

Michael Schulte, Ludwig Theuvsen

Der ökonomische Nutzen von Herbiziden im Ackerbau unter besonderer Berücksichtigung des Wirkstoffs Glyphosat

The economic benefit of herbicides in arable farming
– with a special focus on glyphosate

Zusammenfassung

Die enorme Nachfragesteigerung nach Lebensmitteln stellt für die weltweite Landwirtschaft eine große Herausforderung dar. Um den wachsenden Bedarf decken zu können, sind u.a. Ertragssteigerungen notwendig sowie Ernteverluste möglichst zu vermeiden. Einen Beitrag dazu stellt auch der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln dar, der in der gesellschaftlichen Diskussion jedoch häufig negativ wahrgenommen wird. Ein Blick auf die weltweiten Absatzzahlen von Pflanzenschutzmitteln zeigt in diesem Zusammenhang, dass in den vergangenen Jahren insbesondere ein starker Anstieg beim Verkauf von Herbiziden zur Bekämpfung der Ackerbegleitflora zu verzeichnen ist; der weltweit bedeutendste Wirkstoff in dieser Gruppe ist Glyphosat, der sowohl im konventionellen Ackerbau als auch beim Anbau von gentechnisch veränderten Kulturpflanzen außerhalb der Europäischen Union (EU) eingesetzt wird. Durch die vielfältigen Anwendungsgebiete von Herbiziden lässt sich bei verschiedenen Anwendungsgebieten ein ökonomischer Nutzen ermitteln. Dieser Beitrag stellt in Form einer Sammelrezension die ökonomische Bedeutung von Herbiziden im Allgemeinen sowie von Glyphosat im Speziellen dar und setzt dabei den Fokus auf den europäischen Ackerbau. Die Ergebnisse zeigen, dass ein ökonomischer Nutzen in Form von Markteffekten, Ertragswirkungen, Einkommens-, Klima- und Energieeffekten darstellbar ist und somit aus

dem Einsatz zahlreiche kurz- und langfristige Vorteile resultieren können. Gleichzeitig ist erkennbar, dass alternative Unkrautbekämpfungsmaßnahmen nicht in Vergessenheit geraten dürfen, da durch die erhöhte Anwendungshäufigkeit dieser Wirkstoffgruppe, die Gefahr der Resistenzen zunimmt, was letztendlich zu einer geringeren Wirkung führen kann.

Stichwörter: Sammelrezension, Herbizide, Glyphosat, Ökonomische Bedeutung, Ackerbau

Abstract

The increasing food demand is nowadays one of the major challenges for global agriculture. Options to meet this growing demand are, inter alia, higher yields as well as lower crop losses during and post-harvest. The uses of plant protection products is one contribution towards this and indicates several economic advantages; nonetheless, plant protection is frequently perceived negatively in the social discussion. In this regard, global sales of pesticides in general show that there is a highly increasing use of particularly herbicides for the control of weeds in arable farming; the most important active ingredient in this group is glyphosate which is used in conventional agriculture as well as in growing genetically modified organisms outside the European Union (EU).

Institut

Georg-August-Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre des Agribusiness, Göttingen

Kontaktanschrift

Michael Schulte, Georg-August-Universität Göttingen, Department für Agrarökonomie und Rurale Entwicklung, Platz der Göttinger Sieben 5, 37073 Göttingen, E-Mail: Michael-Clemens.Schulte@agr.uni-goettingen.de

Zur Veröffentlichung angenommen

10. Juli 2015

Due to the various application fields of herbicides it is possible to determine an economic benefit in various application areas. This paper represents a literature review about the economic importance of herbicides in general and particularly glyphosate with focus on European arable farming. The results show that the benefit of herbicides can be represented as market, yield, income, climate and energy effects. Thus, numerous short- and long-term benefits result from the use of herbicides. At the same time it becomes evident that alternative weed control measures should not fall into oblivion because the growing application frequency might result in the risk of resistance and finally lead to a lower efficiency.

Key words: Literature review, herbicide, glyphosate, economic relevance, arable farming

1 Einleitung

Aufgrund der kontinuierlich wachsenden Weltbevölkerung (jährliche Wachstumsrate zwischen 2000–2010: 3,3%) wird die Nachfrage nach Nahrungsmitteln bis zum Jahr 2050 um etwa 30% gegenüber dem Stand des Jahres 2015 zunehmen (UN, 2015; FAO, 2015). Diese Entwicklung erfordert eine deutliche Produktionssteigerung der weltweiten Landwirtschaft. Aufgrund der Konkurrenz durch die Bioenergieerzeugung, einen in vielen Schwellenländern stark steigenden Fleischkonsum (ALEXANDRATOS, 2009) sowie hohe Nachernteverluste wird die Nachfrage nach Agrarprodukten zusätzlich verstärkt (QAIM, 2006; LABORDE, 2011). Gleichzeitig bedroht der Klimawandel in vielen Weltregionen die Produktivität der Landwirtschaft (SCHNEIDER, 2009).

Die landwirtschaftliche Produktion kann durch Ausdehnung der landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Erhöhung des Ertrags auf den bereits in Kultur befindlichen Flächen gesteigert werden. Letzterer Strategie ist aus Gründen der Biodiversität und des Klimaschutzes der Vorzug zu geben, da dadurch die Ressourcen Boden, Wasser und Luft effizient genutzt werden (REINHARDT et al., 2009; RÖRING, 2014; HÜLSBERGEN, 2015) und gleichzeitig bestehende ökologisch wertvolle Flächen nicht landwirtschaftlich genutzt werden müssen. In diesem Sinne stellt der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (PSM) im Ackerbau in Form von Herbiziden, Fungiziden, Insektiziden und Wachstumsreglern einen wichtigen Beitrag zur Sicherung der Welternährung dar (GIANESSI, 2013). Obwohl sich der erhebliche gesellschaftliche Nutzen von PSM in unterschiedlicher Weise, namentlich in Form von Markteffekten bzw. Ertragswirkungen (HEITFUSS, 2000), Einkommens-, Klima- (geringerer CO₂-Ausstoß) sowie Energieeffekten (bspw. Einsparung von Treibstoff) darstellen lässt, ist der Einsatz von PSM in der öffentlichen Wahrnehmung und der gesellschaftlichen Diskussion häufig negativ konnotiert und es werden zumeist „empfundene statt reale Risiken erörtert“ (VON WITZKE und NOLEPPA, 2011, S. 3). Hierbei werden vornehmlich die zum Teil irreversiblen Schäden an der Umwelt und die möglichen

Gefahren für die menschliche Gesundheit als Folge des PSM-Einsatzes angeführt, so auch in der aktuellen Diskussion um PSM-Rückstände im Grundwasser in Niedersachsen (NLWKN, 2015). Nichtregierungsorganisationen (NGOs), vor allem Umweltverbände und andere kritische Stakeholder, versuchen, medial die Ängste der Bevölkerung vor PSM zu schüren. COOPER und DOBSON (2007) bspw. zeigten, dass auf 40 negative Medienbeiträge über PSM lediglich eine Nachricht erscheint, die die Vorteile bzw. die Fortschrittlichkeit dieser Mittel herausstellt, obwohl 26 nach Ansicht der Autoren unstrittige und sofort wirksame (z.B. Nahrungsmittelgewinnung, Eingrenzung von Pflanzenkrankheiten) sowie 31 langfristige Vorteile (bspw. Erhöhung der Lebensqualität, geringerer CO₂-Ausstoß) aus dem Einsatz von PSM resultieren. Gegen eine Gefährdung durch PSM spricht die strikte Regelung während der Entwicklung und Zulassung der Mittel. Hierbei werden zahlreiche Untersuchungen bezüglich der Toxikologie, der Ökotoxikologie sowie des Umweltverhaltens der Mittel durchgeführt, sodass die Zahl der potentiellen Neuzulassungen erheblich reduziert wird. Von etwa 50.000 zunächst hergestellten chemischen Substanzen wird letztlich nur eine zu einem marktreifen Produkt (HÜBENTHAL, 2005).

In den vergangenen Jahrzehnten ist ein zunehmender Verbrauch besonders von Herbiziden zu registrieren gewesen. Allein zwischen den Jahren 2002 und 2011 stieg der Wert der weltweit eingesetzten Herbizide um 39% an; bis 2016 wird mit einer weiteren Zunahme um etwa 11% gerechnet (MCDUGALL, 2013), weil die chemische Unkrautbekämpfung kostengünstiger und einfacher erscheint als die mechanische und manuelle Unkrautentfernung (GIANESSI, 2013). Darüber hinaus führt auch der weltweit wachsende Anteil an GV-Nutzpflanzen zu einem steigenden Bedarf an Herbiziden (POPP et al., 2013). Der weltweit mit deutlichem Abstand am häufigsten in Herbiziden eingesetzte Wirkstoff ist Glyphosat (DUKE und POWLES, 2008), welcher in nicht-selektiven Herbiziden (Totalherbiziden) zu finden ist und in verschiedenen Formulierungen unter unterschiedlichen Markennamen (z. B. Roundup, Glyphos, etc.) vertrieben wird. Obwohl die mit dem Einsatz des Mittels einhergehenden Umweltgefahren im Vergleich zu anderen Herbiziden als relativ gering eingestuft wurden (DUKE und POWLES, 2008; GIESY et al., 2000), ist der Wirkstoff in jüngster Vergangenheit Gegenstand kontroverser gesellschaftlicher Diskussionen gewesen. Zum einen wird dem Wirkstoff ein negativer Einfluss auf die Biodiversität und die Artenvielfalt angelastet, zum anderen wird er außerhalb der Europäischen Union (EU) großflächig beim Anbau gentechnisch veränderter Pflanzen (Roundup Ready-Kulturen) eingesetzt (DUKE und POWLES, 2008), was innerhalb der EU zwar nicht erlaubt ist, aber als kritisch angesehen wird (MÄRLÄNDER und VON TIEDEMANN, 2006). In Deutschland wird dieses Breitbandherbizid im Rahmen der Vorsaats- und Nacherntebekämpfung von Unkräutern sowie in geringem Umfang bei der Vorerntebekämpfung (Sikkation) eingesetzt (DICKEDUISBERG et al., 2012). Ferner wird Glyphosat im Haus- und Kleingartenbereich, in der Forstwirtschaft

sowie durch öffentliche Institutionen, etwa die Deutsche Bahn, verwendet (DEUTSCHER BUNDESTAG, 2011). Der Wirkstoff ist bis 2015 in der EU zugelassen und wird momentan turnusmäßig im Hinblick auf eine Neuzulassung überprüft. Berichterstatter für die EU-weite Überprüfung dieses Wirkstoffes ist Deutschland; das Bundesamt für Risikobewertung (BfR) mit Sitz in Berlin hat für die Neubewertung des gesundheitlichen Risikos mehr als 150 neue toxikologische Studien und etwa 900 in wissenschaftlichen Zeitschriften publizierte Beiträge berücksichtigt und stuft Glyphosat in seinen jetzigen Anwendungsgebieten als unbedenklich für die menschliche Gesundheit ein (BfR, 2014). Gleichzeitig ist Glyphosat in einer aktuellen Studie der INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER (2015; IARC) als 'wahrscheinlich krebserregend' eingestuft worden, sodass im Rahmen der Bewertung des Wirkstoffes verschiedene Einschätzungen vorliegen. Eine endgültige Entscheidung über die Zulassung wird durch die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) im Jahr 2015 erwartet.

Im Gegensatz zu den zahlreichen toxikologischen und ökotoxikologischen Studien zu Glyphosat sind ökonomische Untersuchungen unter Berücksichtigung des Einflusses der Ackerbegleitflora auf die Ertragsentwicklung der Ackerfrüchte für die europäische Landwirtschaft nur in begrenzter Anzahl verfügbar. Ein Gesamtüberblick über den aktuellen Stand der ökonomischen Begleitforschung bzw. die Vorteilhaftigkeit fehlt gänzlich. Diese Forschungslücke soll mit dem vorliegenden Beitrag geschlossen werden. Daher stellt die vorliegende Studie in Form einer Sammelrezension zunächst die ökonomische Bedeutung der Unkrautbekämpfung sowie von Herbiziden im Allgemeinen und im Anschluss daran die Bedeutung von Glyphosat dar, bewertet die bisherigen Ergebnisse und gibt einen Ausblick auf den zukünftigen Forschungsbedarf. Aufgrund der hohen Anwendungshäufigkeit von Glyphosat ist eine gesonderte Betrachtung dieses Wirkstoffes gerechtfertigt; zudem wird geprüft, ob und inwiefern Glyphosat eine Sonderstellung unter den vorhandenen Herbiziden besitzt.

2 Methodische Herangehensweise

Der Stand der Forschung zur ökonomischen Bewertung von Herbiziden und im besonderen Glyphosat wird im Folgenden auf der Grundlage einschlägiger Fachliteratur, die seit den frühen 1990er Jahren bis zum Jahr 2014 erschienen ist, dargestellt. Erfasst und ausgewertet wurden Beiträge, die sich mit den ökonomischen Wirkungen des Einsatzes von Herbiziden befassen. Aufgrund seiner vielseitigen Anwendungsfelder ist Glyphosat nicht nur als herkömmliches Herbizid anzusehen, welches die mechanische Unkrautbekämpfung substituiert, sondern dient auch zur Unterstützung des Erosions- und Wasser-schutzes, der Bekämpfung perennierender Unkräuter sowie zur Unterbrechung der grünen Brücke für Schaderreger (DICKEDUISBERG et al., 2012), sodass der ökonomische Wert in verschiedenen Anwendungsfeldern berech-

net werden kann. Bei der Recherche wurden vor allem Beiträge, die die mit Hilfe des betrachteten Wirkstoffes mögliche Realisierung einer konservierenden Bodenbearbeitung sowie arbeitswirtschaftliche Vorteile berücksichtigen, erfasst, da diese Vorteile in der Vergangenheit als Treiber des gestiegenen Glyphosateinsatzes ausgemacht wurden (GEHRING et al., 2012; STEINMANN et al., 2012; SCHÄFER, 2013). Ferner fanden ökonomische Beiträge zur zunehmenden Resistenzentwicklung bei Herbiziden Beachtung. Der Einsatz von Herbiziden in Roundup Ready-Kulturen wurde dagegen nur am Rande berücksichtigt, weil diese speziell in Nord- und Südamerika weitverbreitete Produktionsmethode große Unterschiede zu den Anbauverfahren in Europa aufweist und aufgrund der erheblichen Skepsis der europäischen Verbraucher gegenüber gentechnisch veränderten Organismen in den nächsten Jahren mit großer Wahrscheinlichkeit keine wesentliche Bedeutung in der europäischen Landwirtschaft erlangen wird (MÄRLÄNDER und VON TIEDEMANN, 2006).

Zu Beginn der Literaturrecherche wurden agrarökonomische Fachzeitschriften unter Orientierung an dem von DABBERT et al. (2009) erstellten GEWISOLA/ÖGA-Ranking ausgewählt und auf einschlägige Artikel durchsucht. Neben deutschsprachigen Journalen wurden auch internationale Fachzeitschriften berücksichtigt. Darüber hinaus wurden das jährlich erscheinende Yearbook of Socioeconomics in Agriculture der Schweizerischen Gesellschaft für Agrarwirtschaft und Agrarsoziologie, die Jahrbücher der Österreichischen Gesellschaft für Agrarökonomie sowie die Tagungsbände der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues in die Analyse einbezogen. Weiterhin wurden – sofern verfügbar – Dissertationen und andere Abschlussarbeiten, Sammelbände, ausgewählte Beiträge aus anderen wissenschaftlichen Zeitschriften sowie transferorientierte Journale berücksichtigt. Diese Beiträge wurden über die Suchmaschinen Google Scholar, Cab Direct und Web of Knowledge ermittelt. Im Rahmen der Literaturrecherche wurden die Suchbegriffe Herbizid/Glyphosat/Ökonomie bzw. Herbicide/glyphosate/economic verwendet. Dank der umfassenden Literaturrecherche kann angenommen werden, dass ein Großteil der relevanten ökonomisch ausgerichteten Studien, die die Vorteilhaftigkeit des PSM-Einsatzes behandeln, berücksichtigt werden konnte. Der Nutzen lässt sich auf einzelbetrieblicher oder überbetrieblicher, z.B. gesamtwirtschaftlicher Ebene beleuchten und kann auf einen veränderten Output (z.B. Ertragseffekte) bzw. einen geringeren Input (z.B. Einsparung von Arbeit, geringere Kosten für PSM) oder eine Kombination aus beidem zurückgeführt werden. Ferner wird zwischen kurzfristigen (z.B. Ertrag) oder langfristigen Effekten (bspw. Resistenzbildung, Ressourcenschonung) differenziert. Darüber hinaus ist der Einsatz von Herbiziden bzw. allgemein PSM als eine Form des innerbetrieblichen Risikomanagements anzusehen, mit dessen Hilfe – ähnlich, wie es mit Bewässerungsanlagen oder Vliesabdeckungen geschieht – versucht wird, die Produktionsumwelt so zu beeinflussen, dass die Wahrscheinlichkeit oder die Höhe von Ertragsdepressionen verringert werden (MUSSHOF und HIRSCHAUER, 2013).

3 Ökonomische Bedeutung von Unkrautbekämpfung

Der Verzicht auf jegliche Form der Unkrautbekämpfung führt je nach Kultur zu mehr oder wenigen starken Ertragsseinbußen mit entsprechenden ökonomischen Auswirkungen. Die wesentlichen Vorteile der Bekämpfung von Unkräutern resultieren aus Ertragseffekten, geringeren Produktionskosten sowie dem Beitrag zur Risikoabsicherung; zusammen führen diese Effekte i.d.R. zu einem höheren oder zumindest stetigeren Einkommen für die landwirtschaftlichen Betriebe.

Seit den 1950er Jahren wurden in unregelmäßigen Abständen Studien veröffentlicht, die sich der Ertragswirkung der Unkrautbekämpfung gewidmet haben. Seit den 1990er Jahren hat sich der zeitliche Abstand zwischen den Publikationen verringert, was auf eine wachsende Bedeutung dieser Fragestellung zurückzuführen sein könnte. Eine der ersten Studien, die die Ertragswirkungen von Herbiziden behandelten, stammt aus den USA und ermittelte – trotz Unkrautbekämpfung – einen Verlust von etwa 9 bis 10% der weltweiten Ernte (AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, 1965; KOCH und HURLE, 1978). CRAMER (1967) ging bei bedeutenden Ackerfrüchten von Ertragsverlusten durch Ackerbegleitflora bei Verzicht auf den Einsatz von Herbiziden in Höhe von 9,5% aus. PIMENTEL (1978) bezifferte die Ertragsdepression bei bedeutenden Kulturen auf etwa 8%, während OERKE et al. (1994) am Beispiel acht ausgewählter Ackerfrüchte ermittelten, dass aus dem Wegfall der Unkrautbekämpfung etwa 13,2% Mindererträge resultieren würden. In einer weiteren Studie wird der vermeidbare Ertragsrückgang durch Unkräuter auf 12% geschätzt (YUDELMAN et al., 1998), während OERKE und DEHNE (2004) den Ertragsverlust durch Ackerunkräuter auf 9,4% beziffert haben. Insgesamt liegen die verschiedenen Angaben relativ eng beieinander, wenn man die Unsicherheit der Schätzungen berücksichtigt.

OERKE (2006) unterschied in einer jüngeren Studie zwischen potentiell und tatsächlichem Ertragsverlust durch Unkräuter und zeigte beides am Beispiel sechs bedeutender Kulturpflanzen auf. Der potentielle Ertragsverlust stellt den Ertragsrückgang bei Kulturen ohne jegliche Form der Unkrautbekämpfung dar, obwohl ansons-

ten eine hohe Intensität des Ackerbaus durch beispielsweise Düngung, entsprechende Sortenwahl etc. gegeben ist. Demgegenüber entstehen die tatsächlichen Verluste bei Einsatz verschiedener Formen der Unkrautbekämpfung (chemisch, mechanisch und manuell), da auch bei einem intakten Unkrautmanagement Ertragsverluste auftreten, weil in der Regel nie eine vollständige Bekämpfung stattfinden kann. Diese Werte sind mit den Ertragsverlusten aus den bereits aufgeführten Studien zu vergleichen und liegen in einem ähnlich hohen Bereich. Aus der Differenz zwischen beiden Werten lässt sich der tatsächliche Nutzen der Unkrautbekämpfung ermitteln. Die in Tab. 1 wiedergegebenen Werte zeigen, dass die Bedeutung der Unkrautbekämpfung erheblich von der jeweiligen Kulturart abhängt. Der Nutzen der Bekämpfungsmaßnahmen wird besonders bei den Kulturen sichtbar, die sich durch eine langsame Jugendentwicklung und eine nur geringe Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern auszeichnen (beispielsweise Mais).

Das Unkrautmanagement erfolgt in den meisten Fällen durch Herbizide, die aber auch – zumindest teilweise – durch maschinelle oder manuelle Maßnahmen ersetzt werden können (OERKE und DEHNE, 2004; WEBSTER et al., 1999). Hierbei besteht eine Wechselwirkung zwischen dem Herbizideinsatz und der Bodenbearbeitung (als Form der mechanischen Unkrautbekämpfung). Im finnischen Marktfruchtbau konnte bestätigt werden, dass die konservierende Bodenbearbeitung bzw. Direktsaat eine Verringerung der Inputkosten für Arbeit und gleichzeitig eine Erhöhung des Einsatzes von Herbiziden und Düngemitteln zur Folge hat. Gleichzeitig war der Ertrag bei der konservierenden Bodenbearbeitung in der Regel geringer als beim Pflugeinsatz (LAUKKANEN und NAUGES, 2011). Diese Erfahrungen zeigten, dass der ökonomische Wert von Herbiziden nicht einfach zu ermitteln ist, da simultan verschiedene Output- und Inputeffekte auftreten können.

DIRKSMEYER (2007) untersuchte mit Hilfe eines bioökonomischen Simulationsmodells, inwiefern es möglich ist, die Aufwandsmengen von Herbiziden im deutschen Gemüsebau unter Berücksichtigung des Schadschwellenprinzips (vgl. HEADLEY, 1972) zu senken, ohne eine Reduzierung der Nettoerträge in Kauf nehmen zu müssen.

Tab. 1. Schadpotential und aktueller Ertragsrückgang durch Unkräuter

Kulturpflanze	Möglicher Ertragsrückgang in %	Tatsächlicher Ertragsrückgang in %	Differenz
Weizen	23,0	7,7	15,3
Reis	37,1	10,2	26,9
Mais	40,3	10,5	29,8
Kartoffeln	30,2	8,3	21,9
Sojabohne	37,0	7,5	29,5
Baumwolle	35,9	8,6	27,3

Quelle: Eigene Darstellung nach OERKE (2006)

Zwar könnte nach seinen Berechnungen die Herbiziddosierung bei den Gemüsearten Möhren, Porree und Zwiebeln unter die in der Praxis üblichen hohen Aufwandmengen gesenkt werden, jedoch war hier der zeitlich optimal auf das Wachstum der Unkräuter abgestimmte Behandlungstermin der begrenzende Faktor. Da dieser durch die Betriebe nicht immer gewährleistet werden kann, wären Mindererträge oftmals die Folge eines – prinzipiell zwar durchaus möglichen, aber die Wahl des optimalen Behandlungstermins voraussetzenden – verminderten PSM-Einsatzes. Daher nutzen risikoaverse Entscheider Herbizide aufgrund von Unsicherheit bezüglich des Wirkungsgrades zum Zeitpunkt der Applikation häufig oberhalb der optimalen speziellen Intensität, anstatt die Verminderung des Einsatzes von PSM in den Vordergrund ihrer Überlegungen zu stellen. FERNANDEZ-CORNEJO et al. (1998) beobachteten in diesem Zusammenhang allerdings auch, dass die Wirkung des Herbizideinsatzes in vielen Fällen durch die Anwender überschätzt wird, während alternative Strategien unterschätzt würden.

Auch die – bedingt durch den Strukturwandel – steigenden Betriebsgrößen in der Landwirtschaft können als Treiber des Herbizideinsatzes ausgemacht werden. Kleineräumig durchgeführte Studien zeigen oft, dass durch eine mechanische Unkrautbekämpfung zum richtigen Zeitpunkt nur marginale Ertragseinbußen im Vergleich zur chemischen Unkrautbekämpfung entstehen (PRASAD et al., 2008), sofern eine an den Standort angepasste Bearbeitungsmethodik ausgewählt wird und die Witterung sowie die Bodenverhältnisse zum Zeitpunkt der Maßnahme optimal sind (PALLUTT, 2006). Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nur bedingt auf die landwirtschaftliche Praxis übertragen. Hier zeigt sich, dass die mechanische Unkrautregulierung zeitaufwendig und arbeitsintensiv ist und die benötigten Arbeitskräfte bei Handarbeit oftmals nicht zum richtigen Zeitpunkt zur Verfügung stehen (DE DATTA und BARKER, 1997; PALLUTT, 1999; OERKE, 2006). Ertragseinbußen wären dann die Folge eines Verzichts auf den weniger arbeitsaufwendigen chemischen Pflanzenschutz (RASHID et al., 2012). Besonders während Arbeitsspitzen ist der Einsatz von Herbiziden daher oftmals unerlässlich. Herbizide wirken jedoch nicht nur ertragssichernd, sondern führen durch verminderte Aufwendungen, etwa geringere Personal- und Treibstoffkosten, auch zu höheren Einkommen in der Landwirtschaft (ZANIN et al., 1992; BRENT und ATKIN, 1987).

Trotz dieser kurzfristigen Vorteile kann der Einsatz von Herbiziden bzw. generell PSM durch Abdrift bei der Applikation (CENTER et al., 2014), Nachbaubeschränkungen sowie vermehrte Resistenzbildung durch ein schmales Portfolio an Wirkstoffen (GIANESSI, 2008) langfristig zu gesamtwirtschaftlichen, aber auch auf einzelbetrieblicher Ebene spürbaren Schäden führen, sofern keine effizienteren Ausbringungstechniken, alternativen Wirkstoffe bzw. andere Substitutionsmaßnahmen, die einen geringeren Herbizideinsatz zulassen, entwickelt werden (PIMENTEL, 2003).

4 Die ökonomische Bedeutung von Glyphosat

Während zahlreiche Studien zur ökonomischen Vorteilhaftigkeit von Glyphosat in Roundup Ready-Kulturen zu finden sind (etwa QAIM und TRAXLER, 2005; GIANESSI, 2008), die die mit dem Einsatz des Wirkstoffes verbundenen Ertrags- und Markt-, Einkommens- sowie Energie- und Klimaeffekte für Regionen außerhalb Europas berechnen, existieren nur wenige wissenschaftliche Studien, die den ökonomischen Wert von Glyphosat für den europäischen Ackerbau thematisieren. In diesem Kapitel werden zunächst die drei bedeutendsten Studien zum Glyphosateinsatz in Europa dargestellt; im zweiten Teil werden sodann weitere ökonomische Aspekte auf einzelbetrieblicher Ebene erörtert.

4.1 Der Einsatz von Glyphosat im europäischen Ackerbau

COOK et al. (2010) führten eine empirische Erhebung unter britischen Landwirten durch, um das Anwendungsmuster bei PSM zu analysieren. In Abhängigkeit von den natürlichen Standortfaktoren sowie der Fruchtfolgegestaltung in einer Region variiert nach ihren Ergebnissen der Glyphosateinsatz erheblich. Je höher der Grünlandanteil in einer Region ist, desto geringer ist der Anteil der mit Glyphosat behandelten Fläche und vice versa. Im britischen Ackerbau wiederum wird zwischen zwei Hauptanwendungen beim Glyphosateinsatz unterschieden. Zum einen erfolgt die Applikation von Glyphosat vor der Saat bzw. kurz vor dem Feldaufgang der Hauptfrucht, um eine Vielzahl von teils perennierenden Unkräutern zu bekämpfen. Zum anderen wird Glyphosat kurz vor dem Erntezeitpunkt ausgebracht, um eine Spätverunkrautung im Bestand zu regulieren sowie den Feuchtegehalt im Korn zu senken. Laut Aussage der befragten Landwirte schwankt der Anteil der Vorsaatbehandlung im Weizenanbau zwischen 23 und 85% der Gesamtfläche; im Rapsanbau wird Glyphosat auf 19 bis 75% der Fläche angewendet. Demgegenüber wird die Vorerntebehandlung im Weizen nur auf 8 bis 25% der Fläche durchgeführt, während bei der Rapsproduktion dieser Anteil mit 64 bis 75% um ein Mehrfaches höher liegt. Der im Vergleich zu Deutschland hohe Anteil der sikkerten Fläche ist möglicherweise auf das ozeanische Klima mit regenreicher Witterung in Großbritannien zurückzuführen (STEINMANN, 2013).

Ein Verzicht auf Glyphosat hätte für die Landwirtschaft in Großbritannien weitreichende Folgen. Eine Maßnahme für die Unkrautbekämpfung vor der Saat könnte eine Abkehr von der reduzierten Bodenbearbeitung hin zu einer Zunahme des Pflugeinsatzes sein. Ferner könnten alternative Breitbandherbizide wie beispielsweise Glufosinate eingesetzt werden, die jedoch eine weitaus geringere Wirkung gegenüber perennierenden Unkräutern aufweisen als Glyphosat. Das geringere Portfolio an Wirkstoffen hätte zudem eine erhöhte Resistenzbildung bei Unkräutern zur Folge und würde in Großbritannien voraussichtlich zu Ertragsverlusten von 20% im Wintergetreide und bei Ölfrüchten führen (CLARKE et al., 2009). Besonders die Bekämpfung von Ackerfuchsschwanz und Quecke scheint ohne Glyphosat ein schwerwiegendes

Problem darzustellen. Der Verzicht auf Glyphosat zur Sikkation würde zudem die Trocknungskosten ansteigen (ORSON und DAVIES, 2007) und aufgrund von Ernteverlusten die Erträge im Wintergetreide um etwa 3% und bei Ölfrüchten um 9% sinken lassen. Hochgerechnet auf Großbritannien würde sich die Erntemenge bei Wintergetreide um 17% und bei Ölfrüchten um etwa 15% reduzieren. Daneben ergeben sich bei einem Wegfall von Glyphosat nicht unerhebliche Einkommensverluste für die Landwirte, weil höhere Arbeiterledigungskosten durch Mehraufwendungen für Maschinen, Treibstoff und Arbeitskräfte die direkte Folge wären. Nach Berechnungen der Autoren würde ein Ackerbaubetrieb in England mit 100 ha Gesamtackerfläche und der Fruchtfolge Raps – Weizen – Weizen bei Verzicht auf Glyphosat trotz einiger Substitutionsmaßnahmen jährliche Ertragseinbußen von etwa 20% verzeichnen, was unter Berücksichtigung weiterer Effekte, namentlich erhöhter Arbeiterledigungskosten, einem monetären Verlust von etwa 250 € je Hektar (ha) entspräche (ORSON und DAVIES, 2007).

In Deutschland verfassten STEINMANN et al. (2012) sowie SCHMITZ und GARVERT (2012) fast zeitgleich zwei Studien zum Glyphosateinsatz im Ackerbau. STEINMANN et al. (2012) befragten etwa 900 deutsche Landwirte zu den Anwendungsfeldern von Glyphosat sowie den Gründen für den Glyphosateinsatz. Im Gegensatz zu der Studie von COOK et al. (2010) wurde hierbei zwischen drei Anwendungsgebieten (Stoppelbehandlung, Vorsaatsbehandlung, Sikkation) unterschieden, sodass die Anwendungsschwerpunkte genauer erkennbar werden. Auf Grundlage der empirischen Erhebung wurde berechnet, dass auf etwa 39% der deutschen Ackerfläche Glyphosat angewendet wird; der Wert liegt somit deutlich unter dem für Großbritannien genannten Anteil. Auf 68,1% dieser Fläche wird Glyphosat zur Bekämpfung von (perennierenden) Unkräutern bzw. Auflaufgetreide auf Stoppeläckern ausgebracht. Auf 20,7% der Fläche wird Glyphosat vor der Saat bzw. im Voraufbau der Hauptfrucht appliziert und auf lediglich 11,2% der Fläche wird es zur Sikkation angewendet. Umgerechnet auf die Gesamtfläche von Deutschland wird die Stoppelbehandlung auf etwa 23,1% der Fläche durchgeführt, 7,0% der Fläche wird vor der Saat behandelt und auf lediglich 3,8% der Fläche werden Druschfrüchte sikkieren. Weiterführende Auswertungen auf Basis der Studie von DICKEDUISBERG et al. (2012) zeigen, dass aufgrund der regional sehr unterschiedlichen Agrarstruktur Deutschlands verschiedene „Ballungsgebiete“ der Sikkation vorzufinden sind, beispielsweise in Ackerbauregionen Ostdeutschlands. Etwa 27,5% des deutschlandweiten Glyphosatverbrauches entfällt auf den Winterraps, gefolgt von Wintergerste

(20,1%) und Winterweizen (15,8%; STEINMANN et al., 2012).

Ähnlich wie in der Studie von LAUKKANEN und NAUGES (2011) beschrieben, zeigen auch deutsche Landwirte das Bestreben, eine intensivere Bodenbearbeitung anzuwenden, wenn der Herbizideinsatz reduziert wird. Ein Glyphosatverzicht würde dazu führen, dass der Einsatz des Pfluges von etwa 38,1% der bewirtschafteten Fläche auf 71,4% ansteigen würde. Ebenso wird erwartet, dass der Bearbeitungsindex auf den Stoppelflächen um den Faktor 1,6 zunehmen würde, um die Ackerbegleitflora bzw. den Aufwuchs generell einzudämmen. Ferner müsste der Wegfall von Glyphosat als Nachaufbauherbizid im Mais-, Zuckerrüben-, Raps- sowie Wintergetreideanbau durch den Einsatz eines selektiv wirkenden Herbizids ersetzt werden, welches in der Regel kostspieliger ist (LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, LEBENSMITTELSICHERHEIT UND FISCHEREI, 2014)

Unter Berücksichtigung der beschriebenen Anwendungsmuster und unter der Annahme dreier verschiedener Preise für den Wirkstoff errechneten STEINMANN et al. (2012) den volkswirtschaftlichen Nutzen von Glyphosat (Tab. 2). Mit steigendem Wirkstoffpreis nimmt der volkswirtschaftliche Nutzen des Glyphosateinsatzes naturgemäß ab.

Der größte Vorteil beim Einsatz von Glyphosat resultiert aus der Reduzierung des Maschinenbesatzes und des Arbeitskraftbedarfs. Ergänzend wird in der Studie von STEINMANN et al. (2012) erwähnt, dass einige Routineanwendungen von Glyphosat, beispielsweise die Applikation auf den Stoppelacker, nur einen im Vergleich zum nicht-chemischen Pflanzenschutz geringen wirtschaftlichen Nutzen haben. Dieses wird angesichts der wachsenden Resistenzproblematik in Deutschland in Zukunft noch verstärkt zutreffen. Anders als in Großbritannien ist für Deutschland festzustellen, dass die meisten Anwendungen auf abgeernteten Feldern stattfinden und somit kein unmittelbarer Zusammenhang zum Ertragsniveau erkennbar ist; der Einsatz von Glyphosat könnte daher teilweise durch eine Intensivierung der Bodenbearbeitung ersetzt werden. Insbesondere bei reduzierter Bodenbearbeitung ist der Glyphosateinsatz vielfach zur Standardanwendung auf dem Stoppelacker geworden, so dass – wie auch schon in anderen Studien deutlich wurde (u.a. SCHNEIDER, 2009; SCHWARZ, 2013) – Bodenbearbeitung durch Pflanzenschutzmitteleinsatz substituiert wird.

SCHMITZ und GARVERT (2012) beschäftigten sich mit den Ertrags- sowie den Wohlfahrtsentwicklungen in Deutschland bei einem Verzicht auf glyphosathaltige Herbizide und schätzten im Anschluss die Auswirkungen auf die EU-27. Auf Basis von 14 im Jahr 2011 durchgeführten

Tab. 2. Volkswirtschaftlicher Nutzen von Glyphosat in Deutschland

Wirkstoffpreis	7,80 €/kg	17,30 €/kg	27,70 €/kg
Volkswirtschaftlicher Nutzen	202 Mrd.	144 Mrd.	79 Mrd.

Quelle: Eigene Darstellung nach STEINMANN et al., 2012

Experteninterviews mit Pflanzenschutzberatern aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands wurden verschiedene Anwendungsschwerpunkte und die Bedeutung von Glyphosat im Hinblick auf das Resistenzmanagement untersucht sowie Szenarien gebildet, die bei einem Wegfall des Wirkstoffes denkbar wären. Nach Aussage der in der Studie befragten Pflanzenschutzberater wird Glyphosat in Deutschland auf etwa 30 bis 35% der Wintergetreidefläche sowie auf rund 50% der Rapsfläche eingesetzt; besonders bei der konservierenden Bodenbearbeitung wird es als Standardmaßnahme angesehen. Diese Aussage deckt sich mit den Ergebnissen von STEINMANN et al. (2012). Aufgrund regional unterschiedlicher Anbauverfahren wurde Deutschland in vier ähnliche Regionen unterteilt, um die Ertrags- sowie Einkommenseffekte eines Verzichts auf Glyphosat zu untersuchen. Im Hinblick auf die zunehmende Resistenzentwicklung im Ackerbau gehen die Autoren davon aus, dass die Erträge bei einem Verzicht auf Glyphosat je nach Region um bis zu 10% zurückgehen würden, selbst dann, wenn andere Bodenbearbeitungsverfahren bzw. Pflanzenschutzmaßnahmen alternativ zum Einsatz kämen. Dadurch bedingt würden die Deckungsbeiträge je nach Region zwischen 3 und 36% sinken; besonders Standorte mit starkem Ackerfuchsschwanzbesatz würden zu höheren Ernteverlusten tendieren. Weiterhin zeigen die Autoren mithilfe eines Gleichgewichtsmodells, dass es bei Getreide und Ölsaaten durch Kostenanstiege und Ertragsrückgänge zu einem Produktionsrückgang von 4,3 bis 7,1% kommen könnte. In der Folge würde sich die EU von einem Nettoexporteur zu einem Nettoimporteur von Getreide und Ölsaaten entwickeln, was einen Wohlfahrtsverlust in der EU-27 von etwa 1,4 Milliarden US-\$ bedeuten würde.

Bei einem Vergleich der drei wichtigsten Studien wird erkennbar, dass die Einschätzung der Bedeutung von Glyphosat je nach Autorenteam stark schwankt. Während STEINMANN et al. (2012) feststellen, dass einige Anwendungsgebiete in der deutschen Landwirtschaft als 'Luxusanwendung' zu bezeichnen sind, bei denen der ökonomischen Nutzen nicht allzu hoch erscheint, errechnen die anderen Studien einen sehr hohen Nutzen des Glyphosateinsatzes. COOK et al. (2010) beziehen hierbei jedoch nicht die komplette Bandbreite der Feldfrüchte ein (u.a. keine Berücksichtigung von Rüben, Mais und Kartoffeln), weil aufgrund der vielfach wenig differenzierten Fruchtfolgen in England nur die Behandlung im Raps und Weizen näher betrachtet wurde. Ferner wurden die Annahmen, die den Berechnungen zugrunde liegen, nicht vollständig offengelegt, sodass nur schwer nachzuvollziehen ist, inwieweit die enorme Resistenzproblematik (u.a. Ackerfuchsschwanz) sowie die klimatischen Bedingungen auf der britischen Insel eine Begründung für die hohe Bedeutung des Wirkstoffes darstellen können. Mit Blick auf die Aussagefähigkeit der drei Studien fällt auf, dass es sich bei COOK et al. (2010) sowie STEINMANN et al. (2012) um nur begrenzt repräsentative Convenience-Stichproben (vgl. FOWLER, 2002) mit begrenzter Aussagekraft handelt. SCHMITZ und GARVERT (2012) basieren ihre Modellierungen auf die Aussagen eines sehr klei-

nen, lediglich 14 deutsche Pflanzenschutzberater umfassenden Expertenkreises; dies mindert die Aussagekraft der Studie ebenfalls erheblich. Aus den genannten Gründen bieten die vorliegenden Studien zwar interessante Einblicke in ein bislang wenig erforschtes Thema mit großer Bedeutung für den europäischen Ackerbau; eine Verallgemeinerung der Ergebnisse ist jedoch nicht möglich.

4.2 Einzelbetriebliche Auswirkungen des Glyphosateinsatzes

Zahlreiche weitere Studien beschäftigen sich mit den ökonomischen Auswirkungen, die sich aus einer reduzierten Bodenbearbeitung in Verbindung mit dem Einsatz von Glyphosat ergeben. WILLIAMS et al. (2011) untersuchten in den USA, wie sich in der Getreideproduktion die Deckungsbeiträge bei verschiedenen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen auf Stoppelfeldern nach der Ernte entwickeln. Hierfür wurden auf Grundlage historischer Daten drei Szenarien analysiert:

- mechanische Bodenbearbeitung durch Pflugeinsatz
- Abbrennen des Unkrauts
- reduzierte Bodenbearbeitung mit Glyphosateinsatz

Die Analyse zeigt, dass die reduzierte Bodenbearbeitung mit Glyphosateinsatz zwischen 2006 und 2010 den höchsten Deckungsbeitrag erzielte und gleichzeitig dem geringsten Risiko ausgesetzt war. Dieses Ergebnis ist u.a. den in diesem Zeitraum geringen Glyphosatpreisen (5 €/l) geschuldet, sodass diese Variante selbst bei einer Verdreifachung der Glyphosatpreise den höchsten Deckungsbeitrag pro Hektar aufweisen würde. An zweiter Stelle folgt das Abbrennen des Unkrautes, dessen ökonomischer Nachteil gegenüber der reduzierten Bodenbearbeitung nur marginal ist. Der Einsatz des Pfluges ist allen anderen Varianten unterlegen. Ähnliche Ergebnisse erhielten NAIL et al. (2007). In einem Langzeitexperiment im Weizenanbau wurde die Rentabilität der konventionellen, der konservierenden und der Minimalbodenbearbeitung im Zeitraum von 1998 bis 2005 verglichen. Der Anstieg der Dieselpreise um die Jahrtausendwende und der gleichzeitig geringe Glyphosatpreis sorgten dafür, dass der Deckungsbeitrag in diesem Zeitraum bei der konventionellen Bodenbearbeitung (Pflugeinsatz) um 2,36 US \$ pro Hektar (\$/ha) gesunken ist, während bei der konservierenden Bodenbearbeitung Zuwächse von 6,37 US \$/ha und bei der Minimalbodenbearbeitung von etwa 6,30 US \$/ha zu verzeichnen waren. Auch wenn sich die Studien von WILLIAMS et al. (2011) sowie NAIL et al. (2007) auf den Glyphosateinsatz in den USA beziehen, so zeigt sich doch, dass sowohl die Diesel- als auch die Glyphosatpreise einen Einfluss auf die Wahl der Form der Bodenbearbeitung haben.

Im Hinblick auf das Resistenzmanagement im Herbizidsektor ist der Glyphosateinsatz differenziert zu betrachten. Besonders in Europa ist in den vergangenen Jahren eine steigende Anzahl resistenter Unkrauttypen festzustellen (u.a. Ackerfuchsschwanz, Windhalm, Quecke), sodass selektiv wirkende Herbizide aufgrund einseitiger

Herbizidstrategien eine nur noch unzureichende Wirkung erkennen lassen (GEHRING, 2009). In der Praxis zeigt sich, dass Glyphosat in diesen Fällen eine der wenigen Alternativen darstellt, die Resistenzen zu brechen und insbesondere Wurzelunkräuter effektiv zu bekämpfen, und somit auch einen positiven Einfluss auf die Rentabilität aufweist.

Unter Risikogesichtspunkten ist ein regelmäßiger Einsatz von Glyphosat in Deutschland jedoch kritisch einzustufen, da dieser die Entstehung von Unkrautresistenzen fördern kann. Obwohl der Begriff der „Super Weeds“ eher als Schlagwort für die Medienberichterstattung anzusehen ist, ist weltweit besonders beim Anbau von GVO-Pflanzen eine steigende Resistenz von Unkräutern gegenüber Glyphosat festzustellen, die maßgeblich durch die mit dem Anbausystem verbundene starre Form des Unkrautmanagements inklusive einer hohen Behandlungsintensität verursacht ist. SHAW et al. (2011) zeigten, dass durch ein diversifiziertes Herbizidmanagement die Gefahr der Resistenzbildung wesentlich geringer und somit die betriebliche Wertschöpfung auf lange Sicht höher ist. BECKIE (2011) fordert daher eine höhere Intensität der Bodenbearbeitung als eine Form des proaktiven Unkrautmanagements sowie die Applikation unterschiedlicher Wirkstoffe im Pflanzenschutz, um die Evolution von resistenten Unkräutern zu unterbinden. Die Ergebnisse einer Umfrage unter nordamerikanischen Landwirten zeigen, dass ein erhöhter Wissenstransfer von der Wissenschaft in die landwirtschaftliche Praxis geboten erscheint. Auf die Frage, welche Maßnahmen für die Einschränkung der Resistenzproblematik am geeignetsten sind, wurden am häufigsten die korrekte Aufwandmenge sowie der optimale Applikationszeitpunkt erwähnt, während die Intensivierung der Bodenbearbeitung eher selten genannt wurde (GIVENS et al., 2011). Ein effektives Resistenzmanagement kann jedoch nur in Verbindung mit ackerbaulichen Maßnahmen, namentlich der Bodenbearbeitung und der Fruchtfolgegestaltung (GEHRING, 2009, GIVENS et al., 2011), bei gleichzeitiger Einschränkung des Herbizidaufwandes betrieben werden (HARKER et al., 2012).

Die teils kritischen Beiträge im Hinblick auf das Resistenzmanagement geben wichtige Anstöße für die Hinterfragung des Einsatzes von Glyphosat in Deutschland.

Jährlich werden etwa 5000 t Glyphosat in Deutschland vermarktet, was einem Anteil von ungefähr 30 bis 40% am gesamten Herbizidabsatz entspricht (BVL, verschiedene Jahrgänge; STEINMANN, 2013). Ungeachtet der – im Vergleich zu anderen Herbiziden – hohen Aufwandmengen von Glyphosat pro ha landwirtschaftlicher Nutzfläche ist der hohe Anteil am Gesamtabsatz ein Indiz für die hohe Anwendungshäufigkeit dieses Wirkstoffes in der deutschen Landwirtschaft. Diese wiederum kann dazu beitragen, dass im deutschen Ackerbau Resistenzen gegenüber dem Wirkstoff auftreten. Die Erfahrungen aus dem Anbau von GVO-Pflanzen sollten daher – soweit sie auf Deutschland übertragbar sind – bei der Beratung von Landwirten mitberücksichtigt werden, um dauerhaft hohe Wirkungsgrade des Wirkstoffes Glyphosat zu gewährleisten.

Eine Untersuchung aus Italien zeigt, dass im Jahr 2013 die erste Resistenz eines Ungrases (*Lolium* spp.) gegenüber Glyphosat im europäischen Ackerbau identifiziert wurde (COLLAVO und SATTIN, 2013). Dies veranschaulicht, dass sich Resistenzen gegenüber Glyphosat nicht nur auf den GVO-Anbau beschränken lassen, sondern auch im europäischen Ackerbau zunehmend an Bedeutung gewinnen. Daher sind die ökonomischen Vorteile, die aus dem Einsatz von Glyphosat resultieren (Tab. 3), zwar momentan noch gegeben, könnten aber zukünftig erheblich abgemildert werden.

5 Diskussion und weiterer Forschungsbedarf

Diese Literaturübersicht zum ökonomischen Nutzen von Herbiziden bzw. Glyphosat illustriert, dass die Mittel nach verbreiteter Ansicht in der heutigen Landwirtschaft nur schwer zu ersetzen sind, wenn das aufgrund des Anstiegs der Nachfrage nach Agrarprodukten erforderliche hohe Ertragsniveau gehalten werden soll. Trotzdem ist sein ökonomischer Wert nicht einfach zu ermitteln, da er auf einzelbetrieblicher oder überbetrieblicher Ebene, unter Berücksichtigung von Output- und Inputwirkungen oder einer Kombination aus beidem sowie unter Zugrundelegung einer kurz- oder einer langfristigen Perspektive ermittelt werden kann.

Tab. 3. Vorteile des Glyphosateinsatzes

Nutzung von konservierender und Minimalbodenbearbeitung Ackerbau auf Grenzstandorten (Erosionsgebieten)
Reduzierung von Maschinenkosten
Reduzierung von Arbeitserledigungskosten
Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs
Anti-Resistenzmanagement
Ackerhygiene (Unterbrechung der grünen Brücke)
Erntesicherheit (Lagergetreide)

Quelle: Eigene Darstellung nach COOK et al., 2010; DICKEDUISBERG et al., 2012; STEINMANN et al., 2012; SCHMITZ und GARVERT, 2012

Der weltweit gestiegene Einsatz dieses Wirkstoffes sorgt dafür, dass es zu kontroversen gesellschaftlichen Diskussionen kommt, meistens im Hinblick auf die Gefahren des Glyphosateinsatzes für die menschliche Gesundheit oder den Naturhaushalt. Darüber hinaus ist aber auch der fachgerechte Einsatz in der landwirtschaftlichen Praxis zu hinterfragen, da die Bildung von resistenten Unkrautbiotypen den wirtschaftlichen Nutzen des Mitteleinsatzes langfristig schmälern kann. Erste Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass dieses Problem auch für europäischen Ackerbau an Relevanz gewinnt (COLLAVO und SATTIN, 2013). Daher ist eine standortspezifische Betrachtung notwendig, um den Wert dieses Herbizides differenzierter zu ermitteln. Zunächst sollte daher in weiteren empirischen Erhebungen der Einsatz von Glyphosat systematisch erfasst und analysiert werden, um genauer als bisher Anwendungsfelder und -muster in der landwirtschaftlichen Praxis zu identifizieren. Ein besonderes Augenmerk sollte dabei auf die detaillierte Analyse von Bestimmungsgründen des Anwendungsverhaltens gerichtet werden. Dies kann etwa auf der Grundlage empirischer Erhebungen mit Hilfe von Kausalanalysen, beispielsweise in Form von Strukturgleichungsmodellen, geschehen, um auf diese Weise vertiefte Einblicke in die Bestimmungsgründe für den Einsatz von Glyphosat in der landwirtschaftlichen Praxis erhalten zu können.

Gleichzeitig ist der ökonomische Wert für die verschiedenen Maßnahmen zu ermitteln, da davon ausgegangen werden kann, dass die reduzierte Bodenbearbeitung – besonders an Grenzstandorten – nur die Folge eines primär anderen Zieles ist. Besonders auf Standorten mit einer erheblichen Gefahr durch Wind- und Wassererosion ist der Ackerbau häufig nur durch den Einsatz der konservierenden Bodenbearbeitung in Verbindung mit dem Einsatz von Glyphosat möglich und letzterer somit ökologische und ökonomische Vorteile bietet. Ferner ist der ökonomische Nutzen im Hinblick auf die Bekämpfung perennierender Unkräuter sowie der Sikkation zu ermitteln. Angesichts der zunehmenden Resistenzproblematik im europäischen Ackerbau, u.a. auch im Bereich der selektiv-wirkenden Herbizide (ACCase-Hemmer, ALS-Hemmer etc.; WOLBER, 2013), sind aus wissenschaftlicher Sicht besonders Fragestellungen von Interesse, die die Wechselwirkungen zwischen Bodenbearbeitung und Glyphosateinsatz näher beleuchten. Möglicherweise wird in den nächsten Jahren eine Intensivierung der Bodenbearbeitung (Pflugeinsatz) bei einer gleichzeitigen Reduzierung des Herbizidaufwandes unter Risikogesichtspunkten vorzuziehen sein, um in Deutschland nicht eine ähnliche Unkrautproblematik wie beispielsweise in Großbritannien und den USA heraufzubeschwören. Der Bedarf an einem Strategiewechsel wird durch die jährlich sinkende Zahl an Produktneuentwicklungen im Herbizidsektor tendenziell verstärkt. Auch die seit der Jahrtausendwende angestiegenen Erzeugerpreise für landwirtschaftliche Güter können möglicherweise für ein Umdenken beim Einsatz von Herbiziden sorgen, da Low-Input Strategien, z.B. in Form einer Minimalbodenbearbeitung in Verbindung mit

intensivem Herbizideinsatz, nicht mehr zwingend die ökonomisch vorteilhafteste Variante darstellen müssen.

Grundsätzlich sollten Herbizide dann das Mittel der Wahl sein, wenn ackerbauliche Maßnahmen nicht ausreichend für eine Unterdrückung der Ackerbegleitflora sorgen (GUTSCHE, 2012). Daher ist eine ökonomische Neubewertung des Einsatzes von Glyphosat in verschiedenen Fruchtfolgen und an verschiedenen Standorten zwingend erforderlich mit dem Ziel, den Wert des Wirkstoffes differenziert zu ermitteln. Flankierend sind Best Management-Strategien zu entwickeln, um die Beratungsempfehlungen von Landwirtschaftskammern, Pflanzenschutzämtern und anderen Anbauberatern zu optimieren, damit der Nutzen des Wirkstoffes möglichst langfristig gewährleistet bleibt.

Danksagung

Die Förderung des Vorhabens erfolgt aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projekträgerchaft erfolgt über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Literatur

- ALEXANDRATOS, N., 2009: World Food and Agriculture to 2030/50. Highlights and views from MID-2009: Paper for the Expert Meeting on "How to Feed the World in 2050", FAO, Rom, 24.-26. June 2009.
- AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE, 1965: Losses in agriculture. Agriculture Handbook No. 291. United States Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, 1965.
- BECKE, H., 2011: Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate. *Pest Management Science* **67**, 1037-1048.
- BfR (Bundesamt für Risikobewertung), 2014: Fragen und Antworten zur gesundheitlichen Bewertung von Glyphosat. Diskussionspapier, vorgestellt im Rahmen des BfR-Symposiums zur gesundheitlichen Bewertung von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln am 20. Januar 2014, Berlin.
- BRENT, K.J., R.K. ATKIN, 1987: Rational Pesticide Usage. Cambridge, Cambridge University Press.
- BVL (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), verschiedene Jahre: Schriftliche Mitteilungen zum Inlandsabsatz von Pflanzenschutzmitteln sowie Verzeichnis zugelassener Pflanzenschutzmittel. Online-Datenbank unter <http://www.bvl.bunde.de>.
- CENTER, T.J., G.COLSON, A. LAWRENCE, 2014: Assigning Liability for Pesticide Spray Drift. *Land Use Policy* **36**, 83-88.
- CLARKE, J., S. WYNN, S. TWINING, P. BERRY, S. COOK, S. ELLIS, G. GLADDERS, 2009: Pesticide Availability for Cereals and Oilseeds Following Revision of Directive 91/414/EEC; Effects of Losses and New Research Priorities. *HGCA Research Review* No. 70. http://archive.hgca.com/document.aspx?fn=load&media_id=5195&publicationId=5850.
- COLLAVO, A., M. SATTIN, 2013: First Glyphosate-resistant *Lolium* spp. Biotypes Found in a European Annual Arable Cropping System also Affected by ACCase and ALS Resistance. *Weed Research* **54** (4), 325-334.
- COOK, S.K., C. WYNN, J.H. CLARKE, 2010: Glyphosate – a Necessary Herbicide. How Valuable is Glyphosate to UK Agriculture and the Environment? *Outlooks on Pesticide Management* **21**, 280-283.
- COOPER, J., H. DOBSON, 2007: The Benefits of Pesticides to Mankind and the Environment. *Crop Protection* **26** (9), 1337-1348.
- CRAMER, H.H., 1967: Plant Protection and World Crop Production. *Bayer Pflanzenschutznachrichten* **20**, 1-524.
- DABBERT, S., E. BERG, R. HERRMANN, S. PÖCHTRAGER, K. SALHOFER, 2009: Das GEWISOLA-ÖGA-Publikationsranking, Arbeitspapier.

- DE DATTA, S.K., R. BARKER, 1997: Economic Valuation of Modern Weed Control Techniques in Rice. In: J.D. FRYER, S. MATSUNAKA (Hrsg.): Integrated Control of Weeds, University of Tokyo, 205-288.
- DEUTSCHER BUNDESTAG, 2011: Risikobewertung und Zulassung des Herbizid-Wirkstoffs Glyphosat. Antwort der Bundesregierung auf eine kleine Anfrage von Abgeordneten der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN. 27. September 2011. Berlin.
- DICKEDUISBERG, M., H.H. STEINMANN, L. THEUVSEN, 2012: Erhebung zum Einsatz von Glyphosat im deutschen Ackerbau. 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, 13.-15. Mai 2012, Braunschweig.
- DIRKMEYER, W., 2007: Ist eine Reduzierung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Freilandgemüsebau möglich? Ergebnisse eines bioökonomischen Simulationsmodells. Vortrag auf der 47. GEWISOLA Tagung und auf der 17. ÖGA-Tagung in Freising/Weihenstephan, 26.-28. September 2007.
- DUKE, S.O., S.B. POWLES, 2008: Glyphosate: A Once-in-a-century Herbicide. *Pest Management Science* **64** (4), 319-325.
- FAO, 2015: FAOSTAT Domains. Population/Annual Population. Global Population composition by year 2050.
- FERNANDEZ-CORNEJO, J., S. JANS, M. SMITH, 1998: Issues in the Economic of Pesticide Use in Agriculture: A Review of the Empirical Evidence. *Review of Agricultural Economics* **20** (2), 462-488.
- FOWLER, F.J., 2002: Survey Research Methods. Sage, Thousand Oaks, CA.
- GEHRING, K., 2009: Herbizidwirkung in Gefahr. Resistenzsituation bei Ungräsern. Fachbeitrag für die DLZ 3/2009. LfL Freising. Institut für Pflanzenschutz. Freising.
- GEHRING, K., S. THYSSEN, T. FESTNER, 2012: Folgewirkungen von Glyphosatbehandlungen auf nachgebaute Kulturen. Vortrag im Rahmen der 25th German Conference on Weed Biology and Weed Control, 13.-15. März 2012, Braunschweig.
- GIANESSI, L.P., 2008: Economic impacts of glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science* **64**, 1099-1105.
- GIANESSI, L.P., 2013: The Increasing Importance of Herbicides in Worldwide Crop Production. *Pest Management Science* **69**, 346-352.
- GIESY, J.P., S. DOBSON, K.R. SOLOMON, 2000: Ecotoxicological Risk Assessment for Roundup Herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* **167** (35), 35-120.
- GIVENS, W.A., D.R. SHAW, M.E. NEWMAN, S.C. WELLER, B.G. YOUNG, M.D. OWEN, D.L. JORDAN, 2011: Benchmark Study on Glyphosate-resistant Cropping Systems in the United States. Part 3: Grower Awareness, Information Sources, Experiences and Management Practices regarding Glyphosate-resistant Weeds. *Pest Management Science* **67** (7), 758-770.
- GUTSCHE, V., 2012: Managementstrategien des Pflanzenschutzes der Zukunft im Focus von Umweltverträglichkeit und Effizienz. *Journal für Kulturpflanzen* **64** (9), 325-341.
- HARKER, K.N., J.T. O'DONOVAN, R.E. BLACKSHAW, H.J. BECKIE, C. MALLORY-SMITH, B.D. MAXWELL, 2012: Our View. *Weed Science* **60**, 143-144.
- HEADLEY, J.C., 1972: Defining the Economic Threshold. In: *Pest Control Strategies for the Future*. National Academy of Sciences, Washington, DC. 100-108.
- HEITFUSS, R., 2000: Pflanzenschutz: Grundlagen der praktischen Phytomedizin. 3., neubearb. und erw. Aufl., Stuttgart (u.a.), Georg Thieme Verlag, 399 S.
- HÜBENTHAL, A., 2005: Pflanzenschutz zwischen Nutzen und Risiko. *Nachrichten aus der Chemie* **53**, August 2005.
- HÜLSBERGEN, K.J., 2015: Nachhaltige Ertragssteigerung im Öko-Landbau – Grundlage für eine erfolgreiche Entwicklung. Bayerische Agrarprodukte im Spannungsfeld neuer Märkte, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL).
- INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, 2015: IARC Monographs Volume 112: evaluation of five organophosphate insecticides and herbicides. World Health Organization. March 20th 2015.
- KOCH, W., K. HURLE, 1978: Grundlagen der Unkrautbekämpfung. Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag, 207 S.
- LABORDE, D., 2011: Accessing the Land Use Change Consequences of European Biofuel Policies. Final Report, Atlas Consortium, IFPRI, Washington DC.
- LANDESAMT FÜR LANDWIRTSCHAFT, LEBENSMITTELSICHERHEIT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN, 2014: Wirksamkeiten ausgewählter Getreideherbizide – Herbizidbewertung. Online-Quelle: <http://lallf.de/Getreideherbizide-Herbst.522.0.html>, abgerufen am 13. Oktober 2014.
- LAUKKANEN, M., C. NAUGES, 2011: Environmental and Production Cost Impacts of Non-till in Finland: Estimates from Observed Behavior. *Land Economics* **87** (3), 508-527.
- MÄRLÄNDER, B., A. VON TIEDEMANN, 2006: Herbizidtolerante Kulturpflanzen – Anwendungspotentiale und Perspektiven. Schriftenreihe der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft, Band 8. Stuttgart, Eugen Ulmer Verlag, 32-45.
- MUSSHOFF, O., N. HIRSCHAUER, 2013: Modernes Agrarmanagement. 3. Aufl., München, Verlag Franz Vahlen.
- NAIL, E.N., D.L. YOUNG, W.F. SCHILLINGER, 2007: Diesel and Glyphosate Price Changes Benefit the Economics of Conservation Tillage versus Traditional Tillage. *Soil and Tillage Research* **94** (1), 321-327.
- NLWKN (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz), Hrsg., 2015: Themenbericht Pflanzenschutzmittel. Wirkstoffe und Metaboliten im Grundwasser. Datenauswertung 1989 bis 2013. Hannover.
- OERKE, E.C., H.W. DEHNE, F. SCHONBECK, A. WEBER, 1994: Crop protection and crop protection estimated losses in major food and cash crops. Amsterdam: Elsevier Science.
- OERKE, E.C., H.W. DEHNE, 2004: Safeguarding Production – Losses in Major Crops and the Role of cCrop Protection. *Crop Protection* **23**, 275-285.
- OERKE, E.C., 2006: Crop Losses to Pests. *Journal of Agricultural Science* **144** (1), 31-43.
- ORSON, J.H., D.K.H. DAVIES, 2007: Pre-harvest Glyphosate for Weed Control and as a Harvest Aid in Cereals. *HGCA Research Review* Nr. 65.
- PALLUTT, B., 1999: Pflanzenschutz im ökologischen Landbau – Probleme und Lösungsansätze. Drittes Fachgespräch am 2. November 1999 in Kleinmachnow „Unkrautregulierung im ökologischen Landbau“, Hrsg.: Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig.
- PALLUTT, B., 2006: Herbologische Bewertung der mechanischen Unkrautregulierung. Workshop „Alternativen zum chemischen Pflanzenschutz im Ackerbau“. Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Heft **132**, 91-96.
- MCDUGALL, P., 2013: Online-Quelle: <http://www.phillipsmcdougall.com/>, abgerufen am 13. April 2014.
- PIMENTEL, D., 1978: Socio-economic and Legal Aspects of Pest Control. In: Smith, E.H., Pimentel, D. (Hrsg.): *Pest Control Strategies*. New York (et al.), Academic Press, 55-71.
- PIMENTEL, D., 2003: Environmental and Economic costs of the application of pesticides primarily in the United States. *Environmental Development and Sustainability* **7**, 229-252.
- POPP, J., K. PETŐ, J. NAGY, 2013: Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **33** (1), 243-255.
- PRASAD, A., G. SINGH, R.K. UPADHYAY, 2008: Integrated Weed Management in Maize (*Zea mays* L.) and Maize + Blackgram. *Indian Journal of Weed Science* **40** (3&4), 191-192.
- QAIM, M., G. TRAXLER, 2005: Roundup Ready Soybeans in Argentina: Farm Level and Aggregate Welfare Effects. *Agricultural Economics* **32** (1), 73-86.
- QAIM, M., 2006: Bedeutung der Pflanzenzüchtung für die Welternährung. *Berichte über Landwirtschaft* **84**, 198-212.
- RASHID, M.H., M.M. ALAM, J.K. LADHA, 2012: Comparative Efficacy of Pretilachlor and Hand Weeding in Managing Weeds and Improving the Productivity and Net Income of Wet-seeded Rice in Bangladesh. *Field Crops Research* **128**, 17-26.
- REINHARDT, G., GÄRTNER, S., MÜNCH, J. S. HÄFELE, 2009: Ökologische Optimierung regional erzeugter Lebensmittel: Energie- und Klimabilanzen. Institut für Energie und Umweltforschung, Heidelberg, Germany.
- RÖRING, J., 2014: Nachhaltige Welternährung – Herausforderungen für die Landwirtschaft. Vortrag am 15. Dezember 2014 an der Fakultät für Agrarwissenschaften der Georg-August-Universität Göttingen.
- SCHÄFER, B.C., 2013: Pflügen oder Spritzen – Ackerbau im Zwiespalt. Vortrag im Rahmen der DLG-Wintertagung am 16. Januar 2013. Berlin.
- SCHMITZ, P.M., H. GARVERT, 2012: Die ökonomische Bedeutung des Wirkstoffs Glyphosat für den Ackerbau in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* **64** (5), 150-162.
- SCHNEIDER, R., 2009: Welternährung sichern im Klimawandel. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* **4**, 39-43.
- SCHWARZ, J., 2013: Energetische Betrachtung zum Einsatz von Herbiziden und Bodenbearbeitung. *Gesunde Pflanzen* **65** (1), 33-37.
- SHAW, D.R., M.D. OWEN, P.M. DIXON, S.C. WELLER, B.G. YOUNG., R.G. WILSON, D.L. JORDAN, 2011: Benchmark Study on Glyphosate-resistant Cropping Systems in the United States – Part 1: Introduction to 2006-2008. *Pest Management Science* **67** (7), 741-746.
- STEINMANN, H.-H., M. DICKEDUISBERG, L. THEUVSEN, 2012: Uses and Benefits of Glyphosate in German Arable Farming. *Crop Protection* **42**, 164-169.
- STEINMANN, H.-H., 2013: Glyphosat – ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß“. *Gesunde Pflanzen* **65** (2), 47-56.

- UN, 2015: World Population Prospects: The 2012 Revision. Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, New York, <http://esa.un.org/wpp/unpp/p2k0data.asp>, (Abrufdatum: 18.05.2015).
- VON WITZKE, H., S. NOLEPPA, 2011: Der gesamtgesellschaftliche Nutzen von Pflanzenschutz in Deutschland: Darstellung des Projektansatzes und von Ergebnissen zu Modul 1: Ermittlung von Markteffekten und gesamtwirtschaftlicher Bedeutung. http://www.agrar.hu-berlin.de/fakultaet/departments/dao/ihe/Veroeff/psm_markteffekte_final.pdf, (Abrufdatum: 20.7.14.).
- WEBSTER, J.P.G., R.G. BOWLES, N.T. WILLIAMS, 1999: Estimating the Economic Benefits of Alternative Pesticide Usage Scenarios: Wheat Production in the United Kingdom. *Crop Production* **18**, 83-89.
- WILLIAMS, J.R., M.J. PACHTA, M. CLAASSEN, K. ROOZEBOM, R. LLEWELYN, 2011: Wheat Stubble to Burn or not to Burn: An Economic Analysis. *Journal of Western Agricultural Economics Association* **10** (1), 32-42.
- WOLBER, D.M., 2013: Resistenzentwicklungen von *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. (Gemeiner Windhalm) in Niedersachsen 2013 – zunehmend auch gegen Pinoxaden. 26. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung. 11.-13. März 2014, Braunschweig. *Julius-Kühn-Archiv* **443**, 280-286.
- YUDELMAN, M., A. RATTA, D. NYGAARD, 1998: Pest Management and Food Production Looking to the Future. Washington DC, IFPRI.
- ZANIN, G., A. BERT, M. GIANNINI, 1992: Economics of Herbicide Use on Arable Crops in North-central Italy. *Crop Protection* **11**, 174-180.