



# **Konsequenzen des Glyphosateinsatzes im Ackerbau für Anbausysteme, Umwelt und Gesellschaft**

Prof. Dr. Jan Petersen

ITB gGmbH an der Technischen Hochschule Bingen

Bingen im Januar 2018

## Vorwort – Einordnung und Intention der Studie

Im Rahmen der aktuellen Diskussion um die Wiedezulassung von Glyphosat in der EU sind zahlreiche Papiere entstanden, die Nachteile und potentielle Risiken sowie die Möglichkeiten der Substitution von Glyphosat in Anbauverfahren beschreiben. Was den meisten dieser Papiere aber fehlt, sind Grundlagen und Argumente, die einen Abwägungsprozess um das Für und Wider von Glyphosat ermöglichen.

Auf die Bewertung möglicher toxikologischer Effekte von Glyphosat wird in dieser Studie nicht eingegangen. Der Autor geht davon aus, dass die Einschätzung und Bewertung von EFSA und BfR im Rahmen des Wiedezulassungsprozesses vor dem gegenwärtigen Stand des Wissens korrekt sind und vom Glyphosat bei zu erwartenden Expositionen keine Gefahren für Anwender und den Verbraucher bei sachgemäßer Anwendung der entsprechenden Herbizide zu erwarten sind. Diese Einschätzung wird durch diverse Studien mit handfesten Daten bei realistischen Glyphosatexpositionen (inklusive Sicherheitsfaktoren) belegt (beispielhaft siehe Williams et al. 2000 bzw. Andreotti et al. 2018).

Eine Verbindung von Glyphosatanwendungen mit gentechnisch veränderten Kulturpflanzensorten existiert im deutschen Ackerbau momentan und auf absehbare Zeit auch zukünftig nicht, so dass die Verwendung glyphosattoleranter Sorten und deren potentieller Einfluss auf Ackerbausysteme und Umwelt mangels Relevanz in dieser Studie nicht betrachtet wird.

Die Hauptintention dieser Studie ist es, die Vor- und Nachteile der Glyphosatanwendungen im deutschen Ackerbau aufzuzeigen und im Vergleich zu möglichen alternativen Verfahren der Glyphosatverwendung eine Abwägung der jeweiligen Verfahrensfolgen vor dem Hintergrund der jeweiligen Anwendungsbedingungen (z.B. Standorte, Indikation und Verfahren) zu ermöglichen. Das Einziehen der Alternativen in die Bewertung macht es erst möglich, im Sinne der Effizienz und der Minimierung der Umweltfolgen die Anbauverfahren zu optimieren. Denn es muss jedem bewusst sein, dass es einen Ackerbau im Einklang mit der Natur nicht gibt. Die ackerbauliche Nutzung ist stets etwas Widernatürliches. Gleichwohl bestehen selbstredend erhebliche Unterschiede in den Umweltwirkungen verschiedener ackerbaulicher Verfahren oder Systemen. Generell muss es das Ziel sein, die ackerbaulichen Methoden nachhaltig d.h. sowohl sozial, ökonomisch als auch ökologisch auszubalancieren. Welche Rolle Glyphosat dabei einnehmen kann und welche Risiken dabei bestehen, wird in dieser Betrachtung herausgestellt.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	4
1.1	Was ist Glyphosat? .....	4
1.2	Evolution der Glyphosatanwendung in deutschen Ackerbausystemen .....	4
1.3	Gegenwärtiger Einsatzumfang und Indikationen im Ackerbau .....	6
1.4	Ziele der Studie .....	7
2	Bedeutung von Glyphosat ... ..	8
2.1	Bedeutung von Glyphosat für den modernen und produktiven Ackerbau .....	8
2.1.1	Ökonomische Bedeutung auf betrieblicher Ebene .....	8
2.1.2	Strategien zur Bekämpfung resistenter Unkräuter .....	9
2.1.3	Anpassungsstrategien an den Klimawandel (z.B. milde Winter, Wasserhaushalt des Bodens) .....	10
2.1.4	Substitution von Bodenbearbeitung bei schwierigen Wetterverhältnissen .....	10
2.1.5	Sicherung der Ernte durch Sikkation .....	11
2.1.6	Gefahr der Selektion glyphosatresistenter Unkräuter .....	11
2.2	Bedeutung von Glyphosat für die Umwelt .....	12
2.2.1	Belastung von Umweltkompartimenten durch Glyphosateinträge .....	12
2.2.2	Auswirkungen auf die Biodiversität im Agrarökosystem .....	13
2.2.3	Verbesserung der Anbauverfahren durch Glyphosatverwendung .....	15
2.2.3.1	Wirkung auf den Nährstoffhaushalt in Agrarökosystemen (ins. N und P) .....	16
2.2.3.2	Wirkungen auf den Bodenschutz .....	18
2.2.3.3	Limnologische Wirkungen .....	19
2.2.3.4	Wirkungen auf die Atmosphäre .....	19
2.2.4	Be- und Entlastung von Treibhausgasbilanzen der pflanzlichen Produktion durch den Glyphosateinsatz .....	20
2.3	Bedeutung von Glyphosat für die Gesellschaft .....	21
2.3.1	Volkswirtschaftliche Bedeutung der Glyphosatverwendung .....	21
2.3.2	Umwelteffekte durch Glyphosat (externe Kosten/Nutzen) .....	22
3	Zukunftsszenarien für Glyphosat - jeweils Betrachtung der Konsequenzen unter Berücksichtigung der alternativen Methoden – (Systembetrachtungen) ..	25
3.1	Vollständiges Verbot von Glyphosat im Ackerbau („Totalverbot“) .....	25
3.2	Deckelung des Glyphosateinsatzes („Begrenzungsszenario“) .....	26
3.3	Keine Restriktionen („Status quo“) .....	26
4	Fallstudien – Betrachtung einzelbetrieblicher Anbausysteme bei Glyphosatverzicht und bei Begrenzungsszenario .....	28
4.1	Ackerbaubetrieb im Kraichgau mit Zuckerrüben- und Maisanbau .....	28
4.2	Ackerbau Agrargenossenschaft in Nordwestmecklenburg .....	28
4.3	Gemischtbetrieb (Ackerbau, Futterbau, Rinderhaltung) in der Eifel .....	29
5	Bewertung des Auswirkungen der 3 Szenarien („Status quo“, „Begrenzungsszenario“ und „Totalverbot“) .....	30
6	Zusammenfassung .....	31
	Literaturverzeichnis .....	33
	Anhang – ökotoxikologische Daten .....	36

# 1. Einleitung

## 1.1 Was ist Glyphosat?

Glyphosat [N-(phosphonomethyl)Glycin] ist ein herbizider Wirkstoff, der auf Blätter von Pflanzen appliziert aufgenommen und systemisch durch das Phloem akro- und basipetal in meristematische Gewebe verlagert wird. In den meristematischen Geweben blockiert Glyphosat die 5-Enolpyruvylshikimate-3-phosphate Synthase (EPSPS). Damit wird in Pflanzen (und Bakterien) die Synthese aromatischer Aminosäure unterbunden. Diese essentiellen Aminosäuren fehlen nachfolgend den Pflanzen im Stoffwechsel und die behandelten Pflanzen sterben ab (Duke & Powles 2008). Aufgrund der basipedalen Translokation werden auch ausdauernde Unkräuter von Glyphosat nachhaltig bekämpft. Ferner gehört das Glyphosat zu den nicht-selektiven Herbiziden. Dies bedeutet, dass die meisten Pflanzenarten von Glyphosat erfasst werden und der direkte Einsatz in Kulturpflanzen nicht möglich ist. John E. Franz von der Firma Monsanto synthetisierte und testete Glyphosat im Jahr 1970 in den USA. Erste Registrierungen für das Herbizid wurden 1974 erlangt. Glyphosat ist ein anionisches Salz, das mit verschiedenen Kationen (z.B. Natrium oder Isopropylamin) die aktive Form erhält.

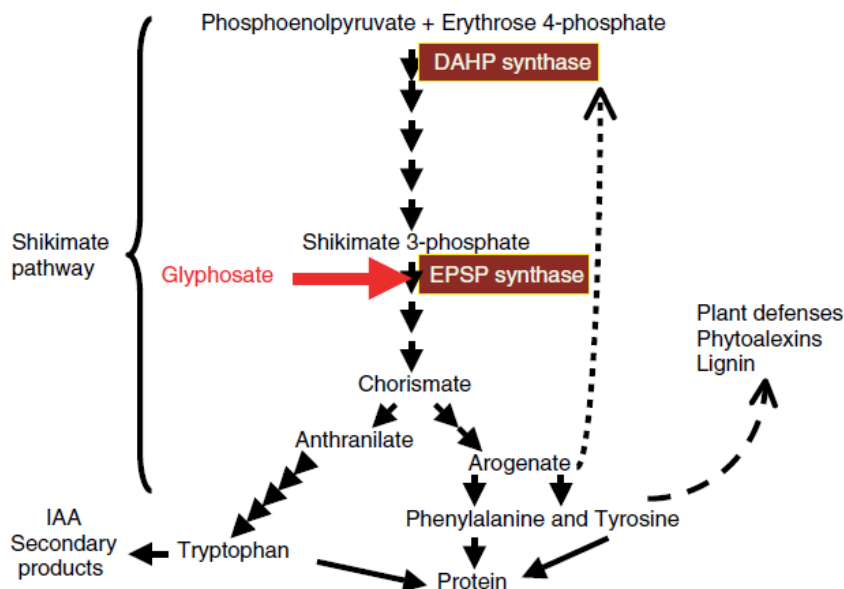


Abb. 1: Shikimat-Syntheseweg und Wirkort von Glyphosat. Gepunkteter Pfeil zeigt die regulatorische Rückkopplung und gestrichelter Pfeil deutet Beispiele für die weitere Verwendung der Endprodukte (Phenylalanine und Tyrosin) des Stoffwechselweges in Pflanzen an (nach Duke und Powles 2008)

## 1.2 Evolution der Glyphosatanwendung in deutschen Ackerbausystemen

Die Einführung von Glyphosat erfolgte im Jahr 1975. Zunächst war der Anwendungsumfang im Ackerbau sehr bescheiden. Zum einen gab es zunächst wenige Indikationen und das Herbizid war zudem verhältnismäßig teuer. Eine der Hauptverwendungsrichtungen war die Bekämpfung des perennierenden Ungrases Quecke (*Elmyus repens*) nach der Getreideernte auf der Stoppel. Zuvor waren die Bekämpfungsmöglichkeiten der Quecke in Getreidefruchtfolgen zumeist auf Bodenbearbeitungsverfahren beschränkt, die in Abhängigkeit der eingesetzten Geräte und vor allem der Witterungsbedingungen in der

Wirkungseffizienz sehr wechselnd ausfielen. Mit dem systemischen Herbizid Glyphosat konnte dieses sehr verbreitete und bedeutende Ungras erstmals wirksam auch unter feuchten Bodenbedingungen kontrolliert werden. Im Laufe der Zeit kamen weitere Indikationen mit teilweise deutlich niedrigeren Aufwandmengen hinzu und die Herbizidkosten verringerten sich. Mit dem Auslaufen des Patentschutzes von Glyphosat kamen zahlreiche generische Produkte auch auf den deutschen Markt. Dies hat konkurrenzbedingt zu geringeren Herbizidkosten geführt und damit die Verwendung im Ackerbau befördert. Parallel hierzu steigt der Bedarf an Glyphosat durch die vermehrte Anwendung reduzierter Bodenbearbeitungsverfahren zumeist mit Verzicht auf den Pflug. Auch die Einführung von agrarpolitisch bedingten Flächenstilllegungen in den 1980ziger und 1990ziger Jahren hat die Glyphosatanwendung befördert. Zur Wiederinkulturnahme von Rotations- oder Dauerbracheflächen war die Glyphosatverwendung zumeist obligatorisch. Der bisherige Höhepunkt des Glyphosateinsatzes war im Jahr 2008 mit 7.600 t zu verzeichnen (Abb. 2). Neben dem gestiegenen Einsatz in Mulchsaatverfahren kamen auch vermehrt Sikkationseinsätzen hinzu, die teilweise in Großbetrieben auch für die gezielte Abreifesterung im Getreide genutzt wurde, um den Einsatz der Erntemaschinenflotte zu optimieren. Diese Einsätze sind durch die aktuellen zugelassenen Indikationen nicht gedeckt. Insgesamt spielt der Glyphosateinsatz zur Sikkation in Deutschland nur eine untergeordnete Rolle. Im Zeitraum von 2010 bis 2014 waren dies ca. 2 bis 4 % der Ackerbaufläche (Steinmann et al. 2012, Wiese et al. 2016a). Aktuell dürfte durch die Einschränkung der Zulassung von Glyphosat zur Sikkation die Bedeutung weiter abgenommen haben (<2 %). Die Absatzzahlen von Glyphosat sinken in den letzten Jahren deutlich (Abb. 2). Dennoch bleibt Glyphosat in Deutschland, aber auch weltweit, der mit Abstand am häufigsten eingesetzte herbizide Wirkstoff. Ein Steigen, sofern der Wirkstoff verfügbar bleibt, der eingesetzten Glyphosatmenge in Deutschland scheint zukünftig nicht prinzipiell ausgeschlossen. Witterungs- oder klimaänderungsbedingt und bei veränderten Rahmenbedingungen der pflanzlichen Produktion insgesamt kann sich der Glyphosatbedarf erhöhen.

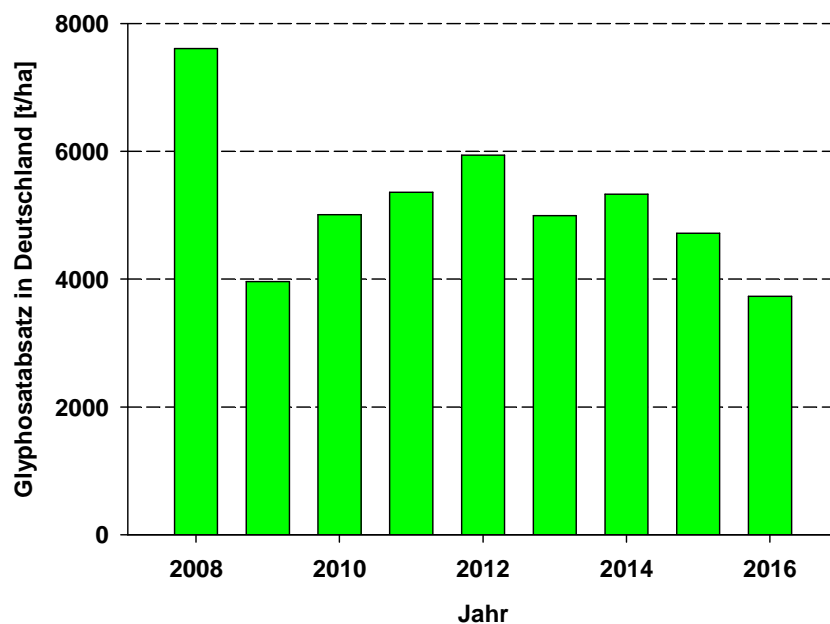


Abb. 2: Entwicklung des Glyphosatabsatzes in Deutschland von 2008 bis 2016 (nach BVL 2017)

### 1.3 Gegenwärtiger Einsatzumfang und Indikationen im Ackerbau

Die aktuellen Indikationen für Glyphosat im deutschen Ackerbau sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Nach der Studie von Steinmann et al. 2012 und Wiese et al. (2016b) sind dabei die wichtigsten Anwendungsgebiete der Einsatz im Teilbranchezeitraum auf der Stoppel (20,7 bis 22,2 % der gesamten Ackerfläche) und zur Aussaatvorbereitung von Mulchsaatverfahren (7 bis 12,7 %). Ziele des Glyphosateinsatzes sind demnach vor allem die Bekämpfung von ausdauernden Unkräutern, Ausfallkulturpflanzen und von Unkräutern sowie Zwischenfrüchten. Der Glyphosateinsatz ersetzt dabei Bodenbearbeitungsschritte in den Anbauverfahren. Dies kann die Stoppelbearbeitung sein oder aber die Grundbodenbearbeitung. In geringen Umfang wird in einigen Betrieben auch die Direktsaat betrieben. Hier ersetzt der Glyphosateinsatz die Bodenbearbeitung komplett. Seit einigen Jahren nimmt die Glyphosatverwendung in den sogenannten Verfahren „falsches Saatbett“ zu. Der Herbizideinsatz erfolgt hier nach der Saatbettbearbeitung vor oder nach der Saat der Kultur, aber vor deren Auflauf. Die Anwendung dieses Verfahrens nimmt hier vor allem im Getreidebau kontinuierlich zu. Der Grund hierfür liegt in den sich stark ausbreitenden Herbizidresistenzen vor allem bei der Unkrautart Ackerfuchsschwanz (*Alopecurus myosuroides*). Dieses Verfahren wird in den betroffenen Regionen auch vom amtlichen Pflanzenschutzdienst empfohlen (Gehring et al. 2012). Insgesamt werden etwa 37 bis 39 % der gesamten Ackerfläche in Deutschland mit Glyphosat jährlich behandelt (Steinmann et al. 2012; Wiese et al. 2016b). Dies kann aber Jahreswitterungsbedingt erheblichen Schwankungen unterliegen, was auch durch Glyphosatabsatzmengen dokumentiert wird (Abb. 2). Etwa 85% der deutschen Ackerbauern setzen Glyphosat ein, allerdings ein großer Teil davon nicht regelmäßig sondern bei Bedarf. Allerdings wird auf 15% konsequent auf einen Glyphosateinsatz verzichtet bzw. wird er nicht als notwendig erachtet (Wiese et al. 2016a). Nach Andert et al. (2016) und Wiese et al. (2016a) steigt die Glyphosateinsatzwahrscheinlichkeit mit Verzicht auf den Pflug, der Betriebsart (mehr im reinen Ackerbau), der Betriebsgröße (je größer desto eher der Einsatz) und dem Arbeitskräftebesatz (je geringe der AK-Besatz desto eher die Glyphosatverwendung).

Tab. 1: Derzeit zugelassene (bzw. genehmigte) und relevante Indikationen von Glyphosat im deutschen Ackerbau (Stand Dezember 2017, BVL), (hervorgehoben sind die flächenmäßig bedeutenden Anwendungen)

- **„Stoppelanwendung“: Nach der Ernte bzw. nach dem Wiederergrünen (in allen Ackerbaukulturen)**
- **Nach der Saat vor dem Auflaufen der Kultur (Ausnahme Raps)**
- **Bis 2 Tage vor der Saat (alle Ackerbaukulturen)**
- „Sikkation“ bzw. zur Unkrautkontrolle zwecks „Ernteerleichterung“ in Gerste, Hafer, Triticale und Weizen (Ausnahme Brau- und Saatgetreide) sowie in Brassica-Arten (Ausnahme Senf) und in Futtererben und Ackerbohnen
- Auf Stilllegungsflächen zur Saatvorbereitung der Folgekultur
- Zur Unkrautkontrolle vor der Ernte (in Lupinen)
- ....

Eine Studie von der Universität Göttingen zum Glyphosateinsatz in Deutschland zeigt erwartungsgemäß, dass kleinere Betriebe und mittelgroße Betriebe mit intensivem Pflugeinsatz kaum Glyphosat einsetzen/benötigen (Wiese et al. 2016a). Sobald die Betriebe

größer werden, bzw. auf den Pflug verzichten, steigt der Glyphosateinsatz. Dies gilt auch schon für mittelgroße Betriebe bei höheren Anteilen von Sommerungen in der Fruchtfolge. Großbetriebe sind aus Rationalisierungsgründen auf Glyphosat angewiesen. Ein Nebenprodukt ist der hohe Anteil von Mulchsaaten in diesen Betrieben.

#### 1.4 Ziele der Studie

Diese Studie zielt auf die Folgen des Glyphosateinsatz im deutschen Ackerbau. Dabei werden die agronomischen Konsequenzen der unterschiedlichen Nutzungsintensität ebenso betrachtet wie die Umweltwirkungen im Agrarökosystem. Eine wesentliche Komponente ist dabei das Einbeziehen von alternativen Anbauverfahren bei teilweisem oder vollständigem Verzicht bzw. Nicht-Verfügbarkeit von Glyphosat. Dies gilt sowohl für die agronomischen als auch die Umweltwirkungen. Daraus abgeleitet wird der Versuch einer gesamtgesellschaftlichen Bewertung der Folgen des Glyphosateinsatzes im Ackerbau bzw. dessen Verzicht unternommen.

## 2 Bedeutung von Glyphosat

### 2.1 Bedeutung von Glyphosat für den modernen und produktiven Ackerbau

#### 2.1.1 Ökonomische Bedeutung auf betrieblicher Ebene

Die ökonomische Bedeutung von Glyphosat auf einzelbetrieblicher Ebene liegt vor allen bei Einsparung von Bodenbearbeitungsgängen. Hier werden Einsparungen in Hinblick auf Arbeitszeit und Kraftstoff sowie an Maschinenkosten erzielt. Die Reduktionen können je Hektar und Jahr in einem Bereich von 0 bis 100 € angegeben werden (Kehlenbeck et al. 2016). Besonders auf größeren Ackerbaubetrieben auf denen die Glyphosatanwendung häufiger erfolgt, kann die regelmäßige Verwendung Einsparungseffekte einer Arbeitskraft oder mehr ausmachen. Dementsprechend kalkulieren Schmitz und Gravert (2012) Deckungsbeitragsverluste im Durchschnitt von Ackerbaubetrieben in verschiedenen Regionen Deutschlands. Während diese vielfach mit bis zu -3% überschaubar ausfallen, wiegen die Verluste in Ostdeutschland mit durchschnittlich -27 und in den Küstengebieten mit kalkulierten -36% deutlich höher. Erklärt werden können diese Unterschiede durch die erhöhten Arbeitserledigungskosten und durch Ertragsrückgänge gerade in Regionen mit wenig ackerbaulichen Alternativen und der zunehmenden Abhängigkeit der Bekämpfung herbizidresistenter Ackerfuchsschwanzbiotypen durch Glyphosat (z. B. in Küstenregionen; siehe Abb. 3 und 4) (Kehlenbeck et al. 2015).

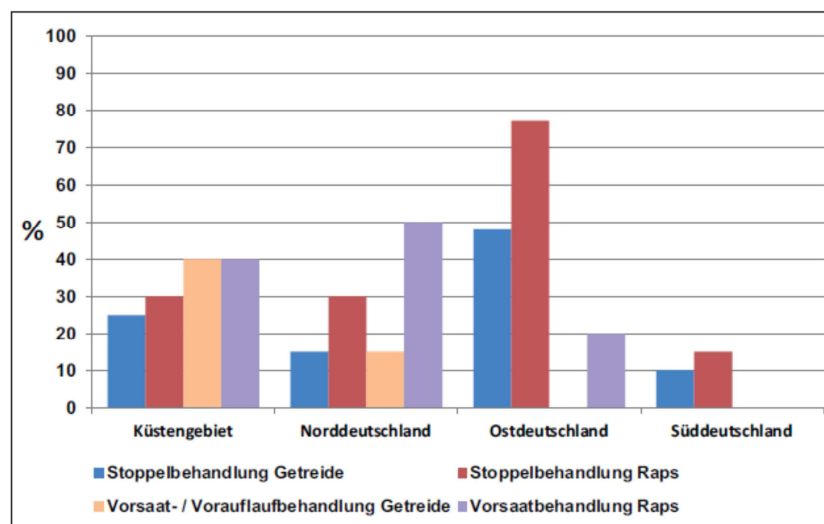


Abb. 3: Anteil der mit Glyphosat behandelten Ackerfläche in den verschiedenen Regionen (differenziert nach Anwendungszeitraum und Kulturart), Schmitz und Gravert (2012)



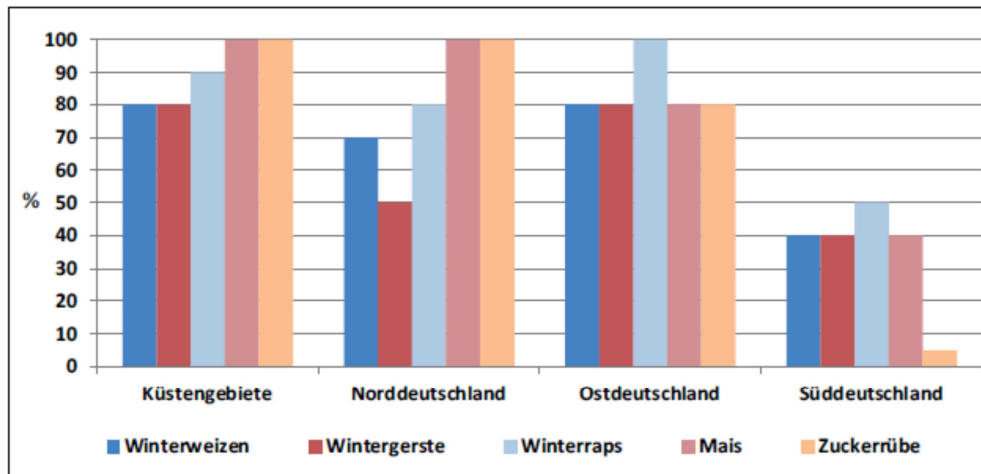


Abb. 4: Anteil der mit Glyphosat behandelten Mulchsaatfläche in den verschiedenen Regionen (differenziert nach Kulturarten), Schmitz und Gravert (2012)

### 2.1.2 Strategien zur Bekämpfung resistenter Unkräuter

In vielen Regionen der Erde wird mit zunehmender Frequenz das Auftreten von glyphosatresistenten Unkräutern beobachtet (Heap 2017). Betroffen sind hiervon insbesondere Regionen mit intensivem und langjährigem Einsatz von transgenen glyphosatresistenten Ackerbaukulturen (Sojabohnen, Raps, Mais, Baumwolle, Zuckerrüben). Andere Funde glyphosatresistenter Unkräuter gehen auf den regelmäßigen Einsatz des Herbizids auf Gleisanlagen oder in ausdauernden Kulturen (Wein, Citrus, Kernobst, usw.) zurück. In Europa sind glyphosatresistente Unkräuter in Ackerbaukulturen noch nicht beschrieben. Allerdings deuten aktuelle Untersuchungen auf mögliche Sensitivitätsverschiebungen in der Glyphosatempfindlichkeit in englischen Ackerfuchsschwanzpopulationen hin (Davies & Neve, 2017). Auf längere Sicht wird ein Auftreten von glyphosatresistenten Unkräutern auch im europäischen Ackerbau erwartet.

In Europa sind aktuelle Herbizidresistenzen bei anderen herbiziden Wirkstoffen im Ackerbau relevant. Daher bietet der Einsatz von Glyphosat teilweise eine Option diese resistenten Unkräuter zu bekämpfen. Dies gilt insbesondere für den Bereich der herbizidresistenten Ungräser. Besonders bedeutend ist hier momentan der Ackerfuchsschwanz, der sich in zunehmendem Maße einer Bekämpfung durch Nachauflaufanwendung von Herbiziden durch Resistenz entzieht. Da sich Glyphosat nicht selektiv in den Kulturen einsetzen lässt, wird die Glyphosatanwendung in Kombination mit ackerbaulichen Strategien verwendet. Die Stoppelbearbeitung zur Förderung des Auflaufes des Ackerfuchsschwanzes mit nachfolgend eingesetzter Glyphosatanwendung zum sicheren Abtöten der Pflanzen (bei Verfahren ohne Pflugeinsatz), wird dabei ebenso verwendet wie das „falsche Saatbettverfahren“. Hier wird die Aussaat einer Kultur vorbereitet, aber zunächst nicht gesät. Vor der eigentlichen Saat wird dann Glyphosat zum Abtöten der aufgelaufenen Pflanzen verwendet. Die Saat erfolgt schließlich mit möglichst wenig Bodenbewegung, um das Anregen der Keimung von weiteren Unkräutern zu minimieren. Wird diese Strategie zudem mit einem späteren Saattermin kombiniert, kann dies zu sehr deutlichem Rückgang der Unkrautdichte führen. Ein Ersatz des Glyphosateinsatzes an dieser Stelle durch Bodenbearbeitung würde den

Bekämpfungserfolg deutlich reduzieren, da ein erneutes Anregen der Unkrautkeimung durch die Bodenbearbeitung erfolgt.

### 2.1.3 Anpassungsstrategien an den Klimawandel (z.B. milde Winter, Wasserhaushalt des Bodens)

Bereits aktuell sind Veränderungen des Klimas spürbar. Mehr extreme Wetterereignisse mit ausgeprägten Trockenphasen, aber auch niederschlagsreichen Perioden, sind ebenso zu beobachten wie längere Vegetationsperioden mit teilweise ausbleibender Vegetationsruhe (milde Winter). Diese Einflüsse werden sich gemäß der Einschätzung der Klimatologen verstärken. Aber bereits aktuell müssen die Ackerbauern mit diesen Veränderungen umgehen. Anpassungen der Anbausysteme sind notwendig. Diese Anpassungen können und müssen unterschiedlich ausfallen. Je nach Region und Witterungsanomalie sind verschiedene Maßnahmen relevant. Beispielsweise müssen nach einem milden Winter Methoden angewendet werden, die einen eigentlich nicht-winterharten Zwischenfruchtbestand beseitigen, bevor die Hauptfrucht bestellt werden kann. Mechanische Maßnahmen und Bodenbearbeitungsgänge sind hier nicht immer zielführend oder ausreichend wirksam. In eigenen Fällen ist der Sinn des eigentlich geplanten Mulchsaatenverfahrens wie beispielsweise der Bodenschutz nicht mehr zu erreichen. In derartigen Situationen ist der Glyphosateinsatz sehr sinnvoll, denn das Herbizid bekämpft auch sicher die großen Zwischenfruchtpflanzen und vermeidet die Einsatznotwendigkeit von Bodenbearbeitungsgeräten.

Sowohl bei Trockenheit als auch bei hohen Niederschlagsmengen bieten Mulchsaaten in Verbindung mit reduzierter Anzahl von Bodenbearbeitungsgängen große Vorteile bei dem Schutz des Bodens (Erosionsvermeidung). Ferner wird durch Mulchsaaten die Bodenfeuchtigkeit durch Reduktion von Evaporationsverlusten konserviert. Dadurch werden trockenheitsbedingten Ertragsverluste verringert. Durch Mulchsaaten werden auch Einträge von Pflanzenschutzmitteln und Düngemitteln durch Runoff oder Bodenabschwemmung in Oberflächengewässer sowie von Nitrateintragen ins Grundwasser vermieden. Diese positiven Effekte werden durch zusätzliche Bodenbearbeitung infolge eines Glyphosatverzichts deutlich minimiert oder gar komplett aufgehoben. Mit anderen Worten: Bei einem Verbot von Glyphosat werden die Anpassungsoptionen der Ackerbauern an den Klimawandel deutlich verringert.

### 2.1.4 Substitution von Bodenbearbeitung bei schwierigen Wetterverhältnissen

Der vom JKI herausgegebene Leitfaden zu den Möglichkeiten der Reduktion des Glyphosateinsatz (Dicke et al., 2017) zeigt auf, dass es an vielen Stellen technisch möglich ist, Glyphosat durch andere Maßnahmen, insbesondere Bodenbearbeitungsgänge bzw. Bodenbearbeitungsverfahren zu ersetzen. Bei „normalen“ Witterungsbedingungen sind die angestrebten Ziele durch geeignete Bodenbearbeitungsgeräte zumeist auch zu erreichen. Die Wirkung dieser Maßnahmen ist aber bei anhaltend feuchten Bodenbedingungen nicht optimal. Bei extremen Niederschlagsverhältnissen (z.B. Sommer/Herbst 2017 in Nordwestdeutschland) ist eine Bodenbearbeitung teilweise gar nicht möglich bzw. die gewünschten Wirkungen treten nicht in vollem Umfang ein. Unter derartigen Situation kann ein Glyphosateinsatz sehr sinnvoll ein, um die Bodenstruktur zu schützen und dennoch eine

Aussaat (z.B. als Direktsaat) möglich zu machen. Nun sind diese extremen Situationen selten, ohne Glyphosat fehlt dann aber generell eine Lösungsmöglichkeit. Ferner ist klimawandelbedingt zukünftig verstärkt mit Extremwittersituationen zu rechnen.

#### 2.1.5 Sicherung der Ernte durch Sikkation

Ein Glyphosateinsatz zur Sikkation ist in mehreren Ackerbaukulturen derzeit zugelassen, jedoch ist in aller Regel im Vergleich zu anderen Regionen der Einsatz in Deutschland nicht notwendig. Allerdings gibt es Situationen, die den Einsatz von Glyphosat notwendig machen, um einen ungleich abgereiften oder stark verunkrauteten Bestand überhaupt erntefähig zu machen. Nach Steinmann et al. (2012) werden auf durchschnittlich etwa 4 % der Ackerfläche überhaupt Sikkationsmaßnahmen notwendig. Eine andere Studie (Wiese et al. 2016b) geht von nur 2,2% aus. Alternativen durch andere Herbizide als Glyphosat existieren im Moment zumeist nicht. Teilweise könnte eine Schwadmahd als alternatives Verfahren die Glyphosatanwendung ersetzen. Unter feuchter Erntewitterung ist dies aber eine risikobehaftete Alternative. Zudem fehlen vielerorts die notwendigen technischen Ausstattungen. Eine Beschaffung entsprechender Technik ist zwar prinzipiell möglich, aber aufgrund der geringen Einsatzhäufigkeit wohl zumeist unwirtschaftlich oder nur bei überbetrieblichem Einsatz rentabel. Ohne Glyphosat ist im Einzelfall die Beerntung einzelner Flächen gefährdet oder aber die Qualität des Erntegutes ist herabgesetzt. Dies mag in Einzelfällen zu deutlichen Verlusten durch Ertragsverluste, zusätzlichen Verfahrenskosten bzw. Trocknungskosten führen.

#### 2.1.6 Gefahr der Selektion glyphosatresistenter Unkräuter

Trotz eines weltweiten Einsatzes des Glyphosats beginnend mit 1974 ist erst 1996 das erste Auftreten eines glyphosatresistenten Unkrautes (*Lolium rigidum*) in Australien beschrieben worden (Powles et al. 1998). Mit der Ausdehnung der gentechnisch veränderten glyphosattoleranten Kulturpflanzensorten wurde dieses Problem auf große Ackerflächen vor allem auf dem amerikanischen Kontinent ausgedehnt. Aktuell tritt Glyphosatresistenz bei 38 Arten auf (Heap 2017). Neben dem Auftreten in glyphosattoleranten Kulturen finden sich auch resistente Unkräuter in ausdauernden Kulturen (Wein, Citrus, Apfel, ...). Im Gegensatz zum Ackerbau finden sich in den perennierenden Kulturen auch glyphosatresistente Unkräuter in Europa. Dies sind dann zumeist *Lolium*- oder *Conyza*-Arten (Weidelgras und Berufkraut). Durch den häufigeren Einsatz von Glyphosat (jährlich bis zweimal jährlich) in den verholzenden Kulturen im Unterstock- bzw. im Zwischenreihenbereich entsteht ein hoher Selektionsdruck, der letztendlich zum verstärkten Auftreten resistenter Unkräuter führt. In der Konsequenz müssen dann weitere Herbizide oder mechanische Maßnahmen in Ergänzung der Glyphosatverwendung eingesetzt werden. Wie bereits beschrieben, ist diese Entwicklung auch für den europäischen Ackerbau denkbar. Insbesondere gefährdet sind hier Direktsaatverfahren mit in der Regel obligatorischem Glyphosateinsatz zur Aussaatvorbereitung und das bereits oben beschriebene Verfahren „falsches Saatbett“. In beiden Verfahren besteht gegenüber anderen Anbausystemen die verstärkte Gefahr der Selektion glyphosatresistenter Unkräuter, da Glyphosat gegenüber einigen Unkräutern das einzig wirksame Herbizid darstellt. Dies gilt in Direktsaatverfahren insbesondere für größere Unkrautindividuen verschiedener Arten, die durch nach der Saat eingesetzte selektive

Herbizide nicht mehr erfasst werden können. Für das „falsche Saatbettverfahren“ gilt dies aktuell für den Ackerfuchsschwanz, da in den extremen Resistenzgebieten das Glyphosat das einzige Herbizid ist, das gegen aufgelaufene Ackerfuchsschwanzpflanzen noch Wirksamkeit entfaltet. Insgesamt kann aber noch die Resistenzgefahr für Glyphosat im Ackerbau als gering eingeschätzt werden, da der Anteil echter Direktsaatverfahren in Deutschland recht gering ist und da die Flächen mit multipel resistenten Ackerfuchsschwanz, die ein „falsches Saatbettverfahren“ bedingen, noch überschaubar sind. Allerdings steigt dieser Flächenanteil kontinuierlich.

## **2.2 Bedeutung von Glyphosat für die Umwelt**

### **2.2.1 Belastung von Umweltkompartimenten durch Glyphosateinträge**

Glyphosat wird relativ rasch an Bodenbestandteile adsorbiert. Der Koc-Wert von 884 bis 50.660 (Anonym 2017) zeigt das hohe Bindungsvermögen von Glyphosat an die organische Substanz des Bodens. Dies führt dazu, dass Glyphosat trotz einer hohen Wasserlöslichkeit von 10,5 g/l, kaum durch Leachingprozesse Richtung Grundwasser verlagert wird. Trotz des hohen, langjährigen Anwendungsumfanges von Glyphosat in Deutschland wird Glyphosat bislang nur im sehr geringen Umfang an Messstellen des oberflächennahen Grundwassers nachgewiesen. So zeigen 2.944 Proben der Jahre 2009 bis 2012 in Deutschland, dass in 2.924 Proben Glyphosat nicht nachgewiesen wurde. Bei 13 Proben lag der Glyphosatwert unter 0,1, in 6 Proben zwischen 0,1 und 1,0 sowie bei einer Proben >1,0 µg/l (Anonym 2016).

Neben dem hohen Koc-Wert kann das geringe Leachingrisiko auch durch einen relativ schnellen Abbau von Glyphosat im Boden erklärt werden. Liegt Glyphosat frei, also nicht gebunden an Bodenpartikel, in der Bodenlösung vor, wird es durch bodenmikrobielle Aktivität abgebaut. Die durchschnittliche Abbaurate von 50% wird dabei innerhalb von 15 Tagen und von 90% innerhalb von 170 Tagen erreicht. Das Herbizid gilt damit im Boden als nicht persistent.

Glyphosat besitzt einen Dampfdruck von 0,0131 mPa (bei 25°C). Mit diesem Wert ist das Herbizid als nicht volatil einzustufen. Die Menge Glyphosat, die über die Gasphase eine behandelte Fläche verlässt und benachbarte oder auch weiter entfernte Fläche belasten könnte, ist damit vernachlässigbar gering. Beobachtete Glyphosatwirkungen auf behandelten Flächen benachbarter Regionen kommen gelegentlich vor, sind aber zumeist durch Abdrift (bei der Ausbringung durch Wind frachtete Spritzbrühtröpfchen) verursacht.

Gelangt Glyphosat in Oberflächengewässer, so kann im Gegensatz zum Verhalten im Boden von einer persistenten Verbindung gesprochen werden. Glyphosat im Wasser gilt als relativ stabil und aufgrund der hohen Wasserlöslichkeit auch als verfügbare Verbindung. Durch direkte Applikation von Wasserläufen, Runoff von behandelten Flächen und durch Punktquellen (z.B. Kläranlagen, Hofabläufe, Oberflächenentwässerung, ..) findet nachweislich eine Belastung von Oberflächengewässern in Deutschland statt. Oberflächengewässermonitoringstudien zeigen teilweise deutliche Belastungen durch Glyphosat auf. Oftmals ist Glyphosat das häufigste oder auch mit der höchsten Konzentration gefundene Pflanzenschutzmittel in Oberflächengewässern. So zeigt ein Bericht der Bund/Länder Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), dass in Deutschland etwa 40% aller untersuchten Oberflächengewässer (bei 500 Messstellen) bei Glyphosat der IAWR

(Internationale Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet) Leitwert von 0,1 µg/l überschritten wurde (Anonym 2016). Dieser Wert ist relevant, wenn aus dem Oberflächengewässer Trinkwasser gewonnen werden soll. Der Glyphosatmetabolit AMPA wird mit 60% in Oberflächengewässern häufiger gefunden als Glyphosat mit 40%. Kurzfristige Überschreitungen des AMPA-Wertes >10 µg/l werden gelegentlich registriert. Allerdings kann AMPA auch aus anderen Quellen stammen, die nichts mit dem Herbizid Glyphosat zu tun haben. Die Untersuchungen zeigen aber deutlich, dass die Glyphosاتفunde und die verstärkten AMPA-Funde mit den Anwendungszeiträumen der Herbizide eng korrelierte.

Untersuchungen von Kläranlageeinläufen deuten darauf hin, dass diese Belastungen zu einem großen Teil von Punktquellen ausgehen. Beispielsweise zeigen Analysen an der Kläranlage Hahnheim (Rheinhessen), dass dort eine Jahresfracht (2010) von 3.085 g Glyphosat in den Vorfluter eingeleitet wurde (Jörg 2012). Diese Menge war in dem intensiv landwirtschaftlich genutzten Gebiet mit mehr als 50% der gesamten nachgewiesenen Pflanzenschutzmittel mit Abstand der höchste Wert einer Einzelsubstanz. Dies bedeutet, dass ein Befüllen und Reinigen von Pflanzenschutzgeräten auf befestigten Flächen aber auch der Einsatz von Glyphosat auf befestigten Flächen (Gleisanlagen, kommunalen Flächen und der illegale private Einsatz auf befestigten Flächen) für einen Teil der Oberflächengewässerbelastung verantwortlich sein dürfte.

## 2.2.2 Auswirkungen auf die Biodiversität im Agrarökosystem

Die Aufgabe eines Herbizids wie jeder anderen Unkrautbekämpfungsmaßnahme ist primär die Ertragssicherung durch Vermeidung von interspezifischen Konkurrenzeffekten durch unerwünschte Pflanzenarten in hohen Dichten. Theoretisch ist dabei die Duldung von geringen Unkrautdichten möglich, weil sie den Ertrag nicht gefährden und auch unter Beachtung von unkrautpopulationsdynamischen Aspekten nicht zu einem langfristigen Anstieg der Unkrautdichten führen. Die meisten Unkrautbekämpfungsverfahren mit oder ohne Glyphosatanwendung sind allerdings hoch effizient und lassen häufig eine geringe Restunkrautdichte übrig. Durch dichte Kulturpflanzenbestände wird zusätzlich verhindert, dass sich diese Restverunkrautung oder ein Neuaufbau von Unkraut in den Kulturen entwickeln kann. So gesehen unterscheidet sich ein Glyphosateinsatz nicht von anderen Herbiziden oder auch effizienten alternativen nicht-chemischen Unkrautbekämpfungsverfahren.

Demgegenüber ist einzuwenden, dass sich der Glyphosat im deutschen Ackerbau auf den Nacherntebereich auf der Stoppel oder im Vorsaats- bzw. Voraufbaubereich konzentriert und damit andere Herbizidanwendungen während der Vegetationszeit der Kulturen nicht ersetzt, sondern der Glyphosateinsatz zusätzlich erfolgt. Somit scheint evident zu sein, dass mehr Herbizideinsätze auf einer Fläche bedeuten müssen, dass weniger Unkräuter auftreten. Dadurch sinkt potentiell oder tatsächlich die Biodiversität im Agrarökosystem. Soweit die theoretischen nachvollziehbaren Überlegungen. Tatsächlich werden bei den Hauptglyphosatindikationen Bodenbearbeitungsmaßnahmen durch den Herbizideinsatz ersetzt. Eine wichtige Frage ist also: Als wie effizient sich die Glyphosatmaßnahmen im Vergleich zu den alternativen Bodenbearbeitungsverfahren erweisen? Die Antwort ist nicht ganz so eindeutig. Ersetzt ein Glyphosateinsatz die Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug, so sind beide Verfahren im Wesentlichen gleich effizient. Fast alle grünen Pflanzen werden

jeweils komplett bekämpft. In der Regel werden die perennierenden Arten durch den Glyphosateinsatz nachhaltiger kontrolliert als durch den Pflug. Für die annuellen Arten gilt dies nicht. Die annuellen Arten können sich nach Anwendung beider Verfahren theoretisch gleich schnell erholen, da Glyphosat und auch der Pflug direkt die Diasporen der Pflanzen im Boden nicht tangiert. Allerdings bekämpft der Pflug die annuellen Arten mit kurzlebigen Samen effizienter als der Glyphosateinsatz. Durch das „Vergraben“ der Samen mit dem Pflug in tiefere Bodenschichten gehen kurzlebige Unkrautsamen zugrunde bevor sie vielleicht im folgenden Jahr durch den erneuten Pflugeinsatz wieder in die Nähe der Oberfläche verbracht werden können. Dieser Effekt führt dazu, dass trotz vermehrten Herbizideinsatz in konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren die Unkrautdichte häufig höher ist als bei gleichen Fruchtfolgen mit regelmäßigem Pflugeinsatz. Allerdings verändert sich teilweise auch die Unkrautartenzusammensetzung bei langfristigen Veränderungen der Grundbodenbearbeitung. Unter anderem geschieht dies eben deswegen, weil in konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren die Arten mit kurzlebigen Unkrautsamen oder/und Samen, die nur von der Bodenoberfläche keimen, bevorteilt sind.

Ersetzt die Glyphosatanwendung einen oder gar mehrere Stoppelbearbeitungsgänge, entscheiden häufig die Termine und Häufigkeit der Maßnahmen sowie die Bodenfeuchte darüber, ob der Glyposateinsatz oder die Bodenbearbeitung effizienter in der Unkrautkontrolle ist. Alle Ergebnisse sind denkbar und kommen auch vor, zumal häufig Stoppelbearbeitungsgänge und der Glyphosateinsatz kombiniert werden. Zwar ist ein Glyphosateinsatz in der Regel hoch effizient, und nur wenige Unkräuter sind in der Lage zu überleben, jedoch können sich Unkräuter auf der Stoppel bis zur Glyphosatanwendung entwickeln. Dies gilt insbesondere dann, wenn zuvor kein oder nur ein Stoppelbearbeitungsgang durchgeführt wurde. Unkräuter haben dann im Gegensatz zu mehrfach durchgeführter Stoppelbearbeitung je nach Art und verbleibendem Zeitraum die Möglichkeit sich zu entwickeln und je nach Art auch zur Blüte oder gar Samenbildung zu gelangen. Damit können Organismen höherer tropischer Ebenen temporär, teilweise auch längerfristig von der Verunkrautung auf der Stoppel profitieren. Hinzu kommen Effekte durch die Bodenruhe und den Verbleib von Unkrautsamen auf der Bodenoberfläche durch unterlassene Stoppelbearbeitung, von denen zahlreiche Organismen profitieren können.

Glyphosat wird im stärkeren Maße in größeren Ackerbaubetrieben verwendet. Häufig wird unterstellt, dass in größeren Ackerbaubetrieben eine geringere Fruchtartendiversifizierung zu finden ist, als in kleineren Betrieben. Wenn man davon ausgeht, dass mit weniger Kulturarten in einem Betrieb tendenziell die Agrarbioidiversität sinkt, so könnte ein Zusammenhang zwischen Glyphosatverwendung und Diversität zu finden sein. Allerdings zeigt die Studie von Weise et al. (2016c), dass in größeren Betrieb zwar mehr Glyphosat verwendet wird, aber die Kulturpflanzenvielfalt durchschnittlich größer ausfällt als in kleineren Betrieben.

In der Summe zeigen zahlreiche Studien, dass Anbausysteme mit konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren, die in der Regel bzw. häufig einen Glyphosateinsatz beinhalten, eine stärkere Verunkrautung aufweisen als Anbauverfahren mit intensiver Bodenbearbeitung. Der vorhandene Rückgang in der Vielfalt der Ackerunkrautarten, der vor allem in den 1970 und 1980ziger Jahren beobachtet wurde (Gerhards et al. 2011), ist demnach weniger bzw. kaum auf den Glyphosateinsatz zurückzuführen. Die Ursachen für den deutlichen Artenrückgang ist vielmehr an den deutlichen Veränderungen der Anbauverfahren (dichte Kulturpflanzenbestände, Vereinheitlichung der

Standortbedingungen, Verringerung der Kulturartenvielfalt, ...) festzumachen. Die geringe Relevanz von Glyphosat im Artenrückgang der Ackerunkrautflora wird auch dadurch dokumentiert, dass der Rückgang der Unkrautartenzahlen im Wesentlichen vor der Markteinführung bzw. vor dem Erreichen eines relevanten Einsatzumfanges von Glyphosat in Deutschland stattgefunden hat. Die zuvor beschriebenen positiven Glyphosateffekte (Anstieg der Verunkrautung durch konservierende Bodenbearbeitungsverfahren) fallen allerdings eine Dimension kleiner aus als der Artenrückgang, bedingt durch die Intensivierung der 1970ziger Jahre. Mit Ausnahme der Zurückdrängung ausdauernder Arten wie Quecke und Ackerkratzdistel, ohne jedoch diese Arten zu gefährden, kann kein Beleg dafür gefunden werden, dass ein Artenrückgang beider Ackerunkräuter im funktionellen Zusammenhang mit dem Glyphosateinsatz steht. Diese Hypothese wird durch den Übersichtsartikel von Sullivan & Sullivan (2003) unterstützt. Sie finden keine negativen Effekte von Glyphosatanwendungen auf die Vielfalt von Pflanzen und Tieren (sowohl Individuendichte als auch Artenvielfalt) in terrestrischen Agrarökosystemen.

Bei geringen Dosierungen von Glyphosat (wie sie eventuell durch Abdrift am Feldrand auftreten können) sind bei Pflanzen teilweise stimulierende (= wachstumsfördernde) Effekte (= Hormesis) beschrieben worden (Duke et al. 2006). Ob diese Effekte im Freiland auftreten und eine Relevanz besitzen indem die Arten unterschiedlich reagieren und sich so Unterschiede im Konkurrenzverhalten ergeben, die sich letztendlich auf die Lebensgemeinschaften am Feldrand auswirken, ist nach dem derzeitigen Stand des Wissen nicht zu klären. Denkbar wären derartige Effekte aber durchaus.

Ferner ist anzumerken, dass unter „extremere“ Anbaubedingungen (z.B. niedrige pH-Werte im Boden, oder/und kurze Vegetationszeiten – Nordeuropa) sich die Verhältnisse für den Glyphosatabbau und –verteilung in der Umwelt durchaus gravierend verändern können. In einem „Opinionpaper“ geben Helander et al. (2012) einen Überblick über mögliche sensible Punkte, bei denen sich das andere Umweltverhalten von Glyphosat möglicherweise im Agrarökosystem stärker bemerkbar macht, als das unter gewöhnlichen mitteleuropäischen Anbaubedingungen zu erwarten wäre. Das Papier deutet zudem an, dass es möglicherweise unter bestimmten Bedingungen aber auch zu Effekten kommen kann, die bislang zu wenig Beachtung fanden, aber dennoch agrarökologische Relevanz besitzen könnten. Angesprochen werden beispielhaft die Auswirkungen von Glyphosat auf Bodenmikroorganismen. Insbesondere Bakterien verfügen über den Shikimatstoffwechselweg, der durch Glyphosat blockiert wird. Daher sind Nebenwirkungen auf Bodenmikroorganismen durchaus denkbar. Demgegenüber zeigen Studien von Malkomes (2007), dass von Glyphosat im Vergleich zu anderen Herbiziden eher geringe (temporäre) Effekte auf die Bodenmikroorganismen zu erwarten sind, die kurz nach der Applikation wieder auf das Ausgangsniveau zurückfinden. Erklärbar sind diese scheinbar widersprüchlichen Befunde durch die Adsorption vorrangig an die organische Substanz der Ackerböden und den raschen Abbau. Durch Adsorption und durch Abbau steht Glyphosat bei normalen mitteleuropäischen Ackerbodenbedingungen nicht im größeren Umfang für eine Wirkung auf die Bodenmikroorganismen zur Verfügung. Bei niedrigen Gehalten von organischer Substanz und bei niedrigen pH-Werten kann sich das ändern.

### 2.2.3 Verbesserung der Anbauverfahren durch Glyphosatverwendung

Der Einsatz von Glyphosat ermöglicht die Verbesserung von Anbauverfahren bzw. die potentielle Einsatzmöglichkeit von Glyphosat bei Bedarf sichert die Nachhaltigkeit dieser Verfahren. Dies beruht zu einem Teil darauf, dass Glyphosat ganz oder zumindest teilweise Bodenbearbeitungsgänge ersetzt. Damit wird nicht nur das Bodenleben (z.B. Regenwurmdichte) gefördert, sondern auch der Boden vor Verschlammung und Erosion sowie Gewässer vor Nährstoff- und Pflanzenschutzinträgen geschützt. Durch eine Reduktion der Bodenbearbeitungsgänge und eine Verminderung der Bearbeitungsintensität (geringere Tiefe bzw. Verzicht auf wendende Bearbeitung) und durch den Einsatz von Zwischenfrüchten in Kombination mit reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren werden diese Effekte erreicht. Glyphosat unterstützt diese Verfahren insofern, als größere Unkräuter, die vor der Saat einer neuen Hauptkultur aufgelaufen sind oder unter einer Zwischenfrucht überlebt haben, sicher bekämpft werden, ohne die Saat oder das Wachstum der nachfolgenden Frucht zu stören. Nach dem Auflaufen einer Kulturart ist diese „Altverunkrautung“ zumeist nur schwer zu bekämpfen. Zwar zeigen viele Untersuchungen, dass Mulchsaaten auch ohne Glyphosat gelingen können. Dies kann beispielsweise durch einen sehr konkurrenzkräftigen Zwischenfruchtbestand, der alle Unkräuter wirksam unterdrückt geschehen. Oder aber in manchen Fällen ist die Restverunkrautung so gering, dass selektive Herbizide oder andere Verfahren nach Auflauf der Kultur ausreichend wirksam sind (Gehring 2017). Jedoch ist dies nicht immer gewährleistet. In einigen Maisanbauverfahren (Direktsaat, Strip Till Verfahren) ist der Glyphosateinsatz essentiell (Gehring 2017). In anderen Kulturen sind die selektiven Herbizide zu schwach (z.B. in Leguminosen, Zuckerrüben) oder aber die Zwischenfrucht entwickelt eine nicht so starke Konkurrenzkraft. In diesen Fällen sichert der Glyphosateinsatz das bodenkonservierende Anbauverfahren. Die Alternative wäre, vor der Aussaat der Kultur den Boden zu pflügen, um Probleme mit der Altverunkrautung zu vermeiden, oder aber gleich ganz auf das konservierende Verfahren zu verzichten. In beiden Fällen fallen die oben beschriebenen positiven Wirkungen auf den Boden- und Umweltschutz kleiner bzw. ganz aus. Die Option, bei Bedarf Glyphosat in konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren einsetzen zu können, sichert die Akzeptanz dieser Verfahren bei den Anwendern und damit insgesamt deren hohen Einsatzumfang. Gleichwohl ist sicher auch richtig, dass die Optionen Glyphosatanwendungen in konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren aufgrund der aktuellen Verunkrautungssituation oder vorhandener Bekämpfungs- bzw. Verfahrensalternativen einzusparen, momentan nicht voll umfänglich genutzt werden.

Eine weitere wichtige Option ist der Einsatz von Untersaaten zur Weiterentwicklung von Anbauverfahren bzw. zur Anpassung an den Klimawandel. In trockenen Regionen ist dabei die Einsaat von Rotschwingel in den Mais eine wassersparende Variante, die aber nach der Maisernte zumeist mit Glyphosat reguliert werden muss, da andere Herbizide unwirksam sind bzw. wendende Bodenbearbeitungsverfahren in diesen Regionen kaum in Frage kommen (Steinert 2017). Ähnliche Erfahrungen machen Wolber et al. (2016) mit der Regulierung von Rotschwingel bei Streifenfrässaaten von Mais. Selektive Herbizide reichten für eine Regulierung nicht aus. Der Einsatz von Glyphosat war die einzige Option.

#### 2.2.3.1 Wirkung auf den Nährstoffhaushalt in Agrarökosystemen (ins. N und P)

Durch die Möglichkeit des Glyphosateinsatzes steigt die Akzeptanz der Anwendung von Mulchsaatenverfahren. Insbesondere bei Verwendung von Anbauverfahren mit Zwischenfrüchten besteht die Möglichkeit Nährstoffe insbesondere Stickstoff in dem



Zwischenfruchtbestand temporär zu binden und damit Nitratverlagerung Richtung Grundwasser in den Wintermonaten zu verhindern. Das Glyphosat ist insofern hier relevant, um das Vegetationsmanagement (Kontrolle des Zwischenfruchtbestandes und Bekämpfung der Restverunkrautung) zu optimieren. Ohne die Regulierungsmöglichkeit verbleiben mechanische Maßnahmen, die in vielen Fällen nicht ausreichend sein werden, oder / und die Bodenschutzeffekte reduzieren. Dass Zwischenfruchtbestände in der Lage sind, erhebliche Mengen an Stickstoff im Herbst aufzunehmen und damit den  $N_{\min}$ -Gehalt deutlich vermindern ist sehr gut beschrieben. Beispielsweise können Zwischenfrüchte vor Zuckerrüben in Norddeutschland den  $N_{\min}$ -Gehalt vor Winter im Mittel um 61 kg/ha senken (Spanne -4 bis -122 kg/ha  $N_{\min}$ ) (Koch et al. 2017). Diese Effekte können durch Anbau winterharter Zwischenfrüchte noch verstärkt bzw. im Frühjahr im Vergleich zu nicht winterharten Arten verlängert werden und somit den Grundwasserschutz noch weiter optimieren. Zur Regulierung winterharter Zwischenfrüchte ist zumeist ein Glyphosateinsatz unerlässlich.

Mit Mulchsaaten (Strohmulch oder Zwischenfruchtmulch) wird der Bodenerosion wirksam entgegengewirkt. Jeder Bodenbearbeitungsgang der durch einen Glyphosateinsatz eingespart werden kann, verringert die Erosionsgefahr deutlich. Wird der abgetragene Boden in Oberflächengewässer verfrachtet, steigen dadurch die Nährstoffgehalte im Wasser. Da insbesondere Phosphat bodengebunden mit Erosionsvorgängen eingetragen wird und Phosphat im Wasser in der Regel als wuchslimitierend gilt, ist die Eutrophierungsgefahr groß. Da wie zuvor beschrieben die Akzeptanz zur Anwendung von Mulchsaatverfahren stark von der Glyphosatverfügbarkeit abhängt, bzw. bei alternativen Verfahren die Erosionsgefahr steigt, würde die Eutrophierungsgefahr bei einem Glyphosatverbot deutlich zunehmen. Tabelle 2 zeigt die Reduktion von N- und P-Austrägen aus landwirtschaftlichen Flächen mit unterschiedlichen Bodenbearbeitungsverfahren an zwei Standorten in Sachsen.

Tab. 2: Stofffrachten (kg/ha) im Oberflächenabfluss an zwei Standorten im Vergleich verschiedener Bodenbearbeitungssysteme in Sachsen (nach Machulla et al. 2007)

Bodenbearbeitung	Jahr	Bodenabtrag			Oberflächenabfluss		Summe	
		Humus	N	P	N	P	N	P
Pflug	2000	123	8,0	3,4	1,3	0,1	9,4	3,5
	2006	71	5,2	1,5	2,0	0,0	7,2	1,5
Mulchsaat	2000	69	4,6	1,7	1,0	0,1	5,6	1,8
	2006	19	1,3	0,2	0,1	0,0	1,4	0,2
Direktsaat	2000	4	0,3	0,1	0,4	0,0	0,6	0,1
	2006	14	1,0	0,2	0,1	0,0	1,1	0,2

Besonders bedeutend sind die zuvor beschriebenen Effekte in erosionsgefährdeten Lagen sowie in Gebieten mit hohen Anteilen organischer Düngung. Durch die aktuellen Änderungen im Fachrecht (Düngeverordnung) stehen zudem notwendige Anpassungen in Dünge- und Anbausystemen an. Beispielsweise müssen Gülle und Gärreste unmittelbar bei der Ausbringung eingearbeitet werden. Mulchsaaten in Kombination mit Streifenbodenbearbeitung und mit Unterfußgülle einbringung sind hier interessante Optionen, um Ammoniakemissionen zu vermindern und dennoch bodenschonend zu arbeiten. Für das sichere Gelingen derartiger Anbauverfahren ist die Glyphosatverfügbarkeit eine bedeutende Voraussetzung.

Allerdings sollte an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass mit einem Glyphosateinsatz die Nitratkonzentrationen im Boden vor Winter auch steigen können. Dies gilt insbesondere beim Einsatz im zeitigen Herbst und dem Vorhandensein üppiger Pflanzenaufwüchse. Dies ist häufig beim Einsatz auf der Rapsstoppel zu beobachten. Eigene Untersuchungen des Nitratgehaltes im Boden nach Raps in nachgebauten Winterweizen zu Vegetationsbeginn im Herbst zeigten sehr hohe Nitratwerte, die allerdings bei Verfahren mit dreimaliger Stoppelbearbeitung ohne Glyphosateinsatz vergleichsweise hoch ausfielen (Petersen, 2013; Abb. 5). Es ist also sehr vom Einsatzzeitpunkt, aber auch von Pflanzenart und Pflanzenmasse abhängig, ob die Wirkungen eines Glyphosateinsatzes bezogen auf den N-Haushalt sich positiv oder negativ auf die Umwelt auswirken.

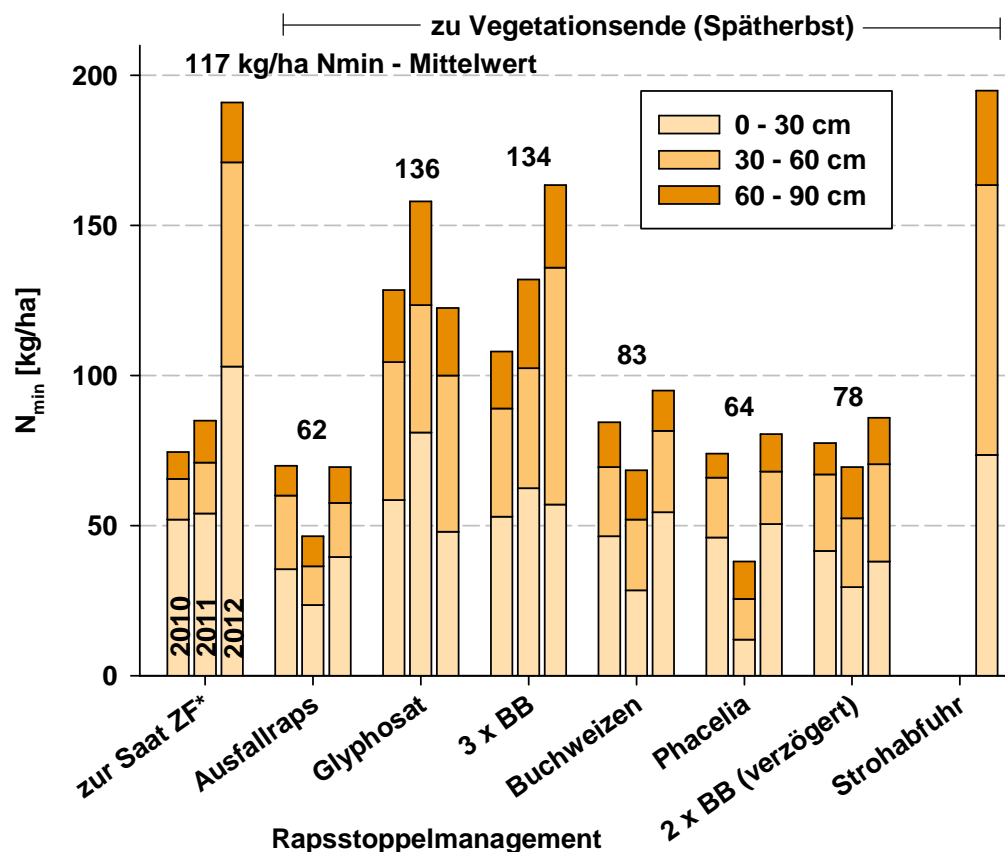


Abb. 5: N<sub>min</sub>-Gehalte im Boden zur Aussaat der \*Zwischenfrüchte (ZF) auf Rapsstoppeln und zu Vegetationsende im Spätherbst in Abhängigkeit des Rapsstoppelmanagements (BB-Bodenbearbeitungsgang; Bingen 2010 bis 2012)

### 2.2.3.2 Wirkungen auf den Bodenschutz

Über die Erosions- und Verschlammungsminderung durch Mulchsaaten wurde bereits im vorherigen Kapitel berichtet. Mit den Mulchsaaten wird aber auch die mechanische Belastungsfähigkeit der Böden gegenüber wendenden Bodenbearbeitungssystemen verbessert. Gleiches gilt für das Bodenleben. Insbesondere die Regenwurmpopulationen profitieren nachweislich. In Mulch- und Direktsaatverfahren sind trotz Glyphosateinsatzes deutlich mehr Regenwürmer zu finden als bei regelmäßigem Pflugeinsatz ohne Glyphosatverwendung.

### 2.2.3.3 Limnologische Wirkungen

Von der Hypothese ausgehend, dass eine Glyphosatverfügbarkeit den Anteil an Mulchsaaten deutlich steigert und die Mulchsaateffekte verbessert, wenn die ansonsten zu intensivierende Bodenbearbeitung unterbleibt, nimmt die Gewässerqualität deutlich zu. Begründet werden kann dies mit einer deutlichen Reduktion des Bodenpartikel-, Nährstoff- und auch Pflanzenschutzmitteleintrages. Einzige Ausnahme ist dabei das Glyphosat selbst, das mit verstärkter Anwendung gerade in erosionsgefährdeten Gebieten potentiell in Oberflächengewässer gelangen kann. Allerdings zeigen die Versuche von Machulla et al. (2007), dass nach Glyphosatanwendung auf einer gepflügten Fläche 10x mehr Glyphosat ausgetragen wird (4,52 mg/m<sup>2</sup>) als unter ansonsten gleichen Bedingungen von einer Direktsaatfläche (0,42 mg/m<sup>2</sup>). Dies bedeutet, dass trotz Mehranwendungen von Pflanzenschutzmittel (inkl. Herbiziden und Glyphosat) auf Flächen mit konservierenden Bodenbearbeitungssystemen nicht mehr Pflanzenschutzmittel ausgetragen werden, sondern aufgrund der höheren Infiltrationsraten eher deutlich weniger. In der Summe der Einträge sollte sich die Entlastung bei den Einträgen auch positiv auf die Gewässerlebensgemeinschaften auswirken. Eine direkte Wirkung von Glyphosatkonzentrationen auf Gewässerorganismen ist potentiell möglich, jedoch sind die gemessenen Werte von Oberflächengewässermonitoring in aller Regel deutlich unterhalb der ökotoxikologisch relevanten Werte von akuter und zumeist auch chronischer Toxizität der Indikatororganismen (siehe Anhang Tab. 1 und 2). So wird der aktuell diskutierte ökotoxikologische Wert von 28 µg/l (UQN-Umweltqualitätsnorm) in keinem Fall in den 500 Messstellen des Glyphosatoberflächengewässermonitorings erreicht (Anonym 2016). Selbst kurzfristige, selten nachgewiesene, höhere Belastungen von 5,7 µg/l (max. festgestellter Wert im Oberflächengewässermonitoring) führen zu keinen Schäden in der Gewässerflora und -fauna.

Gelangen aber doch höhere Mengen von Glyphosat in Oberflächengewässer, beispielsweise durch Havarie oder Frevel, so zeigen Untersuchungen von Relyea (2005), dass es ökotoxikologische Wirkungen zumindest durch einige formulierte Glyphosatprodukte geben könnte. Anders verhält es sich mit eingetragenen Nährstoff- und Bodenmengen infolge erosiver Niederschlagsereignisse. Lassen sich diese durch Mulchsaaten verhindern oder zumindest deutlich abmildern, werden die Auswirkungen für die Gewässerlebensgemeinschaften signifikant vermindert.

### 2.2.3.4 Wirkungen auf die Atmosphäre

Die Volatilität des Wirkstoffes Glyphosat ist äußerst gering. Eine Belastung der Luft und ein Transport des Wirkstoffs Glyphosat via Atmosphäre sind kaum zu erwarten. Auf der anderen Seite vermindern Mulchsaatverfahren auch die Winderosionsvorgänge. Entsprechend kann die Staubbelastung in gefährdeten Gebieten reduziert werden. Ein ähnlich indirekter Effekt gilt bei der Anwendung von Streifenbodenbearbeitung mit integrierter Bandinjektion von Gülle in den Boden. In der Folge können die Ammoniakemissionen in die Atmosphäre deutlich gesenkt werden.

Eine Entlassung der Atmosphäre wird auch dann erreicht, wenn der Glyphosateinsatz die ansonsten notwendigen Einsätze volatiler Herbizide bedingt. Ein quantitativ relevantes Beispiel wäre die Substitution von MCPA im Getreide zur Ackerkratzdistelbekämpfung. Wird

die Ackerkratzdistel durch eine Glyphosateinsatz auf der Stoppel erfolgreich reguliert, kann der meist zusätzliche Herbizideinsatz von MCPA im Frühjahr entfallen. MCPA ist eine durchaus volatile Verbindung (in Abhängigkeit der Formulierung), die auch zu Einträgen des Mittels außerhalb der behandelten Zielfläche führen kann. In der Summe dürften die hier beschriebenen Effekte nicht besonders ins Gewicht fallen, da nicht jede MCPA-Anwendung durch Glyphosat ersetzt werden kann und weil nicht jede MCPA-Anwendung eine signifikante Belastung der Atmosphäre auslöst. Regional bzw. lokal können derartige Effekte aber durchaus auftreten.

#### 2.2.4 Be- und Entlastung von Treibhausgasbilanzen der pflanzlichen Produktion durch den Glyphosateinsatz

Die Hauptfaktoren, die die Treibhausgasbilanzen der pflanzlichen Produktion belasten sind, vor allem die energieintensive Produktion von synthetischen Stickstoffdüngemitteln, der fossile Treibstoffbedarf für die Bodenbearbeitung, Saat, Pflege und Ernte sowie der Transport der Erntegüter. Die Hauptvariable ist hierbei der Treibstoffbedarf für die Bodenbearbeitung. Für die anderen Verfahrensgänge ist der Treibstoffbedarf recht gering (Pflegearbeiten, geringer Leistungsbedarf) oder recht konstant hoch (Ernte, geerntet werden muss unabhängig vom Grundbodenbearbeitungssystem immer). Eine weitere wichtige Komponente sind die Lachgasemissionen. Das  $N_2O$  wird aus Nitrat vor allem im Herbst/Winter bei reduktiven Bedingungen im Boden durch Denitrifikationsprozesse gebildet. Damit wird deutlich, welche indirekten Wirkungen das Glyphosat auf die Treibhausgasbilanz nehmen kann. Glyphosat kann helfen, Bodenbearbeitungsverfahren einzusparen. Weniger Stoppelbearbeitungsgänge, eine Reduktion der Grundbodenbearbeitung (z.B. Pflugverzicht) können zu deutlichen Einsparungen im Dieserverbrauch (-15 bis -20 l/ha) führen. Auf etwa 4,5 Mio. Hektar werden in Deutschland Mulchsaaten durchgeführt. Wird unterstellt, dass beim einem Glyphosatverbot 2/3 der Landwirte bei Mulchsaaten bleiben, aber dann ein zusätzlicher Bodenbearbeitungsgang notwendig wird, dann bedeutet dies etwa 140.000 t zusätzliche  $CO_2$  Emissionen durch den Mehrdieserverbrauch. Ferner würde etwa 1/3 der Mulchsaatlandwirte zum Pflug zurückkehren, so dass weitere  $CO_2$ -Emissionen von 120.000 t pro Jahr entstehen würden.

Noch relevanter dürften in der Regel die Veränderungen im Stickstoffhaushalt für die Treibhausgasbilanz sein. Wird der Bodennitratgehalt im Herbst/Winter durch den Anbau einer Zwischenfrucht signifikant vermindert, so sinken die  $N_2O$  Emissionen entsprechend. Ferner braucht der so in der Zwischenfrucht konservierte Stickstoff nicht in der nachfolgenden Frucht gedüngt zu werden, was die Treibhausgasbilanz aufgrund der eingesparten Energieaufwendungen für die Düngemittelproduktion nochmals entlastet. Etwa 2 Mio. Hektar werden jährlich in Deutschland mit Zwischenfrüchten bestellt. Geht man davon aus, dass etwa 30 kg Stickstoff pro Hektar so vor Auswaschung im Winter geschützt werden können, die nicht im Frühjahr durch Düngung ersetzt werden müssen, so werden jährlich 60.000 t N-Dünger eingespart. Verzichten bei einem Glyphosatverbot zukünftig 1/3 der Landwirte auf Zwischenfrüchte, so würden zusätzlich ca. 20.000 t N-Dünger im Jahr zusätzlich benötigt. Dies führt zu zusätzlichen 200.000 t  $CO_2$  Emissionen für die N-Düngerproduktion. Ferner kommen  $N_2O$  Emissionen hinzu. Deren Emissionshöhe ist u.a. linear abhängig vom Nitratgehalt über Winter im Boden (Ruser et al. 2001). Geht man von einer Nitratreduktion im Boden um 60 kg/ha N durch eine Zwischenfrucht aus, so können 2 kg  $N_2O$  Emission je ha eingespart werden. Dies bedeutet, dass  $CO_2$  Äquivalent von 422.000 t

bei Erhalt eines Drittels der Zwischenfruchtanbaufläche durch Glyphosatverfügbarkeit eingespart werden kann. Negativ hingegen kann die in der Regel höhere Bodenlagerungsdichte in Mulchsaaten wirken. Bei höheren Lagerungsdichten könnten längere reduktive Phasen im Boden auftreten, die Denitrifikationseffekte potentiell erhöht.

Eine zusätzliche Emission von jährlich ca. 880.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalent durch Glyphosatverzicht im deutschen Ackerbau scheint aufgrund der vorangestellten Überlegungen als durchaus realistische Schätzung. Hinzu kämen die Effekte durch notwendige indirekte Landnutzungsänderungseffekte, um die entstehenden Ertragsverluste auszugleichen. Damit würden die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der deutschen Landwirtschaft bei einem Glyphosatverzicht um ca. 1% steigen.

## 2.3 Bedeutung von Glyphosat für die Gesellschaft

### 2.3.1 Volkswirtschaftliche Bedeutung der Glyphosatverwendung

Nach Schätzungen von Steinmann et al. (2012) wird durch den Glyphosateinsatz in Deutschland in Abhängigkeit der Herbizidkosten ein jährlicher volkswirtschaftlicher Nutzen zwischen 79 und 202 Mio. € generiert. Hierbei sind die einzelbetrieblichen Einsparungen in der Bodenbewirtschaftung und die erzielten Mehrerträge aufsummiert. Sehr schwer ökonomisch zu kalkulieren sind die Kosteneinsparungen aufgrund vermiedener Umweltschäden bei Anbauverfahren mit Glyphosatverwendung (siehe folgendes Kapitel). Hier dürfte ein Mehrfaches der oben genannten Summe zu Stande kommen. Beispiele für diese eingesparten externen Kosten wären:

- geringere Aufwendungen für das Erreichen der Trinkwasserqualitätsnormen der Trinkwasserverordnung (<50 mg/l Nitrat und <0,1 µg/l Pflanzenschutzmittelwirkstoff)
- Direkte Schäden durch Bodenabtrag von Ackerflächen (Straßenverkehr/Unfälle, Wege, Gebäude, Gräben, ...)
- Langfristige Schäden durch Erosion – nachlassende Ertragsfähigkeit der Böden
- Schäden durch höhere Treibhausgasemissionen aus dem Pflanzenbau (bzw. vermehrte Kosten zur CO<sub>2</sub>-Vermeidung an anderer Stelle zwecks Kompensation)
- Umweltschäden durch Boden-, Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleintrag in Oberflächengewässer
- Vermehrte Flächeninanspruchnahme zum Ausgleich der Ertragsverluste (z.B. durch nicht mögliche Sikkation, Ertragsverluste durch Unkräuter, Ertragsverluste durch mangelnde Anpassungsfähigkeit an veränderte Rahmenbedingung der pflanzlichen Produktion, Beispiel Klimawandel)
- (Nicht dem Ackerbau verbunden: Glyphosat wird intensiv auf Bahngleisen eingesetzt; muss Glyphosat hier durch andere Verfahren ersetzt werden, ist mit steigenden Kosten zu rechnen).

Dem gegenüber stehen die Kosten bzw. Folgekosten der Glyphosatverwendung. Auch diese sind kaum seriös genauer finanziell abzuschätzen. Aber zu nennen wären hier folgende Punkte:

- Erhöhte Rohstoffeffassungskosten in Produktionsprogrammen, die auf Glyphosat verzichten (nicht relevant für den ökologischen Landbau; insgesamt aufgrund des

geringen Anwendungsumfanges entsprechender Programme momentan kaum relevant)

- Kosten durch Fehlbehandlungen und Abdriftschäden; hier werden sicherlich jährlich recht konkrete Schäden verursacht, die sich auch beziffern ließen, jedoch sind die Zahlen nicht öffentlich zugänglich. Häufig werden diese Schäden durch die Betriebshaftpflichtversicherung getragen. Eine Größenordnung von >1 Mio. €/a sind kaum realistisch. Dies würde etwa 1.000 ha Fläche mit jeweils 1.000 €/ha Entschädigungssumme entsprechen.
- Umweltschäden durch Glyphosat, hier blieben potentielle Folgen durch Glyphosat im Oberflächengewässer und Folgekosten für einen Biodiversitätsverlust; diese potentiellen Schäden sind aber nicht zu beziffern bzw. kaum allein ursächlich dem Glyphosat anzulasten (s.u.).

Die Studie von Schmitz und Gravert (2012) schätzt die durchschnittlichen Ertragsverluste in der EU 27 bei einem Glyphosatverbot je nach Kulturart zwischen -4,3 bis -7,1%. Diese Rückgänge würden die EU von einem Nettoexporteur von Weizen und Futtergetreide zu einem Nettoimporteur machen sowie die Abhängigkeit von Mais und Ölsaatenimporten deutlich vergrößern. Dadurch entstehen der EU Wohlfahrtsverluste von 1,4 Milliarden US-\$ im Jahr.

### 2.3.2 Umwelteffekte durch Glyphosat (externe Kosten/Nutzen)

Zu den potentiellen Schäden durch Glyphosat, die externe Kosten verursachen, ist wenig Handfestes bekannt. Die nachweislichen Funde von Glyphosat in Oberflächengewässern führen aufgrund der geringen Konzentrationen kaum zu ökotoxikologisch bedingten Folgen. Eine direkte Verringerung der Biodiversität in Agrarökosystemen durch Glyphosat ist ebenfalls nicht nachweisbar. Die gelegentlich sichtbaren Schäden nach Glyphosateinsatz an Feldrändern durch Abdrift bei der Applikation oder durch Applikationsungenauigkeiten kommen vor und sind teilweise auch deutlich über Wochen und Monate sichtbar. Besonders nachhaltig sind diese Schäden an verholzenden Gewächsen. Hier sind im Gegensatz zu den krautigen Pflanzen Wiedererholungseffekte nicht vollständig bzw. die Schäden sind zumeist im Folgejahr nach Wiederaustrieb immer noch sichtbar. Es ist sehr schwer, eine Abschätzung zu treffen, wie groß die betroffene Fläche ist und welcher Schaden dadurch erzeugt wird. Bei Beachtung der Anwendungsbestimmungen und bei exakter Applikation treten diese Schäden nicht auf. Dies gilt für den überwiegenden Anteil der Glyphosatanwendungen. Geht man von etwa 4 Mio. Hektar (in einem Jahr) mit Glyphosat behandelte Fläche aus und schätzt den Flächenanteil auf 5%, der im Feldrandbereich diese Abdrift/Fehlanwendungen zeigt und unterstellt ferner, dass von diesen 200.000 ha etwa 1% Randfläche bzw. Nachbarschläge betroffen sind, so wären dies etwa 2.000 ha. Geht man davon aus, dass etwa die Hälfte dieser Fläche gräserdominierte Feldränder oder Graswege darstellen, deren Vegetation sich nach einigen Wochen wieder erholt und etwa 1.000 ha Kultur- oder Zierpflanzen u.ä., die teilweise neu gesät bzw. gepflanzt werden, dann entsteht ein Schaden (bei 1000 €/ha) von 1.000.000 € pro Jahr.

Demgegenüber stehen die Nutzen von Glyphosat, die helfen externe Kosten, verursacht durch die ackerbauliche Tätigkeit, zu vermeiden. Aufzulisten wären hier die bereits beschriebenen Effekte:

- Effiziente Vermeidung von Bodenerosion durch Mulchsaatsysteme mit Glyphosateinsatz
  - Erhalt der Bodenfruchtbarkeit
  - Vermeidung von Schäden an Straßen, Gebäuden, ...
- Vermeidung von Oberflächengewässerbelastung durch:
  - Reduktion von Boden-, Phosphat- und Pflanzenschutzmitteleinträgen
- Reduktion von Nitratreinträgen ins Grundwasser
- Reduktion der klimarelevanten Gase durch:
  - Reduktion des Treibstoffeinsatzes für eingesparte Bodenbearbeitungsgänge
  - Reduktion der Lachgasemission über Spätherbst/Winter durch Nitrataufnahme von Zwischenfrüchten
  - Einsparungen in der Stickstoffdüngung durch Vermeidung von Nitratverlusten über Winter bei effizientem Zwischenfruchtanbau
- Vermeidung der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln mit höherem Potential an Nebenwirkungen im Vergleich zu Glyphosat
- Erhöhung der Infiltrationsrate von Niederschlagswasser in den Boden mit dem Nebeneffekt, dass sich insbesondere bei Starkregen die oberflächlich ablaufende Wassermenge verringert. Dies kann Hochwassersituationen entlasten. So zeigten Machulla et al. (2007), dass nach einem Niederschlag von 38 l/m<sup>2</sup> von einer gepflügten Parzelle 22 l/m<sup>2</sup> oberflächlich abliefen, während dies bei ansonsten gleichen Bedingungen auf einer Mulchsaat nur 2 l/m<sup>2</sup> waren.

Stünde Glyphosat nicht mehr zur Verfügung, hieße dies natürlich nicht, dass keinerlei Zwischenfrüchte mehr angebaut oder keine Mulchsaaten mehr betrieben würden. Dennoch lässt sich abschätzen, dass ein Teil der Landwirte auf diese bodenkonservierenden Verfahren verzichten würde. Nach einer Befragung von Epperlein et al. (2017) würden etwa 65% der Landwirte bei Mulchsaaten bleiben, wenn Glyphosat nicht mehr zur Verfügung stünde. Allerdings würden 35% der bisherigen Mulchsaatanwender wieder zum Pflug zurückkehren. Der Anteil Landwirte, die bei Mulchsaatverfahren blieben, müssten Veränderungen/Anpassungen vornehmen. Entweder müssten sie die Bodenbearbeitung intensivieren (= Reduktion der positiven Mulchsaateffekte) oder/und Glyphosat durch andere Herbizide ersetzen, sofern dies möglich ist (abhängig von der Artenzusammensetzung der Restverunkrautung, der Kulturpflanzenart sowie den zugelassenen Herbizidindikationen). Bei einem Glyphosatverbot schätzen die Landwirte, die bei Mulchsaatverfahren bleiben würden, durch zusätzliche Bodenbearbeitungsgänge einen zusätzlichen Dieserverbrauch von 15 bis 20 l/ha.

Eine seriöse Schätzung der eingesparten externen Kosten durch Glyphosatanwendung fällt aufgrund der vielen Variablen und deren Interaktionsmöglichkeiten schwer. Zur Abschätzung helfen aber folgende Zahlen. Etwa 2 Mio. Hektar Ackerland fallen in Deutschland in die Kategorie stark erosionsgefährdet (Mal et al. 2013). Diese Einstufung bedeutet eine potentielle abgetragene Bodenmenge von bis zu 50 t/ha und Jahr durch Erosionsvorgänge (Moismann et al. 2009). Da etwa 4,5 Mio. Hektar in Deutschland in Mulchsaat, ~150.000 ha in Direktsaat und ca. 2 Mio. Hektar mit Zwischenfrüchten (Statistisches Bundesamt 2010 und 2017) bestellt werden, kann man davon ausgehen, dass ein Großteil der erosionsgefährdeten Lagen mit konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren bestellt wird. Aufgrund des geltenden Fachrechts müssten diese 2 Mio. Hektar auch zukünftig mit erosionshemmenden Verfahren angebaut werden. Allerdings wären hier Effizienzverluste im Schutz des Bodens durch zusätzliche notwendige Bodenbearbeitungsgänge bei

Glyphosatverzicht unumgänglich, da die schützende Mulchdecke durch jeden Bodenbearbeitungsgang verringert wird. In Fällen mit starker Verunkrautung oder nicht abgefrorenem Zwischenfruchtbestand müsste zur Saatvorbereitung der Boden gewendet werden (dies ist bei Saat von Reihenkulturen, Reihenabstand > 45 cm in der Gefährdungsklasse CC2 nicht erlaubt). Damit wäre der Erosionsschutz nur bis zum Zeitpunkt des Pflugeinsatzes im Frühjahr auf den entsprechenden Flächen gewährleistet. Bei Mais oder Zuckerrübenanbau wäre aber ein Erosionsschutz bis zum Reihenschluss der Kultur notwendig.

Ca. 2 Mio. Hektar werden in Deutschland jährlich mit Zwischenfrüchten bestellt. Die Gründe des Zwischenfruchteinsatzes sind vielfältig, doch zumeist ist der Zwischenfruchtanbau nicht essentiell für die Anbauverfahren. Zwar lassen sich bodenkonservierende Aspekte durch den Zwischenfruchtanbau optimieren, jedoch lässt das Fachrecht erosionshemmende Verfahren ohne Zwischenfrüchte durchaus zu. Auch das Motiv Erfüllung der ökologischen Vorrangfläche durch Zwischenfruchtanbau, derzeit die beliebteste Maßnahme im Rahmen des „Greening“, kann leicht durch andere Alternativen ersetzt werden. Wenn Glyphosat als Absicherung der Zwischenfruchtverfahren nicht mehr zur Verfügung steht, dann besteht die Gefahr, dass der Zwischenfruchtanbau signifikant sinkt. Wird unterstellt, dass 1 Mio. Hektar Zwischenfrüchte nicht mehr angebaut würden und dass je Hektar Zwischenfrucht der  $N_{\min}$  Gehalt des Bodens für Winter um 60 kg/ha reduziert wird und die Hälfte dieses Stickstoffes ohne Zwischenfrucht ins Grundwasser eingetragen wird, so garantiert eine Glyphosatverfügbarkeit die Entlastung des Grundwassers von 30.000 t Nitrat pro Jahr in Deutschland. Dies ist eine Menge, die ausreicht, 60 Mio. m<sup>3</sup> Wasser mit 50 mg/l Nitrat (dem Trinkwassergrenzwert) zu belasten. 60 Mio. m<sup>3</sup> entsprechen in etwa dem Jahreswasserverbrauch von 1,2 Mio. Bundesbürgern.



### **3 Zukunftsszenarien für Glyphosat - jeweils Betrachtung der Konsequenzen unter Berücksichtigung der alternativen Methoden – (Systembetrachtungen)**

#### **3.1 Vollständiges Verbot von Glyphosat im Ackerbau („Totalverbot“)**

Ein vollständiges Glyphosatverbot für den Ackerbau in Deutschland müsste durch Anpassungen vieler Anbausysteme aufgefangen werden. Dass dies möglich ist, zeigt der durchaus hohe Anteil von Landwirten, die trotz konventioneller Wirtschaftsweise Glyphosat nie oder so gut wie nie verwenden. Selbstredend kommt auch der ökologische Landbau ohne Glyphosat aus. Ferner beweist ein Blick in die nicht so ferne Agrarhistorie, dass die Landwirtschaft vor 1980 ohne Glyphosat ausgekommen ist. Dies lässt vermuten, dass es auch einen flächendeckenden Pflanzenbau nach einem Glyphosatverbot geben würde. Aber wie sähen die Anbausysteme ohne Glyphosat aus, und welche Konsequenzen ergäben sich aus dem Glyphosatverbot?

Das Gros der Glyphosatanwendungen ließe sich durch zusätzliche oder intensivere Bodenbearbeitungsgänge substituieren. Die zeigt sowohl der Blick in die Anbauverfahren der „Nicht- bzw. Wenig-Glyphosatverwender“ wie auch der JKI-Bericht (Dicke et al. 2017). Einige Indikationen sind nicht zu substituieren. Hier sind Ertragsverluste unvermeidbar, sei es durch nicht bekämpfte Unkräuter oder durch den Anbau von Kulturen mit geringerem Deckungsbeitrag. Durch die zusätzlichen Bodenbearbeitungsgänge werden Deckungsbeiträge im Ackerbau reduziert. Dies führt bei größeren Betrieben in der Regel zu deutlichen Mehrbelastungen durch zusätzlich benötigtes Personal und technisches Gerät. Gesamtgesellschaftlich relevanter dürften die Umweltschäden durch ein Glyphosatverbot ausfallen. Zwar würde ein Großteil der Mulchsaatenverfahren erhalten bleiben, die Umwelteffekte wie Erosionsminderung, Vermeidung von Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelausträgen, Vermeidung von Hochwasserschäden wären aber durch die vermehrt notwendigen Bodenbearbeitungsgänge vermindert. Ferner würde ein signifikanter Anteil (ca. 1/3) der derzeitigen Mulchsaatenwender auf die bodenschonenden Verfahren zukünftig verzichten. Hinzu kommen die erhöhten Treibhausgasemissionen durch die zusätzlichen Bodenbearbeitungsgänge und die vermehrte N-Düngung (um die N-Verluste wieder zu ersetzen).

Ein sehr wichtiger Punkt bei einem Glyphosatverbot wären die deutlich reduzierten Anpassungsmöglichkeiten des Pflanzenbaues an den Klimawandel. Hier wäre zukünftig eher Verfahren gefragt, die zu weniger Bodenbearbeitung führen. Evaporations- und Infiltrationskontrolle werden zukünftig noch wichtiger sein, um Pflanzenbausysteme resilienter zu machen. Reduzierte Bodenbearbeitungssysteme und Mulchsaaten werden noch bedeutender sein als heute. Hinzu kommen Anpassungen an umweltschonende Ausbringungsverfahren organischer Düngemittel. Ohne potentielle Glyphosatverfügbarkeit dürften die notwendigen Anpassungen schwierig sein.

Was gewinnt die Umwelt/Gesellschaft durch ein Glyphosatverbot? Da wäre zum einen die geringere Belastung mit Glyphosatrückständen aus den Sikkationsanwendungen. Da diese in Deutschland einen sehr geringen Umfang haben und ohnehin keine toxikologische Relevanz besitzen, ist die Entlastung in diesem Punkt eher marginal. Des Weiteren sollten die Glyphosatkonzentrationen in Oberflächengewässern rasch sinken. Diese machen aktuell einen signifikanten Anteil der Pflanzenschutzmittelfunde in Oberflächengewässern aus. Allerdings wird diese Entlastung durch eine Mehrbelastung auf der anderen Seite erkaufte. Das Mehr an Bodenbearbeitung und der geringere Einsatz von konservierenden

Bodenbearbeitungsverfahren sowie ein gewisses mehr an anderen Herbiziden werden unter dem Strich die Gewässer stärker belasten als die Entlastungsdimension durch ein Glyphosatverbot.

Eine Gefährdung der Agrarbiodiversität durch Glyphosatanwendung kann nicht belegt werden. Die Konzentrationen in der Atmosphäre oder in Oberflächengewässern sind zu gering für biologische Wirkungen. Die Wirkungen auf den Zielflächen entsprechen weitgehend denen der alternativen Verfahren (höhere Pflanzen) oder sind geringer (Wirkung auf Bodenmikroorganismen im Vergleich zu alternativen Herbiziden). Blicke der unmittelbare Feldrandbereich. Hier kann durch Abdrift oder Fehlanwendung eine Wirkung auf Nichtzielpflanzen eintreten. Bei sachgerechter Anwendung sind diese Effekte auch aufgrund der Kleinräumigkeit der betroffenen Fläche kaum relevant für die Agrarökosysteme. Auch hier dürfte gelten, dass die Konsequenzen der alternativen Verfahren (andere Bodenbearbeitung und andere Herbizide) die größeren Umweltschäden auslösen würden.

Ein Glyphosatverbot im Ackerbau wäre ein Verlust für Anwender, Umwelt und die gesamte Volkswirtschaft. Die Verluste bzw. Schäden wären letztendlich verkraftbar bzw. zu kompensieren, aber es bleibt die Frage, warum sollte Glyphosat im Ackerbau verboten werden, wenn doch die Vorteile die Nachteile um ein vielfaches Übertreffen?

### 3.2 Deckelung des Glyphosateinsatzes („Begrenzungsszenario“)

Die Studie vom JKI (Dicke et al. 2017) zeigt, dass es ein signifikantes Einsparpotential für Glyphosat im deutschen Ackerbau gibt, die teilweise mit vertretbaren Konsequenzen verbunden sind und damit auch umsetzbar erscheinen. Vor Allem gilt dies für vielen Stoppelanwendungen und manchen Vorsaats- bzw. Voraufaufanwendungen. Dies liefert die Vorlage für ein Begrenzungsszenario. Wenn gesellschaftlich eine Einschränkung der Glyphosatanwendung gewünscht ist, dann lässt sich das sicher realisieren. Wichtig wäre aus Sicht des Umweltschutzes dabei, dass der Glyphosateinsatz optional möglichst breit möglich bleibt, so dass die umweltschonenden Anbauverfahren auch weiter umgesetzt werden können. Gerade in Mulchsaatverfahren ist eine Glyphosatverwendung nicht unbedingt notwendig. Wenn aber eine Glyphosatverwendung prinzipiell nicht möglich ist, unterleibt auch das umweltschonende Verfahren auch wenn nur in einem von fünf Jahren eine Glyphosatanwendung nötig wäre. Ein Begrenzungsszenario sollte daher nicht unbedingt über Indikationseingrenzungen erfolgen, sondern eher über Betriebsquoten. Die Betriebskontingent sollte über Anbauverfahren, Erosionsgefährdung und Kulturarten ermittelt werden. Ein sehr simpler Ansatz könnte sein, dass maximal einmal in 5 Jahren eine Ackerfläche mit Glyphosat mit <1.080 g/ha behandelt werden dürfte. Dies würde die Jahresmenge von Glyphosat im deutschen Ackerbau auf maximal 2.550 t begrenzen. Die tatsächliche Menge dürfte dann sogar noch etwas geringer ausfallen, da auf etwa 15% der Ackerfläche bereits heute nie Glyphosat eingesetzt wird.

### 3.3 Keine Restriktionen („Status quo“)

Werden keine Restriktionen zum Glyphosateinsatz erlassen, so kann man erwarten, dass der zukünftige Glyphosateinsatz zwischen 3,000 und 8,000 t/a in Deutschland schwanken wird. Der tatsächliche Anwendungsumfang wird neben den Rahmenbedingungen (Agrarpolitik, Preise/Kosten, Fachrecht, Klimawandel, ...) stark von witterungsbedingten Schwankungen

abhängig sein. Höhere Einsatznotwendigkeiten können sich beispielsweise nach milden Wintern oder bei feuchtem Sommer/Herbst ergeben. Möglicherweise kommen diese Witterungsanomalien zukünftig häufiger vor, so dass ein Glyphosateinsatz tendenziell eher steigt. Da nach wie vor ein Strukturwandel in der Landwirtschaft hin zu größeren Betrieben stattfindet und in größeren Betrieben eher mehr Glyphosat eingesetzt wird, kann auch hierdurch bedingt der Glyphosateinsatz steigen. Ein Anstieg der Glyphosatverwendung muss aber nicht bedeuten, dass die Umweltbelastung steigt. Wenn sich die Glyphosatverwendung bzw. deren Anstieg auf größere Betriebe konzentriert (was größtenteils zu erwarten ist), so bedeutet dies zumeist auch professionellere Anwendung (Technik x Personal). Beispielsweise wird gerade in größeren Betrieben stärker auf Maßnahmen des Gewässerschutzes (Randstreifen) geachtet. Damit sinkt die potentiell die Umweltgefährdung.

#### **4 Fallstudien – Betrachtung einzelbetrieblicher Anbausysteme bei Glyphosatverzicht und bei Begrenzungsszenario**

Die nachfolgend vorgestellten Betriebsbeispiele sind fiktiv. Die unterstellten Standortbedingungen, Fruchtfolgen und Ackerbausysteme sind allerdings für die ausgewählten Regionen durchaus typisch.

##### **4.1 Ackerbaubetrieb im Kraichgau mit Zuckerrüben- und Maisanbau**

Der Ackerbaubetrieb im Kraichgau umfasst 120 ha und liegt komplett im wassererosionsgefährdeten Bereich (CC2). Auf den schluffigen Lössboden mit Hangneigungen >2% sind Mulchsaaten und Begrünung über Winter essentiell. Es werden zu gleichen Teilen Zuckerrüben, Mais, Weizen und Sommergerste angebaut. Vor den Sommerungen werden nicht-winterharte Zwischenfrüchte angelegt. Ein Glyphosateinsatz erfolgt regelmäßig vor Aussaat von Mais und Zuckerrüben. Der Einsatz vor der Sommergerstensaart ist zumeist nicht notwendig. Ein Glyphosateinsatz auf der Stoppel oder zur Sikkation ist auf diesen Betrieb zumeist ebenso nicht zwingend. Pro Jahr werden 64,8 kg Glyphosat in diesem Betrieb eingesetzt. Dies ergibt eine durchschnittliche Glyphosatmenge von 0,54 kg pro Hektar und Jahr. Damit praktiziert dieser Betrieb eine überdurchschnittliche Glyphosatanwendung im Bundesvergleich.

##### **4.2 Ackerbau Agrargenossenschaft in Nordwestmecklenburg**

Die Agrargenossenschaft bewirtschaftet 2.100 ha Ackerland in Nordwestmecklenburg. Eine Einstufung in Erosionsgefährdungsklassen liegt für die Betriebsfläche nicht vor. Die Fruchtfolge besteht zum einen aus jeweils 500 ha Winterraps, Winterweizen und Wintergerste. Es werden keine Zwischenfrüchte eingesetzt und die Grundbodenbearbeitung erfolgt nicht-wendend. Nach Winterraps erfolgt auf 2/3 der Fläche ein Glyphosateinsatz auf der Stoppel. Auf dem Betrieb kommen Ackerflächen mit herbizidresistenten Ackerfuchsschwanz vor. Daher wird 1/3 des Winterweizens mit der Methode „Falsches Saatbett“ bestellt. Vor der Weizenaussaat erfolgt ein Glyphosateinsatz zur Kontrolle des aufgelaufenen Ackerfuchsschwanzes. In der zweiten Fruchtfolge werden 100 ha Biogasmais, 100 ha Zuckerrüben und 400 ha Winterweizen kultiviert. Vor Mais wird eine nicht-winterharte Zwischenfrucht verwendet. Ein Glyphosateinsatz erfolgt stets vor der Maissaat. Die Zuckerrüben werden in einem Strohmulchsystem gesät. Zur Bekämpfung der Altverunkrautung erfolgt vor oder kurz nach der Zuckerrübensaart ein Glyphosateinsatz. Auf den Pflug wird konsequent verzichtet. Durch den Glyphosateinsatz wird eine Saisonarbeitskraft eingespart. Im Durchschnitt der Jahre erfolgt auf 5% der Weizen und Rapsanbaufläche eine Sikkation mit Glyphosat. Insgesamt ergibt sich hieraus ein Glyphosateinsatz von 720 kg/a im gesamten Betrieb. Dies entspräche einer durchschnittlichen Glyphosatanwendung von 0,342 kg/ha pro Jahr. Wird diese Menge auf die gesamte Ackerfläche Deutschland hochgerechnet, so kommen 4.100 t Glyphosat zu Stande, also in etwa der mittlere Jahresabsatz. Zieht man die Glyphosateinsätze außerhalb des Ackerlandes ab, lässt sich die Ackergenossenschaft als leicht überdurchschnittlicher Glyphosatanwender charakterisieren.

#### 4.3 Gemischtbetrieb (Ackerbau, Futterbau, Rinderhaltung) in der Eifel

Der Milchvieh- und Ackerbaubetrieb in der Eifel bewirtschaftet 200 ha Ackerfläche. Neben der zusätzlich vorhandenen Dauergrünlandfläche werden 40 ha Silomais und 20 ha Ackerfutterbaufläche (Welsches Weidelgras), 80 ha Winterweizen, 40 ha Winterraps und 20 ha Wintergerste angebaut. Die Fruchtfolge ist fünfgliedrig (Raps-Weizen-(Gerste bzw. Weidelgras)-Mais-Weizen). Nach der Wintergerste wird eine nicht-winterharte Zwischenfrucht angebaut. Die Weidelgraseinsaat erfolgt nach der Weizenernte. Nach einem Hauptnutzungsjahr wird das Weidelgras vor dem nachfolgend angebauten Mais vor dessen Saat im Frühjahr noch einmal geschnitten. Dann erfolgt eine Streifenfrässaat vom Mais mit nachfolgendem Gyphosateinsatz im Voraufverfahren, um das Weidelgras im Mais zu regulieren. Etwa die Hälfte der Betriebsfläche liegt in CC2-Wassererosionsgefährdeter Lage. Ein Glyphosateinsatz erfolgt auch nach dem Zwischenfruchtanbau vor der Maissaat. Die Maissaat nach der Zwischenfrucht erfolgt im Mulchsaatverfahren. Ein Glyphosateinsatz auf der Stoppel ist zumeist nicht notwendig, da zur Raps- und Wintergerstensaart regelmäßig eine wendende Bodenbearbeitung erfolgt. Durchschnittlich setzt der Betrieb 0,216 kg/ha/a Glyphosat (Jahressumme 43,2 kg im Betrieb) ein. Damit ist der Betrieb ein eher unterdurchschnittlicher Glyphosatanwender.

## **5 Bewertung des Auswirkungen der 3 Szenarien („Status quo“, „Begrenzungsszenario“ und „Totalverbot“) für die Beispielsbetriebe**

Der Beispielbetrieb im Kraichgau verwendet durchschnittlich aktuell 0.54 kg Glyphosat je Hektar Ackerfläche. Bei dem unterstellten Begrenzungsszenario muss er auf die Kultur Mais verzichten, um in seiner erosionsgefährdeten Lage die Glyphosatmenge auf 0,216 kg/ha senken zu können. Der Betrieb ersetzt den Körnermais durch ein Wintergetreide. Der Vorteil hierbei ist, dass die Erosionsgefahr reduziert wird und die Bodenbearbeitung nicht intensiviert werden muss. Allerdings ist der Körnermais aufgrund der höheren Erträge und der geringeren Kosten ökonomisch interessanter als das alternative Wintergetreide. Aufgrund des steigenden Wintergetreideanteils in der Fruchtfolge sinken langfristig die Erträge etwas. Die Deckungsbeiträge in Getreide liegen etwa 200 €/ha niedriger als beim Mais. Der Betrieb verliert beim Begrenzungsszenario demnach etwa 6.000 € im Jahr. Bei einem Totalverbot muss neben dem Ersetzten des Mais auch die Mulchsaat in den Zuckerrüben durch einen vermehrten Bodenbearbeitungsgang zur Zuckerrübensaart und eine zusätzliche Herbizidanwendung in den Zuckerrüben ergänzt werden. Dies kostet den Betrieb weitere 3.000 € im Jahr. Zusätzlich werden 1.400 kg mehr an CO<sub>2</sub> ausgestoßen. Verursacht wird dies durch den zusätzlichen Bodenbearbeitungsgang und den damit einhergehenden zusätzlich Dieserverbrauch. Ferner müssen die Mindererträge durch Intensivierung der Produktion an anderer Stelle aufgefangen werden. Die Anpassungsmaßnahmen des Kraichgaubetriebes machen einen jährlichen Ackerflächenmehrbedarf von 15 ha bei einem unterstellten durchschnittlichen Getreideertrag von 8 t/ha notwendig, um die Ertragsverluste zu kompensieren.

Gravierender sind die Folgen für den Beispielbetrieb in Nordwestmecklenburg. Um die unterstellte Glyphosatobergrenze von 0,216 kg/ha und Jahr nicht zu überschreiten, muss der Betrieb beim Begrenzungsszenario auf den Glyphosateinsatz auf der Rapsstoppel verzichten. Dies führt zu zwei zusätzlichen Stoppelbearbeitungsgängen, die den Betrieb zusätzlich 20.000 € pro Jahr kosten und etwa 16.000 kg zusätzliche CO<sub>2</sub> Emissionen im Betrieb verursachen. Muss komplett auf Glyphosat verzichtet werden, kommen zu den 20.000 € auch noch Mehrkosten durch einen Pflugeinsatz vor Wintergerste (+30.000 €) und 70.000 € durch mehr selektive Herbizide in den Kulturen hinzu. Durch das Mehr an Bodenbearbeitung steigen die jährlichen CO<sub>2</sub> Emissionen im Betrieb um 56.500 kg an. Ferner kommen noch Ertragseinbußen hinzu. Durch die nicht mehr mögliche Sikkation und den nicht mehr vollständig zu kontrollierenden Ackerfuchsschwanz sinken die Erträge um etwa 5% bei insgesamt steigenden Kosten.

Beim Eifelbetrieb kommt es beim Begrenzungsszenario zu keinen Veränderungen, da die Glyphosatobergrenze eingehalten werden kann. Bei einem Totalverbot muss das Management allerdings angepasst werden. Vor der Maissaat muss auf 20 ha eine zusätzliche Bodenbearbeitung durchgeführt werden (nach Wintergerste und Zwischenfrucht). Nach Weidelgras muss vor der Maissaat eine Pflugfurche durchgeführt werden. Dadurch entstehen ca. 2.000 € zusätzliche Kosten und etwa 4.000 kg zusätzliche CO<sub>2</sub> Emissionen im Jahr.

## 6 Zusammenfassung

Der gegenwärtige Einsatz von Glyphosat im deutschen Ackerbau erfolgt primär in den Einsatzgebieten Teilbrachemanagement und in konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren. In beiden Einsatzgebieten werden dadurch Bodenbearbeitungsgänge eingespart. Dies senkt die Arbeitserledigungskosten um bis zu 100 €/ha und Jahr. Bedeutender für die Landwirtschaft und die Gesellschaft ist die Absicherung von Mulchsaatverfahren durch einen Glyphosateinsatz. Das Glyphosat sichert die Kontrolle von „Altverunkrautung“ vor der Saat der neuen Kultur oder auch das Abtöten von Zwischenfrüchten nach milden Wintern oder von winterharten Arten. Durch die Mulchsaatverfahren wird ein Bodenschutz, aber auch ein Oberflächengewässerschutz erreicht. Stünde ein Glyphosat nicht mehr zur Verfügung, würde etwa 1/3 der Landwirte wieder zu intensiveren Bodenbearbeitungsverfahren zurückkehren. Die übrigen würden versuchen, bei Mulchsaatverfahren zu bleiben, gehen aber von vermehrten Bodenbearbeitungsgängen aus. Dies reduziert Kosten- und Umweltvorteile.

Durch die Integration von Zwischenfrüchten in die Anbausysteme bestehen gute Möglichkeiten zum Nitratmanagement. Dadurch kann eine z.T. erhebliche Nitratmenge im Oberboden konserviert werden. Dies kann zu deutlich reduzierter Düngung in der nachfolgenden Kultur und zu reduzierten Nitratreinträgen in das Grundwasser führen. Die Einsatzmöglichkeit von Glyphosat erhöht die Akzeptanz für diese umweltfreundlichen Anbausysteme.

Stünde Glyphosat nicht mehr zur Verfügung, würden nicht nur die Deckungsbeiträge im Ackerbau sinken, sondern die Umweltwirkungen der Pflanzenbausysteme dürften deutlich zunehmen. Die Belastung der Oberflächengewässer werden bedingt durch Bodenerosion, Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleinträge erhöht. Im Gegenzug gehen die Funde von Glyphosat in Oberflächengewässern zurück, was die Nachteile in der Regel aber nicht ausgleichen kann.

Ohne Glyphosat gehen die Treibhausgasemissionen im Pflanzenbau deutlich nach oben. Ursachen hierfür sind die zusätzlichen Dieselaufwendungen durch die zusätzlichen bzw. intensiveren Bodenbearbeitungsgänge. Ferner kommt es zu Anstiegen durch die vermehrte N-Düngung, die Nitratverluste über Winter ausgleicht, und durch die Lachgasemissionen über Winter bei hohen Nitratwerten im Boden im Herbst/Winter.

Es gibt keine Belege, dass durch den Einsatz von Glyphosat die Biodiversität im Agrarökosystem abnimmt. Dies gilt zumindest für den Vergleich zu den alternativen Anbauverfahren ohne Glyphosatverwendung. Die Unkrautpopulationen werden entweder durch Glyphosat oder intensivere Bodenbearbeitungssysteme reguliert. In (glyphosatgesteuerten) konservierenden Systemen treten sogar zumeist mehr Unkräuter auf als bei wendenden Bodenbearbeitungssystemen. Bei Bodenorganismen und bei Organismen im/am Ackerrand können Glyphosateffekte auftreten. Diese sind aber in der Regel temporärer Natur und in der Regel weniger lang andauernd als die Effekte von alternativen Verfahren.

Betriebswirtschaftlich, volkswirtschaftlich und auch aus Sicht des Umweltschutzes und der Biodiversität ist eine situationsangepasste Glyphosatverwendung positiv zu bewerten. Alternativen zu Glyphosatverwendung bestehen, führen in der Regel aber zu deutlich schlechteren Ergebnissen für Anwender, Umwelt und Gesellschaft.

Gleichwohl gibt es Möglichkeiten, die Glyphosatverwendung zu reduzieren, ohne auf konservierende Bodenbearbeitungsverfahren bzw. Mulchsaaten zu verzichten. Dies insbesondere bei gut etablierten Zwischenfrüchten, die im Winter sicher abfrieren und kaum einer Unkrautregulierung im Frühjahr bedürfen. Da dies aber nicht stets garantiert ist, ist die Option bei Bedarf Glyphosat einsetzen zu können, für die Akzeptanz von diesen umweltschonenden Verfahren essentiell.



## Literaturverzeichnis

Andert, S., J. Bürger, B. Gerowitt (2016): Bestimmungsfaktoren für die regionale Unterschiede in der Glyphosat-Intensität im Ackerbau Norddeutschlands. Julius-Kühn-Archiv 452, 263-269

Andreotti, G., S. Koutros, J.N. Hofmann, D.P. Sandler, J.H. Lubin, C.F. Lynch, C.C. Lerro, A.J. De Roos, C.G. Parks, M.C. Alavanja, D.T. Silverman, L.E.B. Freeman (2018): Glyphosate use and cancer incidence in agricultural health study. J Natl Cancer Inst (110/5), first published online 9. November, 2017 (doi: 10.1093/jnci/djx233)

Anonym (2016): Mikroschadstoffe in Gewässern 2016. Verfügbar unter: [www.lawa.de](http://www.lawa.de), abgerufen am 26.11.2017

Anonym (2017): pesticide properties database, University of Hertfordshire. Verfügbar unter: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb>, abgerufen am 01.12.2017

Davies, L.R., P. Neve (2017): Interpopulation variability and adaptive potential for reduced glyphosate sensitivity in *Alopecurus myosuroides*. Weed Research 57(5), 323-332

Dicke, D., R. Ditrach, K. Gehring, R. Götz, K. Hüsgen, G. Klingenhagen, M. Landschreiber, C. Tümmler, D. Wolber, R. Forster, H. Kehlenbeck, H. Nordmeyer, J. Schwarz, L. Ulber, P. Zwerger (2017): Handlungsempfehlungen der Bund-Länder-Expertengruppe zur Anwendung von Glyphosat im Ackerbau und in der Grünlandbewirtschaftung. Herausgegeben vom JKI am 9.1.2017 (Aktenzeichen JKI: HV 4140-05)

Duke S.O., N. Cedergreen, E.D. Velini and R.G. Belz (2006): Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy. Outlooks on Pest Management 17, 29–33.

Duke, S.O., S.B. Powles (2008): Glyphosate: a once in a century herbicide. Pest Management Science 64, 319–325

Epperlein, J., G. Stemann, H.-H. Vossheinrich (2017): Guter Ackerbau in der Praxis. DLG-Mitteilungen 7, 55-57.

Gehring, K, R. Balgheim, E. Meinschmidt, C. Schleich-Saidfar (2012): Prinzipien einer Anti-Resistenzstrategie bei der Bekämpfung von *Alopecurus myosuroides* und *Apera spica-venti* aus Sicht des Pflanzenschutzdienstes. Julius-Kühn-Archiv 434, 89-101

Gehring, K. (2017): Mulch- oder Direktsaat von Mais ohne Glyphosat? Top agrar 4, 100-102.

Gerhards, R. M. Dieterich, M. Schuhmacher (2011): Rückgang von Ackerunkräutern in Baden-Württemberg – ein Vergleich von vegetationskundlichen Erhebungen in den Jahren 1948/49, 1975-1978 und 2011 im Raum Mehrstetten – Empfehlungen für Landwirtschaft und Naturschutz. Gesunde Pflanze 65(4), 151-160.

Heap, I. (2017): The international survey of herbicide resistant weeds. Online 25.11.2017, verfügbar unter: [www.weedscience.org](http://www.weedscience.org)

Helander, M., I. Saloniemi, K. Saikkonen (2012): Glyphosate in northern ecosystems. Trends in Plant Science, 1-6 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.05.008>)

Jörg, E. (2012): Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Gewässer durch Ausbringen auf landwirtschaftliche und versiegelt Flächen und wie man ihn verhindert. Vortrag: Gewässernachbarschaften in Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland in Wiesbaden 4. Juni 2012, verfügbar unter: [www.gfg-fortbildung.de](http://www.gfg-fortbildung.de), abgerufen am 26.11.2017

Kehlenbeck, H., J. Saltzmann, J. Schwarz, P. Zwerger, H. Nordmeyer (2016): Economic assessment of alternatives for glyphosate application in arable farming. *Julius-Kühn-Archiv* 452, 279-289.

Kehlenbeck, H., J. Saltzmann, J. Schwarz, P. Zwerger, H. Nordmeyer, D. Rossberg, I. Karpinski, J. Strassmeyer, B. Golla, B. Freier (2015): Folgenabschätzung für die Landwirtschaft zum teilweisen oder vollständigen Verzicht auf die Anwendung von glyphosathaltigen Herbiziden in Deutschland. *Julius-Kühn-Archiv* 451, 1-156.

Koch, H.J., A. Windt, S. Mittler, M. Hauer (2017): Einfluss der Witterung auf Biomassebildung und N-Aufnahme von Zwischenfrüchten sowie deren Wirkung auf Bodenwasser- und  $N_{\min}$ -Gehalt in Norddeutschland. *Journal für Kulturpflanzen* 69, 361-372.

Machulla, G., O. Nitzsche, W. Schmidt (2007): Minimierung des Stoffaustrages durch pfluglose Bodenbearbeitung. *Neue Landwirtschaft* 11, 58-59.

Mal, P., J.W. Hesse, M. Schmitz, H. Garvert (2013): Konservierende Bodenbearbeitung in Deutschland als Lösungsbeitrag gegen Bodenerosion. *Journal für Kulturpflanzen* 67 (9). S. 310–319.

Malkomes, H.-P. (2007): Einfluss unterschiedlich formulierter Glyphosat-Herbizide und eines herbiziden Vergleichsmittels auf mikrobielle Aktivitäten im Boden. *Nachrichtenblatt des deutschen Pflanzenschutzdienstes* 59 (6), 124-132.

Petersen, J. (2013): Stickstoffdynamik nach Winterraps. *DLZ-Agrarmagazin* 11, 102-105.

Powles, S., D.F. Lorraine-Colwill, J.J. Dellow, C. Preston (1998) Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass (*Lolium rigidum*) in Australia. *Weed Science*, 46(5), 604-607

Relyea R.A. (2005): The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Impact in Ecological Applications* 15, 618–627

Ruser, R., H. Flesa R. Schilling, F. Beese, J.C. Munch (2001): Effects of crop-specific field management and N-fertilization on N<sub>2</sub>O emission from a fine-loamy soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59, 177-191.

Schmitz, P.M., H. Gravert (2012): Ökonomische Bedeutung des Wirkstoffes Glyphosat für den Ackerbau in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* 64(5), 150-162.

Steinert, K. (2017): Grasuntersaaten im Mais: Erfahrungen mit Vorsaatverfahren – Alternative für Trockengebiete. *Landwirtschaft ohne Pflug* 4, 33-37.

Steinmann, H.-H., M. Dickeduisberg, L. Theuvsen (2012): Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection* 42, 164-169

Sullivan, T.P., D.S. Sullivan (2003): Vegetation management and ecosystem disturbance: impact of glyphosate herbicide on plant and animal diversity in terrestrial systems. *Environmental Review* (11), 3-59.

Wiese, A. M. Schulte, L. Theuvsen, H.-H. Steinmann (2016a): Verwendung von Glyphosat im deutschen Ackerbau – herbologische und ackerbauliche Aspekte. Julius-Kühn Archiv 452, 249-254.

Wiese, A. M. Schulte, L. Theuvsen, H.-H. Steinmann (2016b): Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – betriebliche Aspekte. Julius-Kühn Archiv 452, 255-262

Wiese, A., M. Schulte, L. Theuvsen, H.-H. Steinmann (2016c): Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – Betriebliche Aspekte; Uses of glyphosate in German arable farming – operational aspects. 27. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 23.-25. Februar 2016 in Braunschweig; Julius-Kühn-Archiv, 452, 2016

Williams G.M., R. Kroes, I.C. Munro (2000): Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roundup and its active ingredient, glyphosate, for humans. Regulatory Toxicology and Pharmacology 31, 117–165

Wolber, D.M., H. Romundt, G. Warnecke-Busch (2016): Effektive Unkrautkontrolle im Verfahren Streifenfrässaat bei Mais – Brauchen wir Glyphosat? Landwirtschaft ohne Pflug 5, 20-22.

## Anhang

Tab. 1: Akute Glyphosat Effekte bei Indikatororganismen in Oberflächengewässern (EC Draft Dossier 2010)

ACUTE EFFECTS			Master reference
Algae & aquatic plants (mg.l <sup>-1</sup> )	Freshwater	<i>Chlorella pyrenoidosa</i> / 96 h EC <sub>50</sub> 3.5 mg/L	Ma <i>et al.</i> 2001 cited in UK EA (2010)
		<i>Selenastrum capricornutum</i> / 96h EC <sub>50</sub> : 24.7 mg/L	Tsui <i>et al.</i> (2003)
		<i>Nitzschia palea</i> / 96 h EC <sub>50</sub> : 4.5 mg/L	Monograph (1998)
		<i>Lemna gibba</i> / 14 d EC <sub>50</sub> : 12 mg/L	Tsui <i>et al.</i> (2003)
	Marine	<i>Skeletonema costatum</i> / 168 h E <sub>r</sub> C <sub>50</sub> : 0.64 mg/L	Monograph (1998)
		E <sub>r</sub> C <sub>50</sub> (recalc) : <b>0.83 mg/L</b>	Hughes (1987b, Confidential data) cited in UK EA (2010)
		EC <sub>50</sub> : 2.27 mg/L	Tsui <i>et al.</i> (2003)
	EC <sub>50</sub> (geomean) : 2.29 mg/L <sup>1</sup>	Industry input to EA (2010)	
Invertebrates (mg.l <sup>-1</sup> )	Freshwater	<i>Daphnia magna</i> / 48 h EC <sub>50</sub> : 40 mg/L  LC <sub>50</sub> : 134 mg/L	Monograph (1998) EPA, 2005  EPA, 2005
		<i>Chironomus plumosus (IN)</i> , / 48 h LC <sub>50</sub> : 55 mg/L	Tsui <i>et al.</i> (2003)
		<i>Tetrahymena pyriformis</i> / 40h  EC <sub>50</sub> : 648 mg/L	Tsui <i>et al.</i> (2003)
		<i>Ceriodaphnia dubia</i> / 48h  LC <sub>50</sub> : 147 mg/L	

**ACUTE EFFECTS**

<b>ACUTE EFFECTS</b>			<b>Master reference</b>
	<b>Marine</b>	<i>Americamysis bahia</i> / 96 h LC <sub>50</sub> : 40 mg/L  <i>Euplotes vannus</i> / 48h EC <sub>50</sub> : 10.1 mg/L  <i>Acartia tonsa</i> / 48h LC <sub>50</sub> : 35.3 mg/L	E.C., 2002  Tsui <i>et al.</i> (2003)  Tsui <i>et al.</i> (2003)
	<b>Sediment</b>	Not required	
<b>Fish (mg.l<sup>-1</sup>)</b>	<b>Freshwater</b>	<i>Oncorhynchus mykiss</i> / 96 h EC <sub>50</sub> : 38 mg/L	Monograph (1998)  EPA, 1993
		<i>Lepomis macrochirus</i> / 48 h LC <sub>50</sub> >24 mg/L  <i>Lepomis macrochirus</i> / 48 h LC <sub>50</sub> =78 mg/L	Monograph (1998)
	<b>Marine</b>	<i>Cyprinodon variegatus</i> / 96 h LC <sub>50</sub> : 240 mg/L	EPA, 2005
	<b>Sediment</b>	Not required	
<b>Other taxonomic groups</b>		<i>Vibrio fischeri</i> / 15mn EC <sub>50</sub> : 17.5 mg/L	Tsui <i>et al.</i> (2003)

Tab. 2: Chronische Glyphosat Effekte bei Indikatororganismen in Oberflächengewässern (EC Draft Dossier 2010)

CHRONIC EFFECTS			Master reference
Algae & aquatic plants (mg.l <sup>-1</sup> )	Freshwater	<i>Lemna gibba</i> / 14 d NOEC : 1.4 mg/L	EPA, 2005
		<i>Nitzschia palea</i> / 4 d NOEC : 1 mg/L	Monograph (1998)
	Marine	<i>Skeletonema costatum</i> 7d <b>NOEC : 0.28 mg/L</b> EC10 : 0.348 EC10 (geomean) : 1.25 mg/L	Monograph (1998) EA (2010)  Industry input to EA (2010) <b>NL : cannot verify</b>
		<i>Skeletonema costatum</i> 7d NOEC < 0.24 mg/L  GTF : This relates to the same study as above – As the NOEC of 0.28 mg/L was reviewed and accepted by the EU experts, it is more appropriate to use this endpoint  <i>Zostera marina</i> / 72 h NOEC > 16.9 mg/L	EPA, 2005    EA, 2010
Invertebrates (mg.l <sup>-1</sup> )	Freshwater	<i>Daphnia magna</i> / 21 d NOEC : 49.9 mg/L NOEC : 30 mg/L	Monograph (1998) (Review report, 2002)
	Marine	No data available	
	Sediment	No data available	
Fish (mg.l <sup>-1</sup> )	Freshwater	<i>Pimephales promelas</i> / 254d (FLC test) NOEC: 25.7 mg/L	Monograph (1998)
		<i>Pimephales promelas</i> / ?d NOEC > 18.22 mg/L  GTF : This is not a definitive endpoint – As a definitive endpoint exists for this species (and has been accepted by EU experts) this is the value that should be used  Note : we couldn't find this value in EPA 1993	EPA, 1993
	Marine	No data available	
	Sediment	No data available	
Other taxonomic groups		No data available	