

23.06.2020

Information zum Wirkstoff Glyphosat

1. Einleitung und Spannungsfeld

Der Pflanzenschutzmittelwirkstoff Glyphosat wird seit mehreren Jahren in den Medien, in der Öffentlichkeit und in der Politik intensiv und kritisch diskutiert. Einen bisherigen Höhepunkt erreichte diese Diskussion im Zusammenhang mit der europäischen Wirkstoffbewertung und der Wiederzulassung (<http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/138783/index.php>) aufgrund eines positiven Votums durch den deutschen Landwirtschaftsminister anstelle einer vorgesehenen Enthaltung. Der hierbei offen zu Tage getretene politische Konflikt zeigt das grundlegende Problem hinsichtlich der Bewertung dieses Wirkstoffes.

Neubewertung in Europa und international

Im Rahmen des Zulassungsverfahrens wurden von den zuständigen Behörden und wissenschaftlichen Institutionen keine Gründe festgestellt, die gegen eine erneute Zulassung sprechen. Diese europäische Beurteilung steht damit im Einklang mit der Wirkstoffbewertung der Zulassungsbehörden in den USA, in Kanada oder in Australien und entspricht dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Als Gegenargumente werden vorwiegend toxikologische Befürchtungen und Bedenken hinsichtlich negativer Effekte im Bereich der Biodiversität aufgeführt. Hintergründe dieser Vorbehalte sind oft Erfahrungen aus der internationalen Anwendungspraxis von Glyphosat in Glyphosat-resistenten Kulturen.

Im europäischen Zulassungsverfahren wurden neben internen, standardisierten Studien die aktuell verfügbare wissenschaftliche Literatur und alle Einwände des Verfahrens der Öffentlichkeitsbeteiligung berücksichtigt. Hieraus resultiert, dass nach derzeitigem Stand des Wissens bei einer sachgerechten Anwendung von Glyphosat-haltigen Herbiziden und der daraus zu erwartenden Exposition keine Gefahr für Anwender, Verbraucher und dem Naturhaushalt entsteht. Auf toxikologische, insbesondere humantoxikologische, Fragestellungen wird im Weiteren nicht intensiver eingegangen.

Landwirtschaft als größtes Anwendungsgebiet



Abb. 1.1: Im Frühjahr mit Glyphosat behandelte Ausfallkulturen und Altunkräuter (rechts) ergeben ein auffälliges Bild in der Landschaft

Der Großteil der in Deutschland abgesetzten Glyphosat-Menge wird in der Landwirtschaft bzw. im Ackerbau eingesetzt. Damit trägt die Landwirtschaft eine hohe Verantwortung für einen sachgerechten und umweltverträglichen Einsatz dieses Wirkstoffes. Im Sinne des Integrierten Pflanzenschutzes stellt sich immer die Frage, ob der Einsatz eines chemischen Pflanzenschutzmittels erforderlich ist, oder ob nicht-chemische Alternativen zu bevorzugen sind. Eine entsprechende

Nutzungsabwägung zielt hierbei auf die Frage des notwendigen Maßes bzw. Einsatzumfangs.

Glyphosat hat allerdings auch eine große Bedeutung für bestimmte, besonders bodenschonende Anbauverfahren wie etwa die Mulch- und Direktsaat. Deshalb ist eine weitergehende Analyse zur Nachhaltigkeit der Anwendung von Glyphosat im Ackerbau notwendig. Hierbei sind neben ökonomischen und ökologischen Aspekten auch soziale Zusammenhänge zu berücksichtigen. Die gesellschaftliche Akzeptanz ist hierbei zweifellos von Bedeutung. Das zeigt schon das aktuelle politische Ziel, mittelfristig auf den Einsatz von Glyphosat grundsätzlich zu verzichten.



Abb. 1.2: Das bodenschonende Mulchsaatverfahren ist im Maisanbau auf erosionsgefährdeten Flächen unverzichtbar

Intention dieser Information

Neben Fachinformationen zum Wirkstoff und der Bedeutung in der landwirtschaftlichen Anwendung werden nachfolgend die einzelnen Anwendungsgebiete vorgestellt und alternative Verfahren bewertet. Zusammenfassend werden ökonomische und ökologische Aspekte hinsichtlich des Einsatzes von Glyphosat und geeigneter Alternativen diskutiert. Das Ziel ist, jedem einzelnen Landwirt und Berater Grundlagen für eine verantwortungsvolle und nachhaltige Verwendung zu liefern und die Möglichkeiten auf einen Verzicht durch alternative Methoden aufzuzeigen.

2. Der Wirkstoff Glyphosat und Produkte

Das Herbizid Glyphosat gehört zur chemischen Gruppe der Phosphonate. Es wird nahezu ausschließlich nur über Blätter und grüne Pflanzenteile aufgenommen und systematisch über das Phloem in der gesamten Pflanze in meristematisch wachsendes Gewebe verlagert. Der biochemische Wirkort ist die EPSP-Synthase (5-Enolpyruvylshikimat-3-phosphat-Synthase). Hier blockiert Glyphosat die Bildung von essentiellen Aminosäuren, was zum Kollaps der Proteinbildung und Absterben der Zielpflanzen führt. Ein Wachstumsstillstand tritt je nach Behandlungsbedingungen nach wenigen Stunden ein. Erkennbare Wirkungssymptome in Form von Chlorosen und Nekrosen treten jedoch erst nach mehreren Tagen (5-10 Tagen) auf. Die Wirkungsgeschwindigkeit ist gegen junge, stark im Wachstum befindliche Pflanzen am höchsten. Glyphosat ist gegen eine große Anzahl an Zielpflanzen wirksam (Ungräser, Unkräuter, Wurzelunkräuter, Samenunkräuter); außerdem besitzen „normale“ Kulturpflanzen, d. h. ohne gentechnische Veränderung, keine Verträglichkeit gegenüber Glyphosat. Der Wirkstoff Glyphosat wird demzufolge als nicht-selektives, blattaktives und systemisches Breitbandherbizid charakterisiert.

Wirkungsspektrum

Der häufig verwendete Begriff „Totalherbizid“ ist fachlich nicht korrekt. Glyphosat hat zwar ein außergewöhnlich breites Wirkungsspektrum gegen eine Vielzahl an monokotylen und dikotylen Unkräutern, wirkt aber nicht gegen alle Pflanzen. Unkräuter wie Brennesseln, Beinwell, Giersch, Schachtelhalm oder verschiedene Leguminosen können nicht ausreichend bekämpft werden. Gegen Problemunkräuter wie Winden, Seggen, Binsen, Ackerminze und verschiedene Knöterich-Arten ist die Wirkung häufig nicht ausreichend.

Wirkstoffaufnahme

Glyphosat wird beim Einsatz im Ackerbau nicht über Pflanzenwurzeln aufgenommen, da es im Boden zu einer raschen und intensiven Bindung an Silikatschichtminerale und Metall-Komplexbindung kommt. Hieraus ergibt sich die Möglichkeit für eine kurzfristige Unkraut- und Aufwuchsregulierung bis kurz vor der Saat bzw. bei vielen Kulturen auch bis vor dem Auflaufen der Saat. Eine Nachwirkung über den Boden, wie es bei anderen Herbiziden häufig der Fall, ist bei Glyphosat unter praxisüblichen Anwendungen nicht gegeben.

Verbleib in der Umwelt

Aufgrund des sehr geringen Dampfdrucks (0,013 mPa) findet unter Freilandbedingungen keine signifikante Verflüchtigung von Boden- oder Pflanzenoberflächen statt. Auf Boden- und Pflanzenoberflächen ist Glyphosat weitgehend photolytisch stabil.

Glyphosat wird im Boden relativ rasch mit einer Halbwertszeit von 3-77 (Ø 21) Tagen mikrobiell abgebaut. Als Abbauprodukt entsteht der Metabolit AMPA (Aminomethylphosphonsäure), der aufgrund einer längeren Halbwertszeit (DT50) im Boden angereichert werden kann. Aufgrund der hohen Bodenadsorption ist weder für Glyphosat noch für AMPA eine Versickerung in das Grundwasser zu erwarten. Austräge durch Run-off und über Drainagen in Oberflächengewässer sind allerdings bei entsprechenden Witterungsbedingungen möglich. Der Wirkstoff verfügt über eine hohe Löslichkeit in Wasser (10,5 g/l bei 20°C). In Oberflächengewässern wird Glyphosat mit einer DT50 von 9,9 Tagen und der Metabolit AMPA mit einer

DT50 von 5,5 Tagen rasch abgebaut. Glyphosat wird in Oberflächengewässern relativ rasch in das Sediment verlagert. Hier findet der Abbau mit einer DT50 von 34 bis 76 Tagen statt.

Präparate und Formulierungstechnik

Der Wirkstoff Glyphosat ist ein Säuremolekül und wird daher in Anwendungsprodukten als Salz formuliert. Bei den derzeit in Deutschland registrierten 20 unterschiedlichen Glyphosat-Herbiziden handelt es sich um Formulierungen als Isopropylamin-, Ammonium-, Kalium- und Dimethylamin-Salz. Die Wirkstoffkonzentration liegt je nach Produkt bei 240 – 720 g/l bzw. kg Glyphosat. Neben flüssig-formulierten Produkten gibt es auch einige als wasserlösliche Granulate. Die häufigste Form sind flüssige, wasserlösliche Konzentrate auf Basis von Isopropylamin-Salz mit einer Wirkstoffkonzentration von 360 g/l Glyphosat. Bis auf ein Präparat handelt es sich um reine Glyphosat-Herbizide. Ein einziges Kombipräparat ist neben einer niedrigen Glyphosatkonzentration von 240 g/l zusätzlich mit dem Wirkstoff 2,4-D ausgestattet.

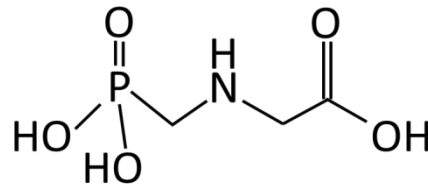


Abb. 2.1: Strukturformel von Glyphosat

Für die chemisch-physikalische Stabilität und Einsatzfähigkeit, sowie auch für die Unterstützung der biologischen Aktivität bzw. Wirkungssicherheit benötigen die Präparate entsprechende Formulierungshilfsstoffe. Die jeweiligen Rezepturen sind Betriebsgeheimnisse und werden nur gegenüber der Zulassungsbehörde offen gelegt. Diese berücksichtigt diese Beistoffe in der Sicherheitsbewertung. Vor mehreren Jahren enthielten einige Glyphosat-Herbizide POE-Tallowamine (polyethoxylierte Alkylamine) als Formulierungsbestandteile, die im internationalen Bereich häufig verwendet werden. Für diese Netzmittel verstärkte sich der Verdacht, dass sie über eine relativ höhere Toxizität als der eigentliche Wirkstoff verfügen. Die Zulassungsbehörde forderte die Hersteller daher auf, die Präparate auf Tallowaminefreie Formulierungen umzustellen, was nach kurzer Zeit auch vollständig erfolgte.

3. Die Geschichte von Glyphosat

Der Wirkstoff Glyphosat wurde erstmals 1950 von einer kleinen Schweizer Pharmafirma synthetisiert. Über Verkäufe gelangte der Wirkstoff zur Firma Monsanto und wurde als Verbindung zur Wasserenthärtung geprüft. Der Chemiker John E. Franz entdeckte die herbizide Wirkung, was zur Patentierung von Glyphosat und zur gleichzeitigen Markteinführung als „Roundup®“ im Jahr 1974 führte.

Anwendungsspektrum

Das inzwischen relativ preisgünstige, aber hoch wirksame Präparat war für die Landwirtschaft zur Unkrautbekämpfung nach der Ernte bis zur Neuansaat, insbesondere bei pflugloser Bodenbearbeitung, von Anfang an sehr attraktiv. Die Möglichkeit zur effektiven und nachhaltigen Bekämpfung der Gemeinen Quecke ähnelte einer technischen Revolution. Die Anwendung dehnte sich schnell auch auf Bereiche außerhalb des Ackerbaus aus. Zu den vielen Einsatzbereichen von Glyphosat zählen zum Beispiel Dauerkulturen wie Obst- und Weinbau, Grünland, Forst, Zierpflanzenbau, Freiflächenpflege auf Nichtkulturland, Unkraut-

bekämpfung auf Verkehrsflächen wie etwa Gleisanlagen und selbst die nicht-professionelle Anwendung im Haus- und Kleingarten. In der Landwirtschaft richtete sich die Anwendung vorwiegend auf die Bekämpfung von Problemunkräutern und zur Aufwuchsregulierung in Anbauverfahren mit stark reduzierter Bodenbearbeitung, bis hin zur Direktsaat. Glyphosat ist hierbei systemrelevant für die Vermeidung oder Verminderung von Wind- und Wassererosion und für den wasserschonenden Ackerbau in ariden Regionen.

Vom Spezialpräparat zum Komplementär-Herbizid in HR-Kulturen

Roundup® entwickelte sich zu einem weltweit breit eingesetzten Spezialherbizid. Einen zweiten und starken Entwicklungsschub verursachte die Einführung von gentechnisch veränderten Kulturen mit einer Resistenz gegenüber Glyphosat Anfang der 1990er Jahren. Damit konnte eine normale Unkrautbekämpfung im Nachauflaufverfahren mit Glyphosat vorgenommen werden. Der Einsatz von konventionellen Herbiziden wurde in diesen Kulturen vollständig durch Glyphosat ersetzt. Der Siegeszug der Roundup-Ready®-Technik, der Kombination aus einer glyphosat-resistenten Kulturpflanzensorte und dem Komplementärherbizid Glyphosat, war in Ländern in Nord- und Südamerika sowie in Australien enorm. Der Großteil des weltweiten Anbaus von gentechnisch veränderten Kulturen (185 Mio. Hektar im Jahr 2016) bezieht sich auf Herbizidresistenz in Form von Glyphosatresistenz. Rund 90% des Anbaus von Mais, Soja und Baumwolle in den USA sind herbizidresistente Sorten.

Die Anwendung der GVO-Technik im Pflanzenbau und die Dominanz des Wirkstoffs Glyphosat mit der Roundup-Ready®-Technik führte auch zu sehr kritischen Diskussionen, die vor allem von Umweltorganisationen vorgebracht wurden. Wenngleich hierbei vielfach Ängste

und Befürchtungen in den Vordergrund gestellt werden; ein negativer Nebeneffekt ist Realität geworden, auch wenn es anfangs von der Pflanzenschutzmittelindustrie als unmöglich eingestuft wurde: Die Entwicklung von glyphosat-resistenten Unkräutern. Inzwischen sind 41 Unkrautarten bekannt, die eine Resistenz gegen den Wirkstoff Glyphosat entwickelt haben. Weltweit sind 296 unterschiedliche Fälle von Glyphosatresistenz in 28 verschiedenen Ländern dokumentiert.

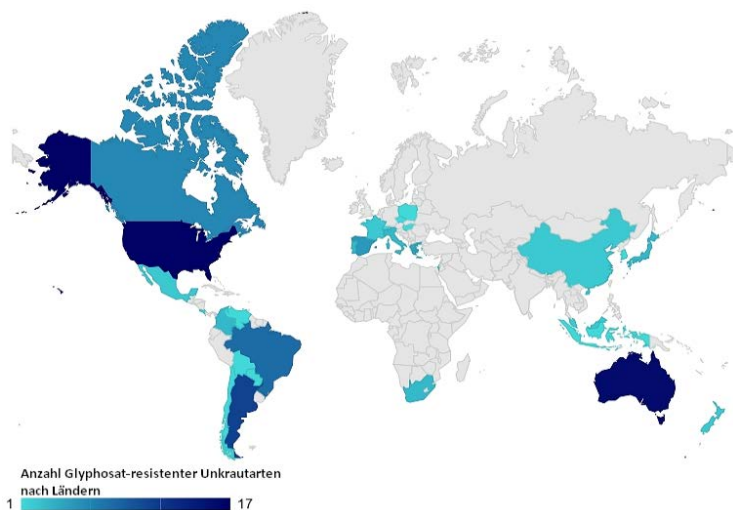


Abb. 3.1: Weltweite Verbreitung von Glyphosat-resistenten Unkräutern (Quelle: I. Heap, weedscience.org, Stand: Mai 2018)

Am stärksten betroffen sind die USA, gefolgt von Australien, Brasilien, Argentinien und Kanada. Der Anbau von Roundup-Ready-Kulturen ist jedoch nicht die einzige Ursache für die Selektion entsprechend resistenter Unkräuter. Diese treten auch auf langjährig und regelmäßig mit Glyphosat behandelten Flächen wie etwa im Dauerkulturanbau oder auf Verkehrsflächen auf.

Produktionsumfang

Aufgrund der Leistungsmerkmale, der spezifischen Anwendungsgebiete und der relativ hohen Wirkstoffaufwandmenge ist Glyphosat das weltweit sowohl flächen-, als auch mengenmäßig am stärksten eingesetzte Herbizid und Pflanzenschutzmittel. Die jährliche weltweite Produktion liegt derzeit bei etwa 850.000 Tonnen, wobei China der Hauptproduzent ist. Aufgrund des ausgelaufenen Patentschutzes wird Glyphosat von unterschiedlichsten Herstellern produziert und in Form von vielfältigen Präparaten vermarktet.

4. Einsatzumfang von Glyphosat

Die Entwicklung des Einsatzes von Glyphosat ist einzigartig und mit keinem anderen Herbizid oder Pflanzenschutzmittel vergleichbar. Seit dem Einführungsjahr 1974 hat sich die weltweite jährliche Einsatzmenge etwa um den Faktor 265 erhöht. Bei einem jährlichen Absatz von ca. 770 Tausend Tonnen im Bereich der Landwirtschaft kann rechnerisch jeder zehnte Hektar Ackerland mit einer durchschnittlichen Glyphosataufwandmenge behandelt werden.

International

Weltweit liegt die Einsatzquote von Glyphosat in der Landwirtschaft bei etwa 90 % der gesamten Verbrauchsmenge. In der Landwirtschaft wird etwa 50 - 60 % der Glyphosatmenge in Glyphosat-resistenten Kulturen verwendet.

Die ausschlaggebenden Faktoren für den weiterhin zunehmenden Einsatz von Glyphosat sind der zunehmende Anbau von Roundup-Ready®-Kulturen und Anbauverfahren mit stark reduzierter Bodenbearbeitung bis hin zu reinen Direktsaatanbau. Häufig handelt es sich auch um eine Kombination beider Faktoren, wie etwa im

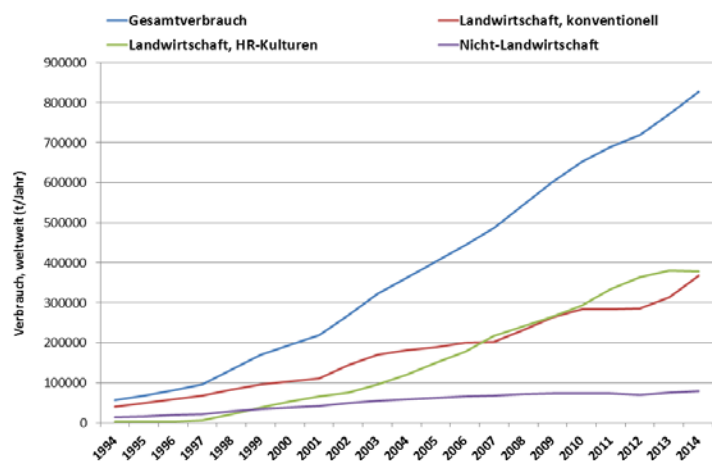


Abb. 4.1: Entwicklung des weltweiten Verbrauchs von Glyphosat
(Quelle: C.M. Benbrook, 2016)

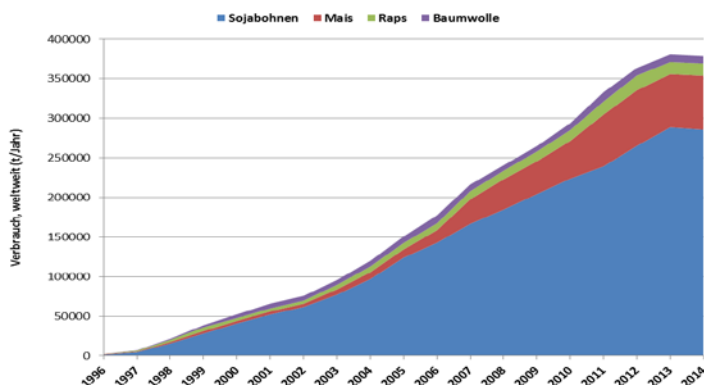


Abb. 4.2: Entwicklung des weltweiten Verbrauchs von Glyphosat in herbizidresistenten Kulturen
(Quelle: C.M. Benbrook, 2016)

Ackerbau von Nord-, Südamerika und Australien. Die Gründe für den zunehmenden Einsatz sind sowohl ökonomischer als auch ökologischer Natur (z.B. Bodenschutz, Wasserverbrauch).

Europa

Der Anteil am weltweiten Verbrauch beträgt für Europa nur 4 % bzw. rund 35 Tausend Tonnen

pro Jahr. Da der Anteil der weltweit landwirtschaftlich genutzten Fläche in Europa ca. 3,7 % beträgt, liegt der Glyphosat-Verbrauch in Europa auf dem Niveau des weltweiten Durchschnittsverbrauchs, obwohl in Europa Glyphosat-resistente Kulturen keine Rolle spielen. Der Hauptkonsum findet in Ländern Südeuropas im Obst- und Gemüsebau statt. Die Länder Spanien, Italien und Frankreich haben im Vergleich zu Deutschland oder Großbritannien einen doppelt bis fünffach höheren Verbrauch an Glyphosat. Die Anwendung erfolgt in Europa zum Großteil im Obst-, Gemüse- und Weinbau (ca. 40 %), gefolgt von Getreidebau (ca. 20 %). Weitere Ackerbaukulturen wie Raps, Sonnenblumen und Sojabohnen haben einen gleichwertigen Einsatzanteil von rund 5 %. Die Anwendung von Glyphosat in Maisanbau ist in Europa trotz des beträchtlichen Anbauumfangs mit ca. 2,5 % vergleichsweise gering.

Deutschland

Die Anwendung von Glyphosat hat in Deutschland seit 1994 kontinuierlich zugenommen. 2008 wurde ein Spitzenabsatz von jährlich 7.600 t Wirkstoff erreicht.

Seither ist eine Trendwende erkennbar. Die Absatzmenge von 3.447 t/J. in 2018 liegt auf dem Niveau von 2001. In Deutschland dominiert im Gegensatz zu dem durchschnittlichen europäischen Verhältnis der Einsatz im Ackerbau (ca. 70 %) im Vergleich zum Obst-, Gemüse- und Weinbau (ca. 20 %). Nach einer umfangreichen Betriebserhebung aus 2014/15 im deutschen Ackerbau erfolgt der

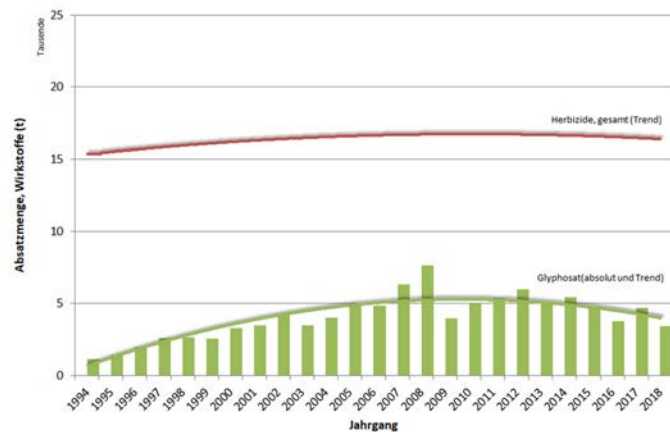


Abb. 4.3: Entwicklung des Glyphosat-Absatzes in Deutschland
(Quelle: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2020)

Einsatz von Glyphosat vorwiegend als Stoppelanwendung nach der Ernte (ca. 60 % Anteil

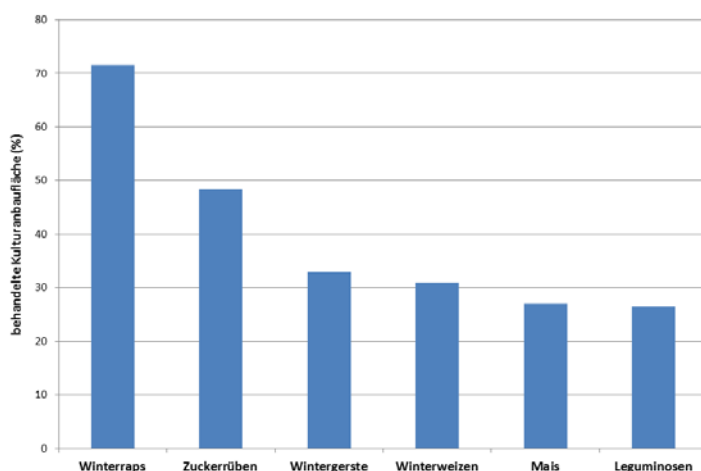


Abb. 4.4: Glyphosat-Anwendungsumfang in wichtigen Ackerbaukulturen in Deutschland
(Quelle: A. Wiese, et al., 2016)

gegenüber dem Einsatz zur Saat der Folgekultur (ca. 35 %). Die Vorerntebehandlung, primär im Getreidebau, ist dagegen absolut nachrangig (ca. 6 %). In der Summe lag die Einsatzintensität im Durchschnitt bei 37 % der Ackerfläche in Deutschland.

Im Verhältnis der Ackerkulturen dominiert bei der Stoppelbehandlung der Einsatz nach Wintererbsen, bei der Vorsaatbehandlung die Anwendung zu Zuckerrüben und Mais und bei der Vorerntebe-

handlung der Einsatz in Wintergerste. Eine Analyse auf Betriebsebene zeigt, dass der Glyphosateinsatz von Verfahren der konservierenden Bodenbearbeitung bestimmt wird. Neben den Boden- und Erosionsschutz sind ein Herbizidresistenzmanagement und eine möglichst effiziente Betriebsorganisation (AK/ha) Faktoren für den Glyphosateinsatz in größeren Betrieben.

Bayern

Für den Glyphosat-Einsatz in Bayern gibt es keine offizielle Statistik. Die Anwendung kann allerdings aus Erfahrungen der Beratungspraxis weitgehend sicher abgeleitet werden. Hiernach liegt der Anwendungsschwerpunkt bei der Stoppel-/Nacherntebehandlung mit ca. 140.000 ha nach Getreide und Raps, sowie der Vorsaats-/Vorauflaufanwendung mit ca. 80.000 ha zu Getreide und Mais. Die Anwendungen im Nachernte-/Vorsaatsverfahren im Feldgemüseanbau, die Einzelpflanzenbehandlung und die Narbenabtötung zur umbruchlosen Grünlanderneuerung, die Sikkation, der Einsatz zum Acker-Fuchsschwanz Resistenzmanagement sowie zur Rekultivierung sind mit jeweils ca. 2 – 6 Tausend Hektar relativ unbedeutend. Spezielle Anwendungen wie die Sikkation und die Narbenabtötung zur Grünlanderneuerung gehen aufgrund der

aktuellen öffentlichen Diskussion und den Regelungen auf Handelsebene massiv zurück.

Mit einem Einsatzumfang von ca. 240 Tausend Hektar und einem Verbrauch von 350 Tonnen/Jahr liegt die Anwendungsquote in Bayern bei etwa 11 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche (Bundesdurchschnitt: 38 % LF). Bei einem Anteil von 6 % an der deutschen Glyphosat-Verbrauchsmenge auf anteilig 20 % der LF liegt in Bayern

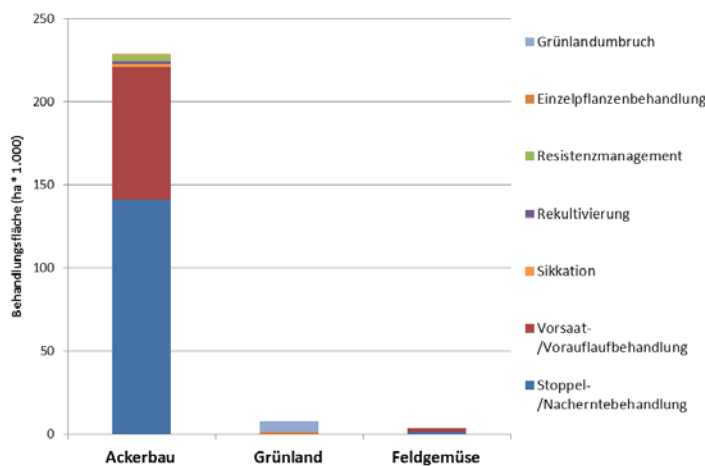


Abb. 4.5: Glyphosat-Anwendungsgebiete und -Anwendungsumfang in der bayerischen Landwirtschaft

die Einsatzintensität bei etwa 30 % im Vergleich zum durchschnittlichen Einsatz von Glyphosat in Deutschland.

5. Anwendungsgebiete und Alternativen

Für die in Deutschland im Ackerbau zugelassenen Glyphosat-haltigen Herbizide ist die Aufwandmenge auf max. 1.800 g Glyphosat je Hektar und Behandlung begrenzt. Bei sehr selten möglichen Behandlungsfolgen innerhalb von 40 Tagen darf die Wirkstoffmenge von 2.900 g/ha nicht überschritten werden. In der Praxis wird im Ackerbau ein mittlerer Wirkstoffaufwand von ca. 1.300 g/ha je Anwendung eingesetzt. Die zugelassenen Indikationen (Kultur und Zielunkraut) variieren sehr stark von Präparat zu Präparat. Eine für Herbizide exklusive Indikation haben 19 der im Ackerbau zugelassenen Glyphosat-haltigen Herbizide: In Acker-

baukulturen nach der Ernte oder nach dem Wiederergrünen gegen Unkräuter und Ungräser.

Tab. 5.1: Indikationen von Glyphosat-haltigen Herbiziden im Ackerbau und Grünland

(Quelle: Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, 2018)

Ziel/ Zweckbestimmung	Acker- Kratzdistel	Acker- Winde	Ampfer- Arten	Ausfall- getreide	Ausfall- kulturen	Ausfallraps	Ernte- erleichterung	Gemeine Quecke	Kartoffel- durchwuchs	Schosser- rüben	Sikkation	Ungräser	Unkraut- durchwuchs	Unkräuter	Zwiewuchs
Kultur															
Ackerbaukulturen				✓	✓				✓			✓		✓	
Ackerbohnen											✓	✓		✓	
Brassica-Arten											✓	✓		✓	
Feldgemüse												✓		✓	
Futter-/Zuckerrüben	✓									✓		✓		✓	
Futtererbsen											✓	✓		✓	
Getreide							✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Getreidestoppel		✓		✓				✓							
Gräser												✓		✓	
Klee-Arten												✓		✓	
Lein											✓	✓		✓	
Lupine-Arten											✓	✓		✓	
Luzerne-Arten												✓		✓	
Mais												✓		✓	
Raps											✓	✓		✓	
Rapsstoppel						✓						✓		✓	
Senf-Arten											✓	✓		✓	
Sorghum-Hirse												✓		✓	
Stilllegung/Rekultivierung												✓		✓	
Wicken												✓		✓	
Wiesen und Weiden			✓					✓				✓		✓	

In Bayern erfolgt eine Glyphosat-Anwendung auf ca. 11 % der Ackerfläche und < 1 % der Grünlandfläche, während im Bundesdurchschnitt die Behandlungsquote bei rund 31 % der Ackerfläche und 4 % der Grünlandfläche liegt. Der Behandlungsumfang der einzelnen Anwendungsgebiete ist hierbei sehr unterschiedlich.

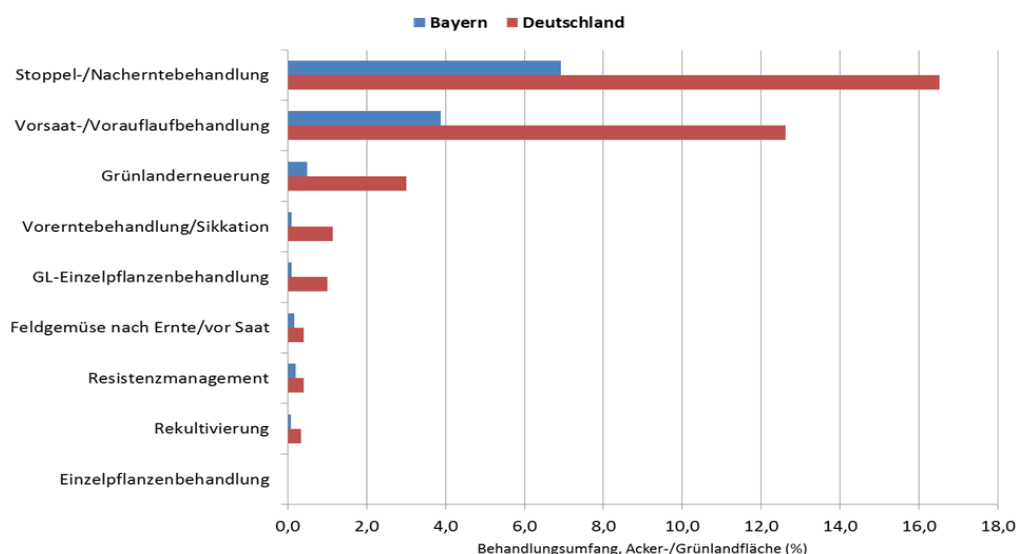


Abb. 5.1: Behandlungsumfang verschiedener Glyphosat-Anwendungsgebiete in Deutschland und Bayern im Vergleich (Quelle: Wiese et al., 2016; ergänzt)

5.1 Stoppel- /Nacherntebehandlung

Der Einsatz zur Bekämpfung von Wurzel- bzw. Problemunkräutern und von Ausfallkulturen auf der Stoppel bzw. nach der Ernte hat in Bayern mit einer Einsatzfläche von ca. 145.000 ha bzw. 7 % der Ackerfläche die relativ größte Bedeutung im Ackerbau. Hinsichtlich der Kulturen konzentrieren sich die Anwendungen auf den Einsatz nach der Ernte von Getreide und Winterraps. Die Anwendung nach Mais hat einen deutlich geringeren Umfang und der Einsatz nach der Ernte von Leguminosen oder Feldgemüse ist im Vergleich nur marginal.

Die Behandlungen richten sich vorwiegend gegen vorhandene, noch wüchsige Wurzelunkräuter wie z.B. Quecke, Schilf, Disteln, Ampfer, Landwasserknöterich und Kartoffeldurchwuchs. Nach Winterraps ist die Bekämpfung von Ausfallraps das hauptsächliche Anwendungsziel, während nach Getreide der Auflauf von Ausfallgetreide nur selten mit Glyphosat behandelt wird.



Abb. 5.1: Quecken-Bekämpfung nach der Getreideernte auf der Stoppel ist ein Hauptanwendungsgebiet für Glyphosat

Die chemische Bekämpfung von Problemunkräutern und Ausfallkulturen benötigt nach der Ernte genügend Zeit für das Wiederergrünen der Zielpflanzen, um eine ausreichende Blattmasse für die Wirkstoffaufnahme zu gewährleisten. Nach der Behandlung von Problem- bzw. Wurzelunkräutern ist zudem eine Wirkungsperiode von 14 bis 21 Tagen sinnvoll, um eine nachhaltige Wirkung zu erzielen. Gegen schwer bekämpfbare Unkräuter wird in der Regel die zulässige Wirkstoffmenge von 1.800 g/ha eingesetzt, während gegen Ausfallkulturen häufig eine reduzierte Wirkstoffmenge von 1.200 g/ha bereits ausreichend ist.

Neben der reinen Unkrautwirkung hat die Behandlung von Ausfallraps, Ausfallgetreide und Durchwuchskartoffeln zusätzlich einen phytosanitären Effekt, indem die Vermehrung und Übertragung von Krankheitserregern wie z.B. Kohlhernie, Getreidevirosen oder Krautfäule auf der Anbaufläche im Verlauf der Fruchtfolge unterbrochen wird. Eine Glyphosatbehandlung unterbricht in diesen Fällen die sogenannte „grüne Brücke“ für die Verbreitung der Krankheitserreger.

Alternativen für die Glyphosat-Anwendung auf der Stoppel und nach der Ernte

Die Bekämpfung von Problemunkräutern und Ausfallkulturen auf der Stoppel bzw. nach der Ernte kann alternativ auch mit mechanischen Behandlungsmaßnahmen erfolgen. Die Technik der mechanischen Bearbeitung muss an die jeweilige Verunkrautung angepasst werden. Zur Regulierung von Wurzelunkräutern, wie Quecke, Distel, Ampfer oder Landwasserknöterich sind mehrmalige (2-3 x), abgestuft tief gehend und möglichst diagonal versetzte Bearbeitungen mit ganzflächig arbeitenden Grubbern mit relativ geringem Strichabstand im Abstand von ca. 5 bis 10 Tagen erforderlich. Das Ziel der Bekämpfung sind die Wurzeln bzw. Rhizo-

me der Unkräuter. Die Bearbeitung kann daher unmittelbar nach der Getreideernte beginnen. Die Wirkung erfolgt durch eine mehrmalige mechanische Störung der Rhizome im Boden mit Auszehren der Nährstoffreserven und vor allem durch das Herausarbeiten an die Bodenoberfläche mit nachfolgendem Vertrocknen der Rhizome. Aus diesem Grund dürfen die sonst üblichen Nachläufer zur Bodenrückverfestigung nicht eingesetzt werden. Sinnvoll wären dagegen Nachläufer, die eine Enterdung der Wurzeln ermöglichen. Der Erfolg der mechanischen Bekämpfung von Wurzelunkräutern ist stark von den



Abb. 5.2: Ganzflächig schneidender und tief arbeitender Grubber zur Bekämpfung von Wurzelunkräutern nach der Ernte
(Werkbild, Fa. Lemken)

Witterungsverhältnissen über die erforderliche Behandlungsperiode abhängig. Nur bei ausreichender Trockenheit können die herausgearbeiteten Rhizome austrocknen und absterben. Auf schweren Böden ist eine derart intensive, tiefe Bearbeitung stark von den Boden- und Witterungsverhältnissen abhängig. Bei ungünstigen Bedingungen ist eine mechanische Bekämpfung von Wurzelunkräutern nicht empfehlenswert, da die Effizienz stark beeinträchtigt ist und Strukturschäden sich negativ auf den Kulturanbau auswirken können.



Abb. 5.3: Die mechanische Beseitigung von Ausfallraps sollte möglichst flach erfolgen (Werkbild, Fa. Horsch)

Witterungsverhältnissen über die erforderliche Behandlungsperiode abhängig. Nur bei ausreichender Trockenheit können die herausgearbeiteten Rhizome austrocknen und absterben. Auf schweren Böden ist eine derart intensive, tiefe Bearbeitung stark von den Boden- und Witterungsverhältnissen abhängig. Bei ungünstigen Bedingungen ist eine mechanische Bekämpfung von Wurzelunkräutern nicht empfehlenswert, da die Effizienz stark beeinträchtigt ist und Strukturschäden sich negativ auf den Kulturanbau auswirken können.

Gegen Ausfallkulturen und Samenunkräutern sind ebenfalls mehrmalige (2-3 x) Bodenbearbeitungsmaßnahmen erforderlich. Die Technik muss auch hier sehr spezifisch an die Standortbedingungen und Bodenverhältnisse angepasst werden. Zur Beseitigung bzw. Verringerung von Samenunkräutern, Ausfallgetreide und Ausfallraps ist eine erste Bearbeitung mit einem Strohstriegel sinnvoll, um die ausgefallenen Samen gleichmäßig zu verteilen und einen oberflächlichen Bodenkontakt für das Auf-

Witterungsverhältnissen über die erforderliche Behandlungsperiode abhängig. Nur bei ausreichender Trockenheit können die herausgearbeiteten Rhizome austrocknen und absterben. Auf schweren Böden ist eine derart intensive, tiefe Bearbeitung stark von den Boden- und Witterungsverhältnissen abhängig. Bei ungünstigen Bedingungen ist eine mechanische Bekämpfung von Wurzelunkräutern nicht empfehlenswert, da die Effizienz stark beeinträchtigt ist und Strukturschäden sich negativ auf den Kulturanbau auswirken können.



Abb. 5.4: Intensiv arbeitender Stoppelgrubber zur Beseitigung von Ausfallgetreide und neu aufgelaufenen Samenunkräutern
(Werkbild, Fa. Lemken)

laufen herzustellen. Die aufgelaufenen Keimpflanzen werden anschließend durch einen ein- bis zweimaligen Arbeitsgang mit flach laufenden und ganzflächig schneidenden Geräten, z.B. Stoppelgrubber oder Scheibeneggen, beseitigt. Nachläufer mit enterdender Wirkung wären hierbei von Vorteil, werden derzeit von der Landtechnikindustrie allerdings noch nicht angeboten.

Zur Beseitigung von Ausfallkartoffeln ist eine mehrmalige (2-3 x) tiefe und möglichst intensive Bodenbearbeitung notwendig, um möglichst viele Knollen mechanisch zu zerstören. Der letzte Arbeitsgang erfolgt am besten erst im Winter bei Frost. Bei mechanischer Bekämpfung von Ausfallkartoffeln ist eine Fruchtfolge mit z.B. Winterweizen weniger geeignet als der nachfolgende Anbau von Sommerkulturen wie z.B. Mais oder Sommergetreide.

Alle alternativen mechanischen Verfahren sind mehr oder weniger stark von günstigen Witterungsbedingungen und Bodenverhältnissen abhängig. Die Witterungsansprüche für eine möglichst effiziente Bekämpfung sind dabei sogar gegenläufig. Gegen Wurzelunkräuter sollte es ausreichend trocken, um ein Vertrocknen der Rhizome zu ermöglichen und gegen Ausfallkulturen und Samenunkräuter ausreichend feucht, um die ausgefallenen Samen zum Auflaufen zu bringen. Schwere, tonige Böden sind generell problematisch für die Wirkung der Bearbeitungsmaßnahmen und sind empfindlich hinsichtlich einer Belastung der Bodenstruktur.

5.2 Vorsaat- / Vorauflaufbehandlung

Die Bekämpfung von Unkräutern und Ausfallkulturen im Vorsaat- bzw. Vorauflaufverfahren ist mit einer Behandlungsfläche von etwa 80.000 ha (ca. 4 % AF) in Bayern das zweitwichtigste Anwendungsgebiet für Glyphosat. Der Einsatz erfolgt zweckmäßiger Weise vorwiegend beim Anbau von Kulturen im Mulch- oder Direktsaatverfahren. Beide Verfahren, inklusive der Streifenbodenbearbeitung, werden mit dem Ziel des Boden- und Gewässerschutzes als Maßnahmen des bayerischen Kulturlandschaftsprogramms (KULAP) mit einem Förderbeitrag von 100 bzw. 150 Euro/ha gefördert. Im Jahr 2017 lag die Beteiligung bei knapp 42.000 ha mit Schwerpunkt in den Kulturen Mais und Zuckerrüben. Beim Flächenanteil dieser Art der Glyphosat-Anwendung dominiert die Kultur Mais (ca. 62.000 ha) gefolgt von Getreide (ca. 10.000 ha) und Zuckerrüben (ca. 5.000 ha). Die Anwendung zum Anbau von Winterraps oder Körnerleguminosen hat nur eine geringfügige Bedeutung.

Der Einsatz erfolgt hauptsächlich im Frühjahr vor dem Anbau von Sommer-Reihenkulturen. Das Anwendungsziel ist die Bekämpfung von überwinterten Altunkräutern, Ausfallkulturen und, je nach Jahrgang bzw. Winterwitterung, nicht ausreichend abgefrorenen Winterzwischenfrüchten. Beim hauptsächlichlichen Einsatz in Mais-Mulchsaaten variiert daher der tatsächliche Behandlungsbedarf stark je nach Intensität der Altverunkrautung und Besatz an Ausfallkulturen (v.a. Getreide) und nicht abgefrorenen Zwischenfrüchten. In Mais-Mulchsaaten ist die Toleranz gegenüber einen üblichen Besatz mit Altverunkrautung relativ groß, da häufig vor der Saat Wirtschaftsdünger aufgebracht und mechanisch eingearbeitet wird und in der Kultur Mais ausreichend wirksame Herbizide zur Regulierung einer Alt- bzw. Restverunkrautung im Nachauflaufverfahren zur Verfügung stehen. Auf eine Behandlung mit

Glyphosat kann regelmäßig verzichtet werden, wenn im Vorherbst Ausfallgetreide bereits beseitigt wurde, die Winterzwischenfrucht hauptfruchtmäßig bestellt wird und eine relativ intensive Saatbettbereitung erfolgt. Im Rübenanbau ist diese Toleranz aufgrund der nicht ausreichend effizienten Rübenherbizide gegenüber Altunkräutern und der geringen Unkrautkonkurrenzleistung der Kultur nicht gegeben. Im Rübenanbau in konservierender Bodenbearbeitung erfolgt daher regelmäßig eine Vorsaatbehandlung mit Glyphosat.

Alternativen zur Vorsaat- und Vorauflofanwendung von Glyphosat

Die Verfügbarkeit von Alternativen für den Glyphosat-Einsatz hängt im Wesentlichen von Anbauverfahren und den Standortverhältnissen ab. Im Streifen- und Direktsaatverfahren (aktuell 1.500 ha im KULAP geförderte Anbaufläche) gibt es keine verfügbaren Alternativen. Eine mechanische, oberirdische Unkrautbekämpfung, z.B. durch Mulchen, ist nicht ausreichend effektiv und alternative Herbizide sind im Vorsaatverfahren nicht vorhanden bzw. nicht zugelassen. Im Mulchsaatverfahren kann ein Glyphosat-Einsatz regelmäßig durch eine entsprechend intensivere Bodenbearbeitung zur Saatbettbereitung ersetzt werden. Geeignet sind hierfür ein- bis zweimalige relativ flache, ganzflächig schneidende Bearbeitungsgänge mit Grubber, Grubber-Kombinationen oder Scheibeneggen. Durch diese notwendig intensive



Abb. 5.5: Zwischenfrüchte können auch mechanisch eingearbeitet werden
(Werkbild, Fa. Lemken)

Bearbeitung wird allerdings die Mulchabdeckung regelmäßig stark reduziert.

Ein für einen effektiven Erosionsschutz notwendiger Abdeckungsgrad von mindestens 30 % wird dabei in keinem Fall mehr gewährleistet. Eine derartige alternative mechanische Unkrautregulierung ist daher nur auf nicht erosionsgefährdeten Flächen (< 2 % Hangneigung) und gut strukturierten Böden sinnvoll. Bei leichten, schluffigen Böden ist in windoffenen Lagen

zudem das Risiko für Winderosion zu berücksichtigen. Die notwendige Bearbeitungsintensität schließt zudem eine Teilnahme am KULAP-Mulchsaatprogramm aus.

Abschließend bleibt noch festzuhalten, dass die alternative mechanische Unkrautregulierung von geeigneter Witterung und entsprechend bearbeitungsfähigen Böden abhängig ist, um keine Strukturschäden und Behinderung der Kulturentwicklung zu provozieren. In niederschlagsärmeren Regionen, wie etwa in Franken, kann eine intensive Bodenbearbeitung die Wasserversorgung für die Kulturen beeinträchtigen. In niederschlagsreicheren Regionen Südbayerns ist der Einfluss einer intensiveren Bodenbearbeitung auf das standortspezifische Erosionsrisiko zu berücksichtigen.

5.3 Einsatz zur Rekultivierung von Stilllegungsflächen

Die Unkrautbekämpfung auf temporär aus dem Anbau von Ackerbaukulturen genommenen bzw. stillgelegten Flächen mit Glyphosat ist hinsichtlich der Behandlungsfläche (ca. 1.600 ha; 0,1 % AF) ein marginales Anwendungsgebiet. Aus produktionstechnischer Sicht haben diese Anwendungen allerdings einen hohen Stellenwert. Insbesondere wenn es sich um die Bekämpfung von dauerhaft etablierten Wurzelunkräutern (Disteln, Quecken, etc.) oder schwer bekämpfbaren Sonderunkräutern (z.B. durch Einwanderung oder Einschleppung über Ansaatmischungen) handelt, gewährleistet der Einsatz von Glyphosat eine effektive und nachhaltige Bekämpfung. Hierdurch wird der Aufwand für die Wiederinkulturnahme reduziert und der Bedarf für zusätzliche Herbizidbehandlungen in den Folgekulturen vermindert. Das Potenzial an Einsatzflächen, die aktuell aus der ackerbaulichen Bewirtschaftung genommen wurden, liegt bei ca. 16.500 ha in Bayern.

Alternativen für die Rekultivierung von Stilllegungsflächen ohne Glyphosat

Beim Verzicht auf die Aufwuchs- bzw. Unkrautregulierung vor dem Anbau von Ackerkulturen auf stillgelegten Flächen mit Glyphosat ist eine mehr oder weniger intensive mechanische Unkrautbekämpfung durch mehrmalige Bodenbearbeitungsmaßnahmen erforderlich. Die notwendige Bearbeitungsintensität richtet sich nach der vorhandenen Vorverunkrautung. Gegen Wurzelunkräuter sind 2-3 tiefe Grubber-Bearbeitungsgänge notwendig, während bei Besatz mit reinen Samenunkräutern eine Zerkleinerung und Einarbeitung mit Fräsen, Zinkenrotoren, Scheibeneggen oder Grubber-Kombinationen mit 1-2 Arbeitsgängen vor einer



Abb. 5.6: Eine tiefe Pflugfurche gewährleistet eine sichere Rekultivierung von stillgelegten Ackerflächen (Werkbild, Fa. Lemken)

nachfolgenden Pflugfurche ausreichend ist.

Bei einem Besatz mit Wurzelunkräutern wird neben dem hohen Aufwand für die mechanische Bekämpfung in den nachfolgenden Ackerbaukulturen eine mehrmalige, zusätzliche mechanische Bekämpfung gegen die jeweiligen Wurzelunkräuter im Rahmen der Fruchtfolge erforderlich.

5.4 Anwendung von Glyphosat im Rahmen eines Resistenzmanagement

Für die Regulierung von multiresistentem Acker-Fuchsschwanz, der mit selektiven Herbiziden im Getreidebau nicht mehr ausreichend bekämpft werden kann, hat sich das Verfahren „falsches Saatbett“ in der Anbaupraxis bewährt. Durch eine vorgezogene Saatbettbereitung zu Wintergetreide wird der auflaufende Acker-Fuchsschwanz mit einer Glyphosat-Behandlung beseitigt und das Wintergetreide anschließend mit einem möglichst geringen Bodeneingriff eingesät. Durch das Verfahren wird der Besatz mit Acker-Fuchsschwanz in der

Kultur deutlich reduziert und es werden bei der Behandlung auch die multiresistenten Biotypen bekämpft. Das Verfahren „falsches Saatbett“ mit Glyphosat-Vorsaatbehandlung ist in kritischen Fällen für den wirtschaftlichen Anbau von Wintergetreide von großer Bedeutung. Trotz der inzwischen weiten Verbreitung von Acker-Fuchsschwanz ist der Bedarf für diese Sonderbehandlung in Bayern auf eine Fläche von ca. 4.000 ha (0,2 % AF) begrenzt. Der Einsatzbedarf nimmt allerdings aufgrund der fortschreitenden Herbizidresistenz kontinuierlich zu.

Alternative Resistenzmanagement-Maßnahmen

Mittel- und langfristig muss diese spezielle Resistenzmanagement-Maßnahme durch ackerbauliche Maßnahmen unterstützt werden. Der regelmäßige Einsatz von Glyphosat zur Bekämpfung von herbizidresistentem Acker-Fuchsschwanz ist kein nachhaltig erfolgversprechendes Resistenzmanagement. Das Verfahren „falsches Saatbett“ kann zur Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz auch ohne den Einsatz von Glyphosat vorgenommen werden. Hierzu wird der auflaufende Acker-Fuchsschwanz durch eine flache aber ausreichend intensive Bodenbearbeitung beseitigt. Die

Bekämpfung von multiresistenten Biotypen kann unter günstigen Witterungsbedingungen und Bodenverhältnissen das Niveau einer Glyphosat-Behandlung erreichen. Durch die ganzflächige mechanische Bearbeitung wird allerdings im Boden vorhandenes Samenpotenzial wieder aktiviert. Eine mechanische Bekämpfung von Acker-Fuchsschwanz als Stoppelbearbeitung oder im Verfahren „falsches Saatbett“ kann den Besatzdruck im Wintergetreideanbau daher nur begrenzt reduzieren und ist bei sehr hohen Besatzdichten mit multiresistenten Populationen nicht mehr für ein effektives Resistenzmanagement geeignet.



Abb. 5.7: Flache, aber intensive Bodenbearbeitung gegen Acker-Fuchsschwanzkeimpflanzen und Ausfallgetreide (Werkbild, Fa. Lemken)

5.5 Vorerntebehandlung

Bei Unkrautdurchwuchs in lagerndem Getreide und bei extremen Zwiewuchs kann die Erntefähigkeit durch eine Teilflächenbehandlung mit Glyphosat wieder hergestellt werden. Eine Vorerntebehandlung zur Sikkation ist in z.B. Brassica-Arten, Ackerbohnen und Futtererbsen zugelassen. Die Sonderanwendung (<http://www.lfl.bayern.de/ips/unkraut/138749/index.php>) hat in Bayern nur im Getreidebau, respektive in Wintergerste, die bei Starkregen frühzeitig ins Lager gehen kann, eine sehr geringe Bedeutung (ca. 2.000 ha; 0,1 % AF).

Saat- und Braugetreide darf nicht behandelt werden bzw. können behandelte Bestände auch aufgrund der beeinträchtigten Qualitätseigenschaften nur als Futtergetreide verwendet werden. Der Behandlungsbedarf ist nach Jahrgang und Region sehr unterschiedlich, da extreme Witterungsereignisse der eigentliche Auslöser für diesen Einsatz sind.

Ein Verzicht auf die Vorerntebehandlung zur Wiederherstellung der Erntefähigkeit hat die Vernichtung und Einarbeitung des Kulturbestandes zur Konsequenz. Alternative Verwendungen, wie zum Beispiel als Substrat für die Biogasproduktion, hängen stark von den örtlichen Möglichkeiten im jeweiligen Einzelfall ab.



Abb.5.8: Die Wiederherstellung der Erntefähigkeit von verunkrauteten, lagernden oder zwiewüchsigen Getreidebeständen ist ein sehr umstrittenes Sonderanwendungsgebiet für Glyphosat

5.6 Horst- und Einzelpflanzenbehandlung im Ackerbau

Im Ackerbau ist bei der Saatgutproduktion von Grassamen und kleinkörnigen Leguminosen (Luzerne, Klee, Wicken) eine Bekämpfung von solitär oder sehr kleinräumig im Bestand auftretenden Unkräutern, insbesondere Ampfer- und Distelarten, durch eine gezielte Streichbehandlung mit Glyphosat möglich. Der Einsatz erfolgt vorwiegend manuell mit Dochtstreichstäben, kann aber auch mit speziellen Streichgeräten (z.B. Rotowiper) vorgenommen werden. Das Hauptziel der Unkrautbekämpfung ist die Vermeidung von Unkrautsamenbesatz im Saatgut bzw. die Einhaltung der Besatzgrenzen bei der Feldanerkennung der Vermehrungsbestände. In Bayern ist dieser Einsatz so marginal, dass keine Flächenangabe möglich ist. In aller Regel erfolgt die Bereinigung der Vermehrungsflächen durch manuelle bzw. mechanische Unkrautbekämpfung in Form von Ausstechen, Ausreißen oder Abmähen.

5.7 Horst- und Einzelpflanzenbehandlung gegen Ampfer- und Distel-Arten im Dauergrünland



Abb. 5.9: Zur Einzelpflanzenbehandlung im Streichverfahren gegen Ampfer werden selektive Grünlandherbizide empfohlen

Diese Sonderbehandlung mit Glyphosat im Streichverfahren ist eine sehr gezielte, umweltschonende und nachhaltige Bekämpfung von Problemunkräutern. Aufgrund des Schädigungsrisikos für die angrenzende Grünlandnarbe wird diese Anwendung grundsätzlich von der Officialberatung nicht empfohlen. Die Bekämpfung der Problemunkräuter erfolgt vorwiegend mit zugelassenen, selektiven Grünland-

herbiziden im Streich- oder Punktspritzverfahren, oder alternativ durch manuelle, mechanische Einzelpflanzenbehandlung (Ausstechen, Abmähen).

5.8 Narbenabtötung zur umbruchlosen Grünlanderneuerung

Die Grünlanderneuerung ist die letztmögliche Maßnahme, um bei einer starken Verunkrautung, die durch Pflegemaßnahmen und Einsatz von selektiven Herbiziden nicht mehr sachgerecht reguliert werden kann, eine ökonomische Grünlandbewirtschaftung und die Produktion eines wertvollen Grundfutters wieder herzustellen. Für die umbruchlose Grünlanderneuerung mit Zerstörung der verunkrauteten Altnarbe und Neuansaat im Schlitz- bzw. Direktsaatverfahren ist der Einsatz von Glyphosat als Vorsaatbehandlung systemrelevant und unverzichtbar. Der Bedarf für diesen Einsatz beschränkt sich bei der Grünlandbewirtschaftung in Bayern auf nur wenige Einzelfälle. Aufgrund der Größe der Dauergrünlandfläche resultiert dennoch bei einer Behandlungsquote von nur ca. 0,5 % der Grünlandfläche eine Behandlungsfläche von etwa 5.000 ha. In Folge von unsachlichen Medienberichten haben mehrere Molkereien in ihrer Abnahme und Lieferverträgen den Einsatz von Glyphosat bei den Milchlieferbetrieben untersagt. Dieses vertragsrechtliche Anwendungsverbot wird häufig nicht nur für den Einsatz von Glyphosat im Grünland, sondern auch im Ackerbau erteilt. Der bereits marginale Einsatz von Glyphosat zur Grünlanderneuerung geht daher in einzelnen Regionen bzw. Molkereieinzugsgebieten weiter zurück.

Alternative Grünlanderneuerung ohne Glyphosat

Als Alternative kann eine Grünlanderneuerung auch durch eine intensive mechanische Zerstörung der Altnarbe, wendende Bodenbearbeitung, feinkrümelige Saatbettbereitung und Neuansaat im Blanksaatverfahren erfolgen. Neben dem relativ hohen Aufwand für dieses



Abb.5.10: Auf ebenen, nicht erosionsgefährdeten Standorten kann eine notwendige Grünlanderneuerung auch durch intensive Bodenbearbeitung erfolgen (Werkbild, Fa. Lemken)

Verfahren sind eine starke Belastung der Bodenstruktur und die Inkaufnahme eines hohen Erosionsrisikos erhebliche negative Nebeneffekte des mechanischen Umbruchs zur Grünlanderneuerung. Das gilt insbesondere für die Grünlandregionen in Südbayern mit hohen Niederschlägen und stark hängiger Topographie.

Im Gegensatz zur umbruchlosen Grünlanderneuerung erfolgt beim mechanischen Umbruch keine nachhaltige Bekämpfung von Wurzelunkräutern, insbesondere von

Ampfer. Die intensive Bodenbearbeitung verursacht zudem eine Aktivierung des Bodensamenpotenzials von Samenunkräutern. Die mit der Blanksaat auflaufenden Unkräuter können häufig nicht ausreichend durch einen Schröpfschnitt reguliert werden, sondern müssen durch

den Einsatz selektiver Grünlandherbizide in der Etablierungsphase der Neuansaat bekämpft werden.

6. Ökonomische Bedeutung von Glyphosat im Ackerbau

Aufgrund der hohen internationalen Bedeutung von Glyphosat gibt es eine Fülle von Veröffentlichungen zu diesem Wirkstoff. Analysen und Bewertungen zur Wirtschaftlichkeit sind da-

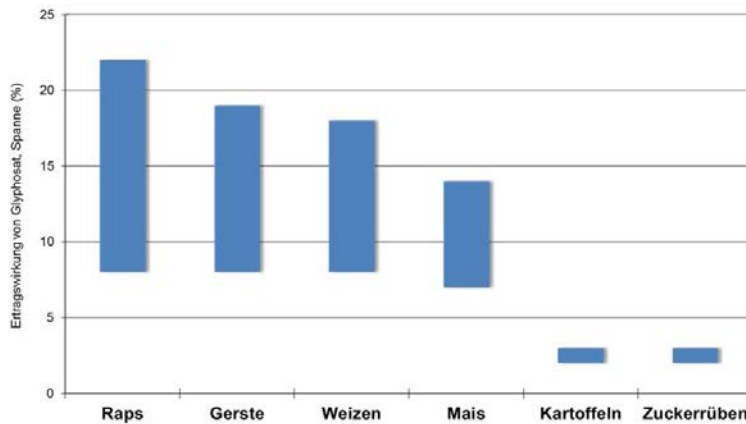


Abb. 6.1: Ertragswirkungen von Glyphosat in wichtigen Ackerbaukulturen
(Quelle: Kim, Ruster & Eggeling, 2017)

runter allerdings nur sehr spärlich vertreten. Die ökonomischen Vorteile von Glyphosat-resistenten Ackerbaukulturen werden trotz der Entwicklung von Glyphosat-resistenten Unkräutern nicht in Frage gestellt. Eine effektivere Unkrautbekämpfung mit niedrigeren Produktionskosten und höheren Erträgen sind die entscheidenden Faktoren für die vorherrschende Anwendung im Ackerbau in Nord-, Südamerika und Aust-

ralien. Der wirtschaftliche Nutzen von Glyphosat-resistenten Kulturen bei Mais, Sojabohnen, Baumwolle und Zuckerrüben wird für US-amerikanische Landwirte auf etwa 1,3 Milliarden US-Dollar (\$) pro Jahr geschätzt. Selbst für die Europäische Union (EU), in der der Anbau von Glyphosat-resistenten Kulturen keine Bedeutung hat, wird der Einkommensbeitrag durch den konventionellen Einsatz von Glyphosat in der Landwirtschaft mit ca. 1,3 Milliarden Euro (€) pro Jahr bewertet.

6.1 Bedeutung für den deutschen Ackerbau

Im deutschen Ackerbau liegt der Nutzen von Glyphosat vor allem in der Unterstützung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren, der effektiven Bekämpfung von Unkräutern und Ausfallkulturen mit entsprechenden Ertragswirkungen, dem Resistenzmanagement und der Wiederherstellung der Erntefähigkeit von verunkrauteten und lagernden oder zwiewüchsigen Getreidebeständen. Der Nutzen für deutsche Landwirte wird auf rund 145 Mio. € pro Jahr geschätzt.



Abb. 6.1: Mulchsaat von Mais – auf Hanglagen für den Erosionsschutz unverzichtbar

In dieser Kalkulation sind die unmittelbaren verfahrenstechnischen Einsparungen (vor allem Arbeitszeit- und Maschinenkosten) und Ertragswirkungen berücksichtigt. Mittelbare und langfristige Effekte im Bereich des Boden-, Gewässer- und Klimaschutzes sind nicht einkalkuliert, obwohl die Vermeidung von externen Kosten durch Bodenverdichtung, Erosion, Hochwasser, Nährstoff- und Wirkstoffbelastung sowie Klimawandel den vorstehenden Betrag um ein Mehrfaches übersteigen können.

6.2 Betriebliche und produktionstechnische Aspekte

Auf regionaler und einzelbetrieblicher Ebene ist der Nutzen von Glyphosat sehr unterschiedlich. Einerseits bewegt sich die Einsatzpraxis von sporadischen Anwendungen gegen Problemunkräuter bis hin zum systematischen Einsatz im Mulch- und Direktsaatverfahren. Andererseits sind auch die einzelbetrieblichen Möglichkeiten für die Anwendung von alternativen Verfahren sehr unterschiedlich ausgeprägt. Eine aktuelle bundesweite Betriebsbefragung zeigt eine betriebspezifische Charakterisierung in der Anwendung und Wertigkeit von Glyphosat für den Ackerbau.

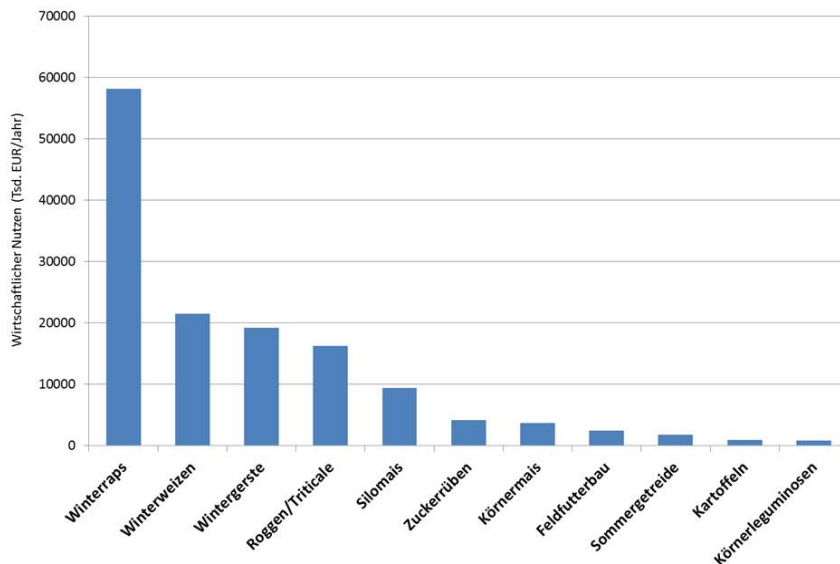


Abb. 6.2: Wirtschaftlicher Nutzen der Anwendung von Glyphosat in verschiedenen Ackerbaukulturen in Deutschland
(Quelle: Steinmann, Dickeduisberg & Theuvsen, 2012)

Die geringste ökonomische Bedeutung findet sich in kleineren Betrieben (Durchschnitt 68 ha AF) und Betrieben mit regelmäßigem Pflugeinsatz (Pfluganteil durchschnittlich 60-80 %), unabhängig von der Fruchtfolgegestaltung. Demgegenüber stehen Betriebe, die standort- oder betriebsbedingt vorwiegend konservierende Bodenbearbeitung betreiben (Pfluganteil durchschnittlich 15-30 %). Einen

hohen Stellenwert für den Betriebserfolg hat die Glyphosat-Anwendung insbesondere für Großbetriebe (durchschnittlich 1600 ha AF) und stark rationalisierte Betriebe (durchschnittlich 0,7 AK/100 ha) aufgrund der Kosteneinsparung, dem Erosionsschutz und Resistenzmanagement. Typische Mulchsaatbetriebe schätzen die Notwendigkeit und Abhängigkeit von Glyphosat-Anwendungen für den Betriebserfolg dagegen eher geringer ein.

Dennoch hat Glyphosat zur Unterstützung der konservierenden Bodenbearbeitung bei Mulchsaatanbau verschiedener Ackerbaukulturen eine hohe wirtschaftliche Bedeutung.



Abb.6.2: Direktsaat von Rügen im Strip-Till-Verfahren ist auf eine sichere Bekämpfung der Altverunkrautung vor der Saat angewiesen

Für das Direktsaatverfahren ist Glyphosat systemrelevant, da Altunkräuter und Ausfallkulturen im Nachauf-
lauf mit den verfügbaren Herbiziden nicht ausreichend bekämpft werden können. Dieses Anbauverfahren wird in Deutschland allerdings nur relativ selten im Ackerbau angewendet. Der wirtschaftliche Nutzen von Glyphosat für das Mulchsaatverfahren ergibt sich aus den Kosten für alternative Maßnahmen zur Unkrautregulierung unter Beibehaltung der Mulchsaat oder für die Umstellung auf eine wendende Bodenbearbeitung ohne Glyphosat. In beiden Fällen würde sich im Mittel über verschiedene, praxisübliche Fruchtfolgen ein Verlust der Direktkosten- und arbeitserledigungskostenfreien Leistung von durchschnittlich 75 bis 98 €/ha ergeben.

Die Beibehaltung der Mulchsaat würde aufgrund der zusätzlichen Bodenbearbeitungsmaßnahmen hierbei relativ höhere Kosten verursachen als die Umstellung auf den Pflugeinsatz.

6.3 Bedeutung für die bayerische Landwirtschaft

Der wirtschaftliche Vorteil für den Einsatz von Glyphosat im Ackerbau liegt für die bayerische Landwirtschaft nach eigenen Berechnungen bei etwa 11 Mio. € pro Jahr. In dieser Kalkulation sind keine Ertragswirkungen aufgrund geringerer Unkrautbekämpfungsleistung durch einen Verzicht auf Glyphosat und langfristige, externe Effekte im Bereich Boden- und Gewässerschutz berücksichtigt. Die relativ

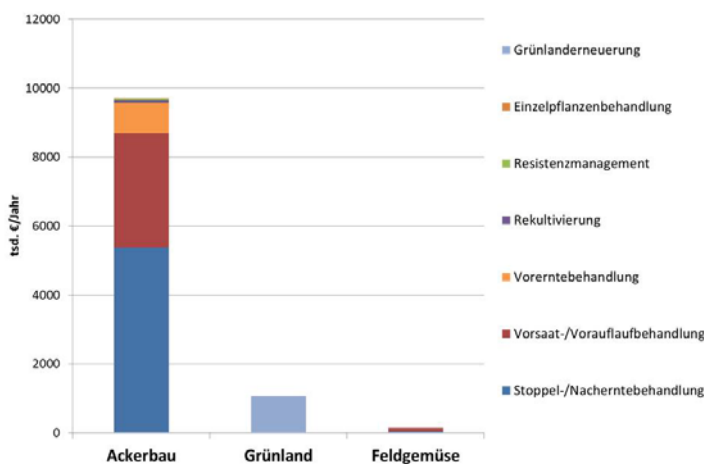


Abb. 6.3: Wirtschaftlicher Nutzen der Anwendung von Glyphosat in der bayerischen Landwirtschaft je nach Einsatzgebiet und Anwendungsverfahren

höchste wirtschaftliche Bedeutung hat die Stoppel- und Vorsaatbehandlung mit einem Nutzwert von jeweils ca. 5,3 bzw. 3,3 Mio. Euro pro Jahr. Im Weiteren sind noch die umbruchlose Grünlanderneuerung und die Vorerntebehandlung trotz eines sehr geringen Einsatzumfangs mit einem Nutzwert von etwa 1,0 bzw. 0,9 Mio. € pro Jahr von Bedeutung.

Auf einzelbetrieblicher Ebene ist die Bedeutung von Glyphosat für Betriebe mit konservierender Bodenbearbeitung besonders hoch. Die betrifft sowohl die Regulierung von Altverunkrautung vor der Saat, als auch die Bekämpfung von Wurzelunkräutern, die

in diesen Anbausystem relativ häufiger auftreten. Die wirtschaftliche Relevanz konzentriert sich auf Regionen und Standorte mit hohem Erosionsrisiko, wie etwa das Tertiäre Hügelland, oder mit besonders schwierig zu bearbeitenden Böden, wie z.B. Gips-Keuper-Standorte in Franken. Ansonsten gibt es in

Bayern auch viele Betriebe, für die das Herbizide Glyphosat keine, oder nur eine sehr geringe Bedeutung für die sporadische Bekämpfung von Wurzelunkräutern hat.

7. Verbleib und Verhalten in der Umwelt

Die weltweit verfügbaren Studien zum Umweltverhalten und zur Wirkung von Glyphosat auf sogenannte Nicht-Ziel-Organismen sind sehr umfangreich. Es handelt sich dabei aber vorwiegend um die Anwendung im Zusammenhang mit dem Anbau von Glyphosat-resistenten Kulturen, der in Europa keine Bedeutung hat.

Der Wirkstoff Glyphosat ist ein chemisch-synthetisches Herbizid mit einer relativ hohen biologischen Aktivität. Wie bei jedem Pflanzenschutzmittel kann es durch die Anwendung und den Austrag des Wirkstoffs von der Behandlungsfläche zu direkten und indirekten unerwünschten Nebenwirkungen in der Umwelt kommen. Das Potenzial dieser im Zulassungsverfahren überprüften Nebenwirkungen wird nachfolgend beschrieben. Weitere Aspekte infolge des Wirkstofftransfers, insbesondere in der Futtermittel- und Nahrungskette, sind nicht Bestandteil dieser Information.

7.1 Verbleib im Boden

Das Bindungsverhalten (Adsorption) von Pflanzenschutzmitteln im Boden ist entscheidend für die Mobilität, respektive das Versickerungs- und Abschwemmungsverhalten und die biologische Aktivität. Die große Mehrzahl der Pflanzenschutzmittelwirkstoffe wird im Boden an Humuspartikeln bzw. an organischer Masse gebunden. Glyphosat wird dagegen außergewöhnlich stark an Bodenmineralien gebunden. Die stärkste Bindungsleistung tritt bei dreiwertigen Aluminium- und Eisenoxiden auf (z.B. Allophan, Imogolite, Ferrihydrite und Goethite). Die Bindung an den Endpositionen von Silikatschichtmineralien ist dagegen deutlich schwächer.

Die Bindungsleistung wird vom pH-Wert beeinflusst, bewegt sich aber in einer relativ großen Spanne von pH 4-8. Höhere pH-Werte reduzieren die Bindungsleistung. Eine Kalkung erhöht dennoch die Bindungsfähigkeit, da der pH-Wert-Anstieg von einer zunehmenden Kapazität an Al- und Fe-Bindungskomplexen überkompensiert wird. Ähnlich kann sich der Gehalt an organischer Substanz auswirken. Einerseits blockiert ein höherer OS-Gehalt die Metalloxid-Bindungsstellen und andererseits nimmt deren Bindungskapazität bei höherem OS-Gehalt zu.

Eine weitere wichtige Variable ist die Bodentemperatur. Bei einer Steigerung um 10 °C erhöht sich die Glyphosat-Bindungskapazität um den Faktor 2-3. Dies ist ein Aspekt, der sich im Zusammenhang mit dem Klimawandel auswirken könnte.

Der Wirkstoff Glyphosat konkurriert im Boden als Phosphat-haltiges Molekül mit Phosphaten um dieselben Bindungsstellen. Diese Bindungskonkurrenz ist allerdings sehr stark von den jeweiligen Metalloxiden abhängig. Hierbei gibt es Mineralkomplexe, die spezifisch Glyphosat oder Phosphonate binden und andere, die beide Substanzen anlagern können. Speziell bei Goethiten und Gibbsiten können freie Phosphate Glyphosat von den Bindungsstellen ablösen. Die Anwendung von Glyphosat auf entsprechenden Standorten mit einer sehr hohen Phosphatversorgung, geringem Grundwasserabstand und

kurz vor stärkeren Niederschlägen erhöht daher das Versickerungsrisiko und das Risiko einer Grundwasserkontamination.

7.1.1 Wirkstoff-Abbau

Der Abbau von Glyphosat erfolgt im Boden nahezu ausschließlich auf biotischem Weg durch verschiedene Bakterien, Actinomyceten, Pilze und weitere Mikroorganismen. Hierbei nutzen die Bodenorganismen Glyphosat als Phosphatquelle. Hohe Phosphatgehalte im Boden können daher die Abbaugeschwindigkeit negativ beeinflussen. Das für den Abbau entscheidende Enzym Glyphosat-Oxidoreductase ist derselbe Enzymkomplex, der für die Glyphosat-Resistenz bei Roundup-Ready-Kulturen verantwortlich ist. Der Abbau erfolgt über zwei verschiedene Pfade. Der eine führt als Zwischenprodukt zu Sarcosin, der andere zum Hauptmetaboliten Aminomethylphosphonic-Säure (AMPA). Die Endprodukte beider Abbaupfade sind CO_2 und NH_3 . Die Abbaugeschwindigkeit ist stark von den Bodenverhältnissen und der mikrobiellen Aktivität, insbesondere den Gehalt an Pseudomonas-Bakterien, abhängig. Höhere Temperaturen beschleunigen den Abbau, während ein hohes Bodenbindungspotenzial für Glyphosat negativ mit der Abbauleistung korreliert ist. Die mittlere Halbwertszeit liegt im Freiland für Glyphosat bei 24 Tagen (Spanne von 6 bis 41 Tagen). Der Metabolit AMPA ist mit einer DT_{50} von 419 Tagen (284 bis 633 Tagen) dagegen wesentlich stabiler im Boden.

7.1.2 Mobilität im Boden

Glyphosat und AMPA können im Bodenwasser gelöst oder an Partikeln gebunden mit dem Bodenwasser verlagert werden. Bevorzugte Transportpfade sind Makroporen (z.B. Ton-Schrumpfrisse) einschließlich Bioporen (z.B. Regenwurmgänge) und Bereiche mit einer höheren hydraulischen Leitfähigkeit (z.B. Sandbänder oder hoch anstehendes, kluftiges Gestein). Der Austrag über Drainagen und oberflächlichen Abfluss (Runoff) in angrenzende Gewässer ist im Rahmen von Gewässer-Monitoringprogrammen belegt. Hinsichtlich der Versickerung in das Grundwasser wird das Risikopotenzial für Glyphosat und den Metaboliten AMPA als gering eingestuft. Entsprechend selten sind Befunde für beide Substanzen. Der Hauptrisikofaktor für den Eintrag in das Grundwasser ist Starkregen unmittelbar nach einer Anwendung. Der Bewuchs, die Bodenbearbeitung und die Phosphatversorgung haben dagegen nur eine geringe oder keine Bedeutung für das unmittelbare Versickerungsrisiko. Risikostandorte zeichnen sich durch einen flachen Grundwasserspiegel und ein schwaches Bodenbindungspotenzial für Glyphosat aus.

7.2 Verhalten in Pflanzen

Nach der Aufnahme über die Blattoberfläche wird Glyphosat rasch in Pflanzenteile mit meristematischem Wachstum, insbesondere in den Spross und die Wurzeln, verlagert. Die Wirkung setzt sehr zeitnah mit der Einstellung des Wachstums ein. Optische Symptome in Form von Chlorosen und Nekrosen sind allerdings erst nach etwa 7-14 Tagen erkennbar.



Abb.7.1: Wirkung von Glyphosat-Behandlungen gegen Altunkräuter in einer abgefrorenen Winterzwischenfrucht

einer verminderten Sensitivität bzw. natürlichen Resistenz gegenüber Glyphosat (z.B. Winden- oder Leguminosen-Arten). Als Ursache für diese verminderte Empfindlichkeit sind Mechanismen wie reduzierte Aufnahme und Verlagerung, Einlagerung des Wirkstoffs in Vacuolen oder eine Überexpression des Zielenzym verantwortlich.

Glyphosat-Resistenz

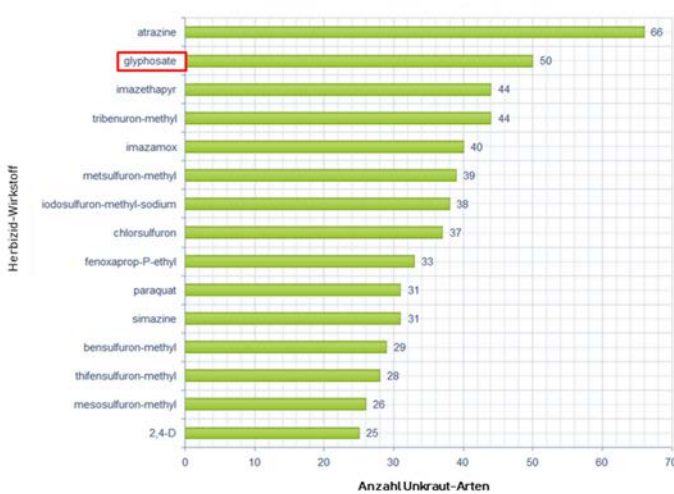


Abb. 7.1: Die 15 weltweit am stärksten von Resistenzentwicklung betroffenen Herbizide (Quelle: I. Heap, weedscience.org, 2020)

Die Wirkungsgeschwindigkeit ist von Aufwandmenge, der Applikationsqualität, der Pflanzenart, dem Entwicklungsstadium und den Umwelt- und Witterungsbedingungen abhängig. Eine besonders schnelle Wirkung erfolgt bei jungen, sensiblen Pflanzen unter warmen und wüchsigen Bedingungen. Glyphosat wirkt als Breitbandherbizid gegen eine Vielzahl von dikotylen und monokotylen Pflanzenarten. Es gibt dennoch eine Reihe von Unkräutern mit

20 Jahre nach der Einführung von Glyphosat wurde in Australien auf Flächen mit regelmäßiger und intensiver Anwendung das erste Unkraut (*Lolium rigidum*) mit einer selektierten Resistenz nachgewiesen. Aktuell sind 50 verschiedene Unkräuter mit Resistenz gegen Glyphosat bestätigt. Glyphosat zählt damit zu den am stärksten von einer Resistenzentwicklung bei verschiedensten Unkräutern, in unterschiedlichen Kulturen und Anbausystemen betroffenen Herbiziden. Das Problem betrifft nicht nur Länder mit intensivem Anbau von Roundup-Ready-Kulturen, sondern auch Länder in Europa mit

regelmäßigem Glyphosat-Einsatz in Dauerkulturen. In Deutschland wurde bisher kein Unkraut mit entsprechenden Resistenzen gefunden. Als Resistenzmechanismus ist primär eine Wirkortresistenz durch Mutation an den Aminosäurepositionen Pro106 und Thr102 des ESPS-Genoms verantwortlich. Bei vielen Glyphosat-resistenten Unkräutern treten multiple Resistenzen mit zwei bis fünf betroffenen Wirkmechanismen auf. Diese Resistenzentwicklung gefährdet die Roundup-Ready-Technologie erheblich. Neue herbizidresistente Kulturen, die auf Mehrfachresistenzen gegen Glyphosat und 2, 4-D oder Dicamba beruhen, erscheinen hierfür nur als mittelfristiger Lösungsansatz.

In sensiblen Pflanzen erfolgt aufgrund der raschen Wirkung und der fehlenden metabolischen Leistung nahezu kein Abbau von Glyphosat. In Roundup-Ready-Kulturen die über eine Resistenz auf Basis der

Glyphosat-Oxidoreductase (GOX) verfügen findet dagegen ein rascher Abbau von Glyphosat und Anreicherung des Metaboliten AMPA statt. Gelangt Glyphosat über Pflanzenmaterial in den Boden, wird der extrahierbare und nicht-extrahierbare Anteil im Boden erhöht und die Abbauleistung reduziert. Dieser Aspekt könnte bei der Anbaufolge von Roundup-Ready- und konventionellen Kulturen von Bedeutung sein.

Phänomen - Hormesis

Bei verschiedenen Pflanzenarten ist ein Hormesis-Effekt bei der Aufnahme von sehr geringen Glyphosat-Mengen bekannt. Die Pflanzen reagieren hierbei mit einem verstärkten Wachstum aufgrund der Überproduktion des EPSP-Enzyms.

7.3 Verlagerung in Gewässer

Glyphosat und der Metabolit AMPA zeichnen sich durch eine hohe Wasserlöslichkeit aus. Unter ungünstigen Bedingungen kann es daher zu Austrägen von Behandlungsflächen durch Abschwemmung und Drainageablauf in Oberflächengewässer und zur Versickerung in Grundwasser kommen. Aufgrund des hohen Bodenbindungspotenzials beider Stoffe ist das Versickerungsrisiko jedoch relativ gering. In einem umfangreichen, europaweiten Monitoring wurde der Grenzwert von 0,1 µg/l für Glyphosat in weniger als 1 % der Messungen überschritten. Für Deutschland liegt die Rate der Grenzwertüberschreitungen bei < 0,5 %. In Bayern konnte im Grundwassermonitoring bisher kein Hinweis auf eine Belastung von Glyphosat festgestellt werden. Nur in sehr wenigen Einzelfällen wurden Befunde unterhalb des Trinkwassergrenzwertes festgestellt.

Abschwemmung in angrenzende Oberflächengewässer kann nicht nur durch in der Wasserphase gelöste Wirkstoffe, sondern auch partikelgebunden erfolgen. Befunde von Glyphosat und AMPA treten daher in Oberflächengewässern relativ häufiger auf. In einem europäischen Fließgewässermonitoring wurden in Schweden Spitzenwerte von 370 µg/l Glyphosat gemessen. Im Vergleich lag der Spitzenwert in Deutschland mit 4,7 µg/l Glyphosat deutlich unter der regulatorisch akzeptablen Konzentration von 100 µg/l. In Bayern liegt die Befundrate für Glyphosat in Fließgewässern bei 40 bis ≥ 60 % je nach Charakteristik bzw. dem landwirtschaftlichen Einfluss des Fließgewässers. Mit einem bisherigen Spitzenwert von

3,8 µg/l Glyphosat wird der Basiswert für die Ableitung einer Umweltqualitätsnorm von 28 µg/l deutlich unterschritten. In allen bisher in Bayern untersuchten Seen lagen die Messwerte von Glyphosat unter der Bestimmungsgrenze.

Die Befunde für AMPA in Fließgewässern liegen auf dem Niveau von Glyphosat. Da AMPA auch beim Abbau von z.B. Wasch- und Reinigungs-

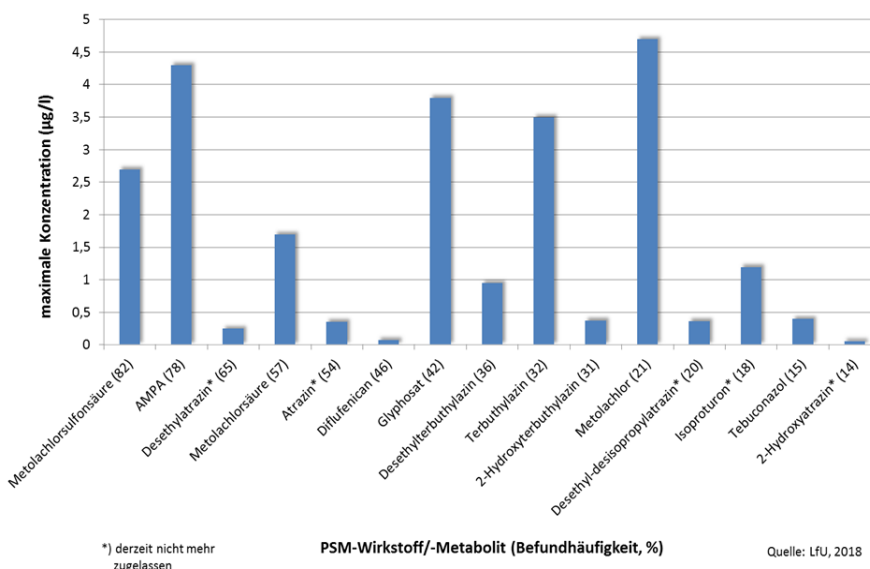


Abb. 7.2: Die am häufigsten in Oberflächengewässern in Bayern nachgewiesenen Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe und Metaboliten (Quelle: LfU, 2018)

mitteln anfällt, kann die Belastung nicht generell auf den Einsatz von Glyphosat in der Landwirtschaft zurückgeführt werden.

Glyphosat und AMPA sind in Bayern keine relevante Kontaminanten für Grund- und Oberflächengewässer. Eine Überwachung ist aufgrund des relativ hohen Einsatzumfangs dennoch geboten.

7.4 Austrag über die Luft

Glyphosat zeichnet sich durch einen sehr niedrigen Dampfdruck (0,013 mPa; 25 °C) aus und neigt daher nicht zur Verflüchtigung von behandelter Pflanzen- oder Bodenoberfläche. Bei der Applikation kann es allerdings zu Abdrift über Spritztropfen und Aerosolen in angrenzende Flächen kommen. Um Belastungen auf Nicht-Zielflächen, von Kulturen oder einen Eintrag in Oberflächengewässer zu vermeiden, können Sicherheitsmaßnahmen in Form von Spritzabständen oder der Einsatz von abdriftreduzierenden Düsen vorgenommen werden.

7.5 Indirekte Ökosystemwirkung

Neben den gezielten Einsätzen zur Bekämpfung von Problemunkräutern ist Glyphosat vor allem ein systemrelevantes Herbizid für die Produktionsverfahren Mulch- und Direktsaat. Neben arbeitswirtschaftlichen und ökonomischen Aspekten ist das Hauptziel dieser Produktionstechnik die Vermeidung bzw. Reduzierung von Bodenerosion und Abschwemmung von Nährstoffen und PSM-Wirkstoffen. In Bezug auf die Erosionsvermeidung liegt das mittlere Erosionspotenzial auf Ackerflächen in Bayern bei etwa 3,9 t/ha im Jahr (berechnet mit der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) ohne Berücksichtigung von Mulch- oder Direktsaatverfahren). Der aktuelle Anteil der Mulch- und Direktsaat liegt bei etwa 25 % der Ackerfläche. Bei einem kalkulierten Erosionspotenzial bei konservierender Bodenbearbeitung von ca. 1,6 t/ha im Jahr wird das Erosionsrisiko in Reihenkulturen dadurch um ca. 15 % oder um 1,1 Mio. Tonnen Oberbodenmaterial reduziert. Das vollständige Potenzial zur Erosionsminderung in Reihenkulturen durch konservierende Bodenbearbeitung liegt allerdings bei knapp 60 % bzw. ca. 1,5 Mio. Tonnen pro Jahr. Im Vorfeld von Erosionsereignissen können Pflanzenschutzmittelwirkstoffe und Nährstoffe von Ackerflächen durch Abschwemmung bzw. Run-off in angrenzende Oberflächengewässer ausgetragen werden. Die daraus resultierende Wirkstoff- und Nährstoffbelastung führt zu entsprechenden Schäden des ökologischen Zustands der Gewässer. Die durch die Anwendung von Glyphosat zur Regulierung



Abb. 7.2: Erosionsschutz durch Mais-Direktsaat in abgefrorener Winterzwischenfrucht und Glyphosat-Vorsaatbehandlung

von Altunkräutern und Ausfallkulturen unterstützte Mulchsaat bzw. mögliche Direktsaat reduziert dieses Belastungspotenzial. Mulchsaatverfahren, mit oder ohne Saatbettbereitung erfordern einen möglichst optimalen Anbau von Winterzwischenfrüchten.

Die Begrünung der Ackerflächen im Winterhalbjahr hält Nährstoffe, insbesondere Nitrat, von der Abschwemmung oder

Versickerung zurück, reduziert das Erosionsrisiko und fördert die Bodenstruktur. Eine Quantifizierung dieser Schutzwirkung ist allerdings aufgrund fehlender Vergleichsdaten für Bayern nicht möglich. Ein ebenfalls umweltrelevanter Effekt in Bezug auf den Klimaschutz ist der geringere Treibstoffverbrauch bei der nicht-wendenden Bodenbearbeitung. Durch die Mulch- und Direktsaat wird in Bayern derzeit ein Dieserverbrauch von ca. 1,2 Mio. Liter im Jahr eingespart. Das entspricht einem CO₂-Äquivalent von rund 3225 Tonnen pro Jahr.

Auswirkungen auf die Biodiversität

In der kritischen Diskussion zum Wirkstoff Glyphosat wird ein potenziell negativer Einfluss auf die Biodiversität in Agrarräumen als wichtiger Aspekt angeführt. In diesem Zusammenhang müssen direkte und indirekte Effekte berücksichtigt werden. Mit dem Einsatz zur Unkrautbekämpfung beseitigt Glyphosat die Nahrungsgrundlage für Nichtzielarthropoden, die diese Pflanzen als Nahrungsgrundlage nutzen. Aufgrund der nicht vorhandenen Dauerwirkung ist dieser Effekt allerdings nur temporär. Eine direkte schädliche Wirkung von Glyphosat auf terrestrische Insekten ist über das Zulassungsverfahren abgeprüft und nicht nachweisbar bzw. ohne bedenkliche Auswirkungen. Als indirekte Systemwirkung stellt sich die Frage, ob die durch die Anwendung von Glyphosat abgesicherte konservierende Bodenbearbeitung einen negativen Effekt auf die Artenvielfalt in Agrarräumen ausübt. Diese Fragestellung ist sehr komplex und bisher noch nicht ausreichend untersucht. Auch die alternative, wendende Bodenbearbeitung und intensive Saatbettbereitung für das Blanksaatverfahren verursacht Nebenwirkungen auf Nicht-Ziel-Organismen. Grundsätzlich sollten Anbauverfahren, die durch den Einsatz von Glyphosat unterstützt werden, nicht zu einem intensiveren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, mit den entsprechenden potenziellen unerwünschten negativen Auswirkungen auf die Biodiversität im Agrarraum führen.

8. Forschung an der LfL

Der Wirkstoff Glyphosat hat seit seiner Einführung für den Pflanzenbau eine spezifische Bedeutung für die einzelnen, exklusiven Anwendungsbereiche. Es traten aber bisher keine produktionstechnischen Fragen auf, die eine entsprechende Forschungsarbeit erfordert hätten. Es gab auch keinen Bedarf für Vergleichsprüfungen, da keine direkten Alternativ-Herbizide zur Verfügung stehen. Seit der zunehmend kritischen Diskussion und der Möglichkeit eines Verlustes der Zulassung stellen sich jedoch Fragen nach anbautechnischen Verfahren, die nicht auf den Einsatz von Glyphosat angewiesen sind. An der LfL laufen seit einigen Jahren entsprechende Untersuchungsprogramme und Forschungsprojekte.

Das Institut für Pflanzenschutz betreibt eine Versuchsserie in Kooperation mit den Pflanzenschutzdiensten weiterer Bundesländer zur Unkrautregulierung in Mais-Direktsaatverfahren. Wesentliches Ziel ist hierbei der Ersatz und die Minimierung der Glyphosat-Anwendung.

Die Institute für Agrarökologie, Pflanzenschutz und Tier und Technik sind mit einem Forschungsprojekt <http://www.lfl.bayern.de/ilt/pflanzenbau/marktfruchtanbau/189558/index.php> des Landwirtschaftsministeriums beauftragt, in dem die Direktsaat von Mais in nicht-abfrierende Winterzwischenfrüchte unter Verzicht auf den Einsatz von Glyphosat entwickelt wird.



Abb. 8.2: Versuchsanlage zur Direktsaat von Mais in nicht-abfrierende Winterzwischenfrüchte
(Bild: Kistler, ILT)

Am Institut für Pflanzenbau laufen Untersuchungen im Rahmen der Ressortforschung zur Bewirtschaftung und Pflege von Dauergrünland, in denen auch Varianten mit Verzicht auf den Einsatz von Glyphosat geprüft werden.

9. Zusammenfassung

Der Wirkstoff Glyphosat ist ein jahrzehntelang eingesetztes und bewährtes Herbizid. Während anfangs die effiziente und nachhaltige Bekämpfung von Problemunkräutern wie etwa von Quecken und Disteln als Stoppelbehandlungen den Vorrang hatte, wurde das Herbizid zunehmend zur Unterstützung von bodenschonenden Anbauverfahren im Rahmen der konservierenden Bodenbearbeitung verwendet. Ein relativ neues Anwendungsgebiet ist die gezielte Regulierung von herbizidresistenten Unkräutern, wie etwa Acker-Fuchsschwanz.

Glyphosat ist kein beliebiges, austauschbares Herbizid. Neben verschiedenen, kleinflächigen Sonderanwendungen konzentriert sich der Einsatz auf die Teilflächenbehandlung von Problemunkräutern nach der Ernte und die Regulierung von Altunkräutern und Ausfallkulturen vor der Mulch- und Direktsaat. Aus produktionstechnischer Sicht sind die effiziente und nachhaltige Unkrautregulierung und die Unterstützung von bodenschonenden Anbauverfahren mit relativ niedrigen Kosten für die Bodenbearbeitung und Arbeitserledigung von Bedeutung. Aus gesellschaftlicher und langfristiger landwirtschaftlicher Sicht liegt die Vorzüglichkeit vor allem in der Absicherung des Mulchanbauverfahrens mit den entsprechenden direkten und indirekten Wirkungen für den Boden-, Gewässer- und Klimaschutz.

Obwohl die Anwendungsintensität von Glyphosat in Bayern im Vergleich zum Bundesdurchschnitt bereits relativ niedrig ist, besteht die Herausforderung für Forschung, Beratung und Anbaupraxis den Einsatz noch zielgerichteter und sparsamer zu gestalten. Alternative Produktionsmethoden können die Abhängigkeit von einem einzelnen Wirkstoff vermeiden und die gesellschaftliche und politische Akzeptanz für den chemischen Pflanzenschutz und die konventionelle Landwirtschaft fördern.

Verwendete und weiterführende Literatur

- Anonym (2020) : Inlandsabsatz und Ausfuhr von Pflanzenschutzmitteln. Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, online https://www.bvl.bund.de/DE/Arbeitsbereiche/04_Pflanzenschutzmittel/01_Aufgaben/02_ZulassungPSM/03_PSMInlandsabsatzAusfuhr/psm_PSMInlandsabsatzAusfuhr_node.html , abgerufen am 26.06.2020.
- Anonym (2018): Active Substance Glyphosate. EU Pesticides database. Online <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>, abgerufen am 15.05.2018.
- Anonym (2018): pesticide properties database – glyphosate and AMPA. University of Hertfordshire, online <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb>, abgerufen am 15.05.2018.
- Anonym (2018): Glyphosat – Bewertung der Auswirkungen auf die Umwelt. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, online https://www.ages.at/download/0/0/6f96f1fcc93d86f7dd5756d35b7eb9da41327269/fileadmin/AGES2015/Themen/Pflanzenschutzmittel_Dateien/Umwelt_Bewertung.pdf, abgerufen am 15.05.2018.
- Anonym (2018): Glyphosat – Stellungnahme zur Regenwurm-Studie der BOKU. Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit, online https://www.ages.at/download/0/0/1518802cdceb5155583a5721de975f44c51cd97d/fileadmin/AGES2015/Themen/Pflanzenschutzmittel_Dateien/BOKU_Regenwurmstudie_Stellungnahme.pdf, abgerufen am 15.05.2018.
- Anonym (2017): Final review report for the active substance glyphosate. European Commission, Directorate-General for Health and Food Safety, SANTE/10441/2017 Rev 2, 13 p.
- Anonym (2013): Renewal Assessment Report Glyphosate. European Food Safety Authority (EFSA), Volume 1 – 3.
- Anonym (2011): Application for Approval Renewal (AIR 2) of Glyphosate – Annex II-III, Document N, overall assessment. European Food Safety Authority (efsa), p. 1-85.
- Augustin, B., K. Gehring (2020): Erste Glyphosat-Resistenz in Deutschland. Julius-Kühn-Archiv, 464, 339-343. Online DOI: <https://doi.org/10.5073/jka.2020.464.051>
- Benbrook, C.M. (2016): Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. Environmental Sciences Europe, 28(3), online <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>, 15 p.
- Brookes, G., P. Barfoot (2006): Global Impact of Biotech Crops – Socio-Economic and Environmental Effects in the First Ten Years of Commercial Use. AgBioForum, 9(3), p. 139-151.
- Dicke, D., R. Dittrich, 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 der Grünlandbewirtschaftung. Berichte aus dem Julius Kühn-Institut, 187, 11 S.
- Dickeduisberg, M., H.-H. Steinmann, L. Theuvsen (2012): Erhebungen zum Einsatz von Glyphosat im deutschen Ackerbau. 25. Deutsche Arbeitsbesprechung über Fragen der Unkrautbiologie und –bekämpfung, Julius-Kühn-Archiv, 434, S. 459-462.
- Dragus, A., D. Ristoiu (2015): The Impact of the Herbicide Glyphosate on Water Sources – Review. Studia UBB Ambientum, LX, 1-2, p. 49-56.
- Fairclough, B., P. Mal, S. Kersting (2017): Die wirtschaftliche Bedeutung von Glyphosat in Deutschland. Kleffmann Group, Lüdinghausen, 39 S.

- Gehring, K., T. Festner, E. Meinlschmidt, S. Thyssen, C. Tümmler, H. Weeber (2016): Bedeutung von Glyphosat für die chemische Unkrautregulierung im Maisanbau im Direktsaatverfahren. Julius-Kühn-Archiv, 454, S. 364-365.
- Gehring, K. (2014): Vermeidung von Herbizidausträgen durch Abschwemmung und Erosion. Getreidemagazin, 20(6), S. 8-12.
- Gianessi, L.P. (2005): Economic and herbicide use impacts of glyphosate-resistant crops. Pest Management Science, 61, p. 241–245.
- Gillezeau, C., M. van Gerwen, R.M. Shaffer, I. Rana, L. Zhang (2019): The evidence of human exposure to glyphosate: a review. Environmental Health, 18:2, <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0435-5>
- Guadalupe, J., C.P. Bautista, A.M. Rojano-Delgado, R. De Prado, J. Menéndez (2020): The First Case of Glyphosate Resistance in Johnsongrass (*Sorghum halepense* (L.) Pers.) in Europe. Plants, 9(3): 313. Online https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjAnf6KmZiqAhUvDGMBHaKIAwQQF-jAAeqQIBRAB&url=https%3A%2F%2Fwww.ncbi.nlm.nih.gov%2Fpmc%2Farticles%2FPMC7154863%2F&usq=AOvVaw1TH-VIdaCGi9jPOebqMKS_, abgerufen am 23.06.2020.
- Heap, I. (2020): Weeds Resistant to Glyphosate, 323 cases by species and country. The international survey of herbicide resistant weeds, online <http://weedsociety.org/Pages/filter.aspx>, abgerufen am 24.05.2020.
- Helander, M., I. Saloniemi, K. Saikkonen (2012): Glyphosate in northern ecosystems. Trends in Plant Science, 17(10), p. 569-574.
- 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, S. 1-156.
- Kim, R., W. Ruster, H. Eggeling (2017): The Cumulative agronomic and economic impact of glyphosate in Europe. StewardRedQueen, top-level EU28 results and country chapters, 26 p.
- Machulla, G., O. Nitzsche, W. Schmidt (2007): Minimierung des Stoffaustrages durch pfluglose Bodenbearbeitung. Neue Landwirtschaft, 11, S. 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), S. 124-132.
- Nessel, J. (2019): Konflikte zwischen Naturschutz und Landwirtschaft am Beispiel Glyphosat. Hochschule Neubrandenburg, Masterarbeit, Urn:nbn:de:gbv:519-thesis2019-0504-5, 168 S.
- Petersen, J. (2018): Konsequenzen des Glyphosateinsatzes im Ackerbau für Anbausysteme, Umwelt und Gesellschaft. Technische Hochschule Bingen, 38 S.
- 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), p. 604-607.
- Powles, S., C. Preston (2006): Evolved Glyphosate Resistance in Plants – Biochemical and Genetic Basis of Resistance. Weed Technology, 20, p. 282-289.
- Reaves, E. (2020): Glyphosate - Interim Registration Review Decision, Case Number 0178. US Environmental Protection Agency, Docket Number EPA-HQ-OPP-2009-0361, 36 p.

- Relyea R.A. (2005): The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. *Impact in Ecological Applications*, 15, p. 618–627.
- Sammons, R.D., D.C. Heering, N. Dinicola, H. Glick, A. Elmore (2007): Sustainability and Stewardship of Glyphosate and Glyphosate-Resistant Crops. *Weed Technology*, 21, p. 347-354.
- Scheithauer, M., M. Gierig, G. Straus, S. Simon-O'Malley, J. Fripan, I. Schlößer, T. Scheel, A. Maetze, M. Sengl, K. Gehring, J. Huber, J. Maier, W. Heller, S. Anstötz, M. Arndt, M. Jezussek (2018): Entwicklung der PSM-Belastung in bayerischen Gewässern – Bilanz nach 30 Jahren PSM-Monitoring. Bayerische Landesanstalt für Umwelt, Augsburg, 141 S.
- Schulte, M., L. Theuvsen, A. Wiese, H.H. Steinmann (2016): Die ökonomische Bewertung von Glyphosat im deutschen Ackerbau. 56. Jahrestagung der GEWISOLA „Agrar- und Ernährungswirtschaft: Regional vernetzt und global erfolgreich“, online <https://ageconsearch.umn.edu/record/244761/files/Schulte.pdf> , abgerufen 07.03.2017.
- Schulte, M., J. Thiel, L. Theuvsen (2016): Der Einsatz von Glyphosat im deutschen Sonderkulturanbau – Eine qualitative Erhebung und ökonomische Bewertung. *Thünen Report* , 44, S. 135-157.
- Steinmann, H.-H. (2013): Glyphosat – ein Herbizid in der Diskussion und die Suche nach dem „Notwendigen Maß“. *Gesunde Pflanzen*, 65, 47–56.
- Steinmann, H.-H., M. Dickeduisberg, L. Theuvsen (2012): Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection*, 42, p. 164-169.
- Stemmerich, K. (2018): Glyphosat – die Mischung macht's. *Toxichem Krimtech*, 85(3), S. 105-109.
- 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), p. 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, S. 249-254.
- Wiese, A. M. Schulte, L. Theuvsen, H.-H. Steinmann (2016b): Anwendungen von Glyphosat im deutschen Ackerbau – betriebliche Aspekte. *Julius-Kühn Archiv*, 452, S. 255-262.
- Wolber, D.M., H. Romundt, G. Warnecke-Busch (2016): Effektive Unkrautkontrolle im Verfahren Streifenfrässaat bei Mais – Brauchen wir Glyphosat? *Landwirtschaft ohne Pflug*, 5, S. 20-22.
- Zhang L., I. Rana, R.M. Shaffer, E. Taioli, L. Sheppard (2019): Exposure to Glyphosate-Based Herbicides and Risk for Non-Hodgkin Lymphoma: A Meta-Analysis and Supporting Evidence. *Mutation Research-Reviews in Mutation Research*, <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.02.001>

Impressum:

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
 Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan

Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Pflanzenschutz,
 Juni, 2020 © LfL