160
Hafer	26.576	25.029	24.810	23.165	23.297	23.501
Sonstiges Getreide	9.637	7.965	8.319	10.734	12.439	14.236
Körnermais und Mais für Corn-cob-mix (CCM)	201.137	217.100	219.701	201.917	216.316	188.728
Triticale	47.795	45.589	43.746	44.996	51.302	53.729
Körnerleguminosen (Eiweißpflanzen) [Summe]	**24.400**	**22.722**	**22.096**	**17.805**	**19.758**	**23.573**
Körnererbsen	13.562	11.715	10.704	7.248	6.863	7.274
Pferde(Acker)bohnen	4.154	6.028	6.852	6.194	7.661	10.780
Linsen, Kichererbsen, Lupinen und Wicken	2.302	1.598	1.328	1.521	2.177	2.371
Andere Hülsenfrüchte	4.382	3.381	3.212	2.841	3.057	3.148
Hackfrüchte [Summe]	**67.007**	**69.610**	**71.327**	**72.145**	**72.158**	**65.938**
Frühe und mittelfrühe Erdäpfel	21.973	22.851	21.782	21.128	21.384	20.368

	Anbauflächen in ha					
Kultur	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Zuckerrüben (ohne Saatgut)	44.841	46.580	49.375	50.849	50.604	45.436
Futterrüben	193	179	170	168	169	134
Ölfrüchte [Summe]	**146.087**	**148.410**	**143.201**	**144.299**	**144.902**	**152.045**
Winterraps zur Ölgewinnung	53.667	53.392	55.651	58.404	52.729	37.379
Sommerraps und Rübsen	137	244	170	153	88	149
Sonnenblumen	25.411	26.049	23.362	21.808	20.540	19.061
Sojabohnen	34.378	38.123	37.126	42.027	43.832	56.895
Öllein	669	669	691	601	824	1.046
Ölkürbis	26.464	26.119	22.741	17.884	22.382	31.816
Mohn	2.536	1.740	1.548	1.510	1.560	2.269
Sonstige Ölfrüchte	2.826	2.073	1.912	1.911	2.947	3.430
Feldfutterbau (Grünfutterpflanzen) [Summe]	**246.488**	**244.777**	**243.942**	**272.766**	**245.732**	**249.855**
Silo- und Grünmais	81.239	81.444	82.367	110.818	83.464	91.989
Rotklee und sonstige Kleearten	11.516	10.971	10.047	9.208	8.631	13.849
Luzerne	15.045	14.693	13.644	13.454	12.973	11.261
Kleegras	62.994	61.975	63.063	61.873	62.563	56.662
Sonstiger Feldfutterbau	16.525	17.162	18.046	17.326	36.405	18.592
Wechselwiese (Ackerwiese, Egart)	59.169	58.534	56.775	60.087	59.899	57.503
Sonstige Ackerfrüchte [Summe]	**26.254**	**26.061**	**23.179**	**24.374**	**25.081**	**25.773**
Hopfen	242	251	247	249	247	249
Energiegräser (Miscanthus, Sudangras)	1.322	1.214	1.137	1.179	1.173	1.149
Flachs (Faserlein)	4	1	7	2	3	5
Hanf	540	512	472	566	906	1.165
Sonstige Handelsgewächse (Rollrasen etc.)	362	336	358	323	311	328
Heil-, Duft- und Gewürzpflanzen	4.014	4.232	3.655	2.883	2.627	1.257

	Anbauflächen in ha					
Kultur	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**
Gemüse im Freiland, Feldanbau	12.369	12.568	12.131	12.625	13.517	12.736
Gemüse unter Glas bzw. Folie	527	402	181	427	429	433
Blumen und Zierpflanzen im Freiland	187	198	54	197	194	192
Blumen und Zierpflanzen unter Glas	232	201	6	211	211	211
Erdbeeren	1.223	1.235	1.183	1.183	1.114	1.147
Sämereien und Pflanzgut	209	268	299	321	351	263
Sonstige Ackerkulturen	5.023	4.642	3.449	4.207	3.997	6.639
Bracheflächen [Summe]	41.765	40.836	39.100	38.575	34.919	48.236
Nützlings- und Blühstreifen	28.742	28.341	27.407	27.064	26.642	-
GLÖZ-A-Flächen	11.520	11.028	10.642	9.542	8.276	341
Sonstige Bracheflächen	-	-	-	474	-	-
Nicht nutzbare Körnermaisflächen in Folge von Hochwasser 2013	-	-	-	1.494	-	-
Ackerland insgesamt [Summe]	**1.363.789**	**1.359.686**	**1.354.339**	**1.353.967**	**1.351.658**	**1.346.118**