

Ökologische Auswirkungen des Einsatzes von Totalherbiziden in herbizidresistenten transgenen Kulturen

Hartmut Meyer und Volkmar Wolters

Synopsis

Ecological effects of the use of broad-spectrum herbicides in herbicide-resistant transgenic crops

The development and commercial use of herbicide resistant transgenic crops will lead to an increased application of certain active ingredients such as glufosinate ammonium (GLA) and glyphosate. GLA and its metabolites bear the risk of being leached. Reliable techniques for analysing contaminated ground water samples are still missing. Terbutylazin which shows a behaviour in soil comparable to glyphosate has already been detected in ground water. The resistance of soil microorganisms to GLA is soil and taxon specific. Soil fungi appear to be particularly susceptible. Ecological risks may be associated with the disappearance of species and their functions after GLA applications. Furthermore, GLA can alter the competition between soil pathogens and their antagonists. An increase of the pathogenic potential of soils after GLA application is discussed. The fast degradation of GLA in soil may reduce toxic effects observed in laboratory experiments. The GLA-containing herbicide Basta has no strong effect on beneficial insects. However, in contrast to other herbicides, Basta is highly toxic to spiders and mites. Contradictory data exist concerning the effects on aquatic arthropods. Basta is highly toxic for larvae of at least two insect species.

Herbizidresistenz, transgene Nutzpflanzen, Glyphosat, Glufosinat, Ökotoxikologie, Risikoanalyse

Herbicide resistance, transgenic crops, glyphosate, glufosinat, ecotoxicology, risk assessment

1 Einleitung

Mittels gentechnischer Methoden ist es seit über 10 Jahren möglich, Nutzpflanzen gegen die Wirkung von Totalherbiziden zu schützen (BOTTERMAN & LEEMANS 1988, DONN & ECKES 1992). Der Anbau transgener herbizidresistenter Sorten soll zu einer weiträumigen Verwendung der passenden Herbizide und zu einer Verdrängung bisher eingesetzter Mittel führen. Daraus ergibt sich die dringende Notwendigkeit, mehr über das Verhalten dieser Substanz in

natürlichen Systemen zu wissen. Leider hat sich die Diskussion um die Folgen der Freisetzung herbizidresistenter Nutzpflanzen weitgehend auf das primäre ökologische Risiko konzentriert, welches direkt vom gentechnisch veränderten Organismus ausgeht. Darunter ist etwa die Verbreitung der Transgene durch horizontale und vertikale Genflüsse zu verstehen. Mittels der Gentechnologie werden aber auch neue ackerbauliche Systeme mit dem Einsatz von Totalherbiziden in der Vegetationsperiode ermöglicht. Die Auswirkungen dieser Herbizide auf die Umwelt gelten als sekundäre Risiken gentechnisch veränderter Organismen und wurden in der Diskussion um die ökologischen Auswirkungen der Herbizidresistenz bislang vernachlässigt.

Zwei herbizide Wirkstoffe sollen in Deutschland in den nächsten Jahren in transgenen Kulturen zum Einsatz kommen: Glufosinat-Ammonium (GLA) und Glyphosat (Tab. 1). GLA und Glyphosat sind seit langem auf dem Markt und werden in Deutschland als aktive Bestandteile der Totalherbizide Basta und Roundup zum Einsatz auf Wegen, Gleisen und auf Ackerflächen außerhalb der Vegetationsperiode vertrieben. Für den Einsatz in transgenen Kulturen müssen die Wirkstoffe erneut zugelassen werden, die entsprechenden neuen Herbizide werden Liberty und Roundup Ultra heißen. Das in Deutschland angemeldete Liberty soll die gleichen Lösungsmittel und Detergenzien wie Basta enthalten, während für Roundup Ultra eine neue Formulierung gewählt wurde. Eine vorläufige Abschätzung der ökologischen Auswirkungen von Liberty ist somit anhand der vorliegenden Daten über Basta möglich.

Eine umfassende Bewertung der ökologischen Auswirkungen des Einsatzes von Totalherbiziden im Vergleich zu konventionellen Herbiziden wurde im Rahmen des Verfahrens zur Technikfolgenabschätzung (TA) des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz des Wissenschaftszentrums Berlin angestrebt (Tab. 2). Entsprechende Gutachten berücksichtigen Forschungsergebnisse bis zum Jahr 1991 (WILKE 1992, OHNESORGE 1993, SANDERMANN 1993). DAELE & al. (1994) zogen aus dem TA-Verfahren den Schluß, daß sich durch den Einsatz der Totalherbizide keine deutliche Entlastung des Bodens abzeichnet. SANDERMANN & al. (1996) beklagen den noch immer mangelhaften Wissenstand bezüglich der ökologischen Auswirkungen

Tab. 1
Übersicht der Wirkstoffe und Herbizide.

Wirkstoff (als freie Säure)	chemische Bezeichnung	Gegenion im Herbizid	Herbizide (Markenname) ^a	Hersteller
Glufosinat (Racemat aus DL- Phosphinothricin)	DL-Homoalanin-4- yl(methyl)- phosphinsäure	Ammonium	Basta, Ignite, Weedmaster in HR-Kulturen ^b Liberty	AgrEvo (joint venture Hoechst / Schering)
Glyphosat	N-(Phosphono- methyl)glycin	Isopropyl- ammonium	Roundup in HR-Kulturen ^b Roundup Ultra	Monsanto

Table 1
survey of active ingredients and herbicides.

a: Herbizide, die den gleichen Wirkstoff enthalten, können unter unterschiedlichen Markennamen vertrieben werden. Die Produkte unterscheiden sich z.B. in den Wirkstoffkonzentrationen, den Formulierungsstoffen oder den Anwendungsbereichen und werden z.T. nur in bestimmten Staaten angeboten.

b: HR = Herbizidresistenz

Tab. 2
Bodeneigenschaften der Wirkstoffe häufig eingesetzter
Herbizide.

Wirkstoff	Anbau- kultur ^a	mikrobieller Abbau ^b	Austragswahr- scheinlichkeit ^c	Austragswahr- scheinlichkeit ^d	Mobilität ^e
Atrazin ^f	MA	3–4	n. b. ^g		3
Bromoxynil	MA	3–4	2,1		n. b.
Carbetamid	WR	4		n. b.	3
Dicamba	MA	5	n. b.		4
Dimefuron	WR	3		3,1	2
Ethofumesat	ZR	3–4	3,1		n. b.
Fluazifop-p-buthyl	WR	5		n. b.	n. b.
Glufosinat-NH ₄	WR / ZR / MA	5	1,8	2,2	2,5
Glyphosat	WR / ZR / MA	3–4	1,9	2,4	2
Metamitron	ZR	5	2,1		n. b.
Metazachlor	WR	4–5		2,3	n. b.
Metolachlor	MA	4	2,4		n. b.
Phenmedipham	ZR	4	1,9		n. b.
Simazin	MA	3–4	n. b.		3
Terbutylazin	MA	3–4	2,1		n. b.

Table 2
soil properties of active ingredients of common herbicides.

Die graue Schattierung markiert die Wirkstoffe, die in herbizidresistenten Kulturen eingesetzt werden sollen.

Wertung der Eigenschaften für alle Spalten: 1 = sehr gering, 5 = sehr hoch

a: MA = Mais, WR = Winterraps, ZR = Zuckerrübe

b: nach Blume et al. (1992)

c: nach Wilcke (1992) für MA und ZR, Durchschnitt von Modellrechnungen mit 7 Böden
(außer Gley und Knickmarsch), klimatische Wasserbilanz 3/4

d: wie c, aber für WR

e: nach Blume et al. (1992)

f: in der BRD nicht mehr zugelassen

g: n. b. = nicht berechnet

herbizidresistenter Nutzpflanzen. Während über die Bodenwirkungen von Roundup und seines Wirkstoffes Glyphosat zahlreiche Publikationen unterschiedlicher Interessensgruppen mit zum Teil kontroversen Ergebnissen und Einschätzungen vorliegen (z.B. SMITH & OEHME 1992, COX 1995, SANDERMANN & al. 1996), mußte QUINN (1993) in einer Literaturübersicht zum Thema GLA und Wirkungen auf Bodenmikroorganismen einen überraschenden Mangel an Informationen feststellen. Nach Einschätzung der Firma Hoechst läßt der Einsatz des Herbizides Basta »keine Gefährdung für Flora und Fauna des Ökosystems befürchten« (DORN & al. 1992), das Herbizid erfüllt somit die gesetzlichen Bedingungen einer Zulassung. Nach Abschluß des TA-Verfahrens wurden zunehmend Arbeiten veröffentlicht, die auf zum Teil erhebliche toxische Effekte verschiedener GLA-haltiger Herbizide hinweisen. Diese Arbeiten werden im vorliegenden Beitrag dargestellt und diskutiert.

2 Persistenz und Mobilität von GLA und Glyphosat im Boden

Die hohe Wasserlöslichkeit von GLA und Glyphosat fördert die Möglichkeit einer Auswaschung aus dem Boden. BLUME & al. (1992) bewerten mit einer fünfstufigen Skala 37 der 53 in der BRD zugelassenen herbiziden Wirkstoffen als schnell (4: 18 Wochen $< t_{3/4} < 6$ Wochen) bis sehr schnell (5: $t_{3/4} < 6$ Wochen) abbaubar, was dem Eintrag ins Grundwasser entgegenwirkt. Der Abbau von GLA wird von BLUME & al. (1992) als sehr schnell bezeichnet. Der Abbau von Glyphosat wird als mittel bis schnell (3–4) eingestuft. Glyphosat steht damit in der gleichen Klasse wie Atrazin und seines Nachfolgers Terbutylazin und ist somit langsamer abbaubar als 70% der 1992 zugelassenen Wirkstoffe. Ein Ersatz konventioneller Herbizide durch Glyphosat muß also in Bezug auf die mikrobielle Abbaubarkeit als technologischer Stillstand oder Rückschritt bewertet werden (Tab. 2).

Bezüglich der Grundwassergängigkeit von GLA liegen drei experimentelle Arbeiten mit Großlysimenten vor. BEHRENDT & al. (1990) zeigten mit Sandgemischen, daß nach 175 Tagen in 1 m Tiefe 0,003% des applizierten ^{14}C -GLA ($0,08 \mu\text{g l}^{-1}$) und 0,075% des ersten Hauptmetaboliten ($1,5 \mu\text{g l}^{-1}$) im Sickerwasser erschienen. In einer zweiten Studie enthielt das Sickerwasser von 1,3 m tiefen Säulen mit einem schluffigen Sand und einer Weinrebe radioaktive Substanzen in einer Konzentration von ca. $1,5 \mu\text{g GLA-Äquivalenten l}^{-1}$ (KUBIAK 1990). GLA konnte nicht nachgewiesen werden, eine Analyse auf Metabolite konnte bis dato aufgrund methodischer Schwierigkeiten nicht abgeschlossen werden (KUBIAK, pers. Mittlg.). DORN & al. (1992) referieren die Ergebnisse

einer unveröffentlichten Studie der Firma Hoechst. Danach wurden nach 3 Jahren im Sickerwasser von Bodensäulen mit Sand- oder Lehmboden 0,1% sowie 0,05% der ausgebrachten Radioaktivität wiedergefunden, das Sickerwasser enthielt am Versuchsende $3 \mu\text{g GLA-Äquivalente l}^{-1}$. »Alle bekannten Abbauprodukte konnten durch chromatographische Methoden eindeutig ausgeschlossen werden«, über die Konzentration an GLA im Sickerwasser gibt es keine Angaben. Laut DORN & al. (1992) handelt es sich bei einem beträchtlichen Teil der Radioaktivität um Karbonat. Nach GUSTAFSON (1989) und BEHRENDT & al. (1990) müssen GLA und vor allem seine Metaboliten in sandigen Böden mit mittlerer bis höherer Wahrscheinlichkeit als grundwasserkontaminierend eingestuft werden.

Bis heute ist die Möglichkeit der Grundwasserbelastung durch Glyphosat umstritten. Aufgrund der extrem variablen Angaben zu Halbwertszeiten und Bodenbindung sind Vorhersagen über die Versickerungsneigung von Glyphosat mit einem großen Unsicherheitsfaktor verbunden (vgl. z.B. GUSTAFSON 1989 mit FIELDING & al. 1991). Aussagen über ein Vorkommen von Glyphosat im deutschen oder europäischen Grundwasser sind derzeit nicht möglich, da aufgrund methodischer Schwierigkeiten keine Routinenachweismethoden für die Wasserversorger zur Verfügung stehen (SANCHO & al. 1996, SKARK & ZULLEI-SEIBERT 1996). Erste Untersuchungen in den Niederlanden, Deutschland und Schweden konnten Glyphosat in Oberflächenwasser nachweisen. Untersuchungen von sechs Proben oberflächenwasserdominierten Grundwassers eines »Verdachtsfalles« erbrachten den Nachweis des Wirkstoffes oberhalb des Grenzwertes für Trinkwasser in einer Probe (SKARK & ZULLEI-SEIBERT 1996). Terbutylazin, dessen Bodeneigenschaften vergleichbar mit denen von Glyphosat sind (WILKE 1992), kann in Routineuntersuchungen regelmäßig in Grundwasser nachgewiesen werden (FIELDING & al. 1991, SKARK & ZULLEI-SEIBERT 1996). Die Modellrechnungen von WILKE (1992) ergeben, daß ein Ersatz bisher benutzter Herbizide durch Glyphosat und GLA keine deutlichen Vorteile gegenüber der derzeitigen Situation ergeben wird (Tab. 2).

3 Umweltrelevante Auswirkungen des Wirkstoffes GLA

Der synthetisch hergestellte Wirkstoff GLA ist ein Racemat aus den Aminosäureanaloga L- und D-Phosphinotricin (PT). L-PT wurde auf der Suche nach neuen Antibiotika (BAYER & al. 1972) und Fungiziden (KONDO & al. 1973) als ein Baustein des mikrobiell synthetisierten Tripeptides Bialaphos entdeckt. Eine wirtschaftliche Relevanz erlangte L-PT nach Beschrei-

bung seiner herbiziden Wirkung und der Entwicklung des chemischen Syntheseverfahrens, für D-PT wurde bisher keine biologische Aktivität beschrieben. Die antimikrobiellen Eigenschaften von L-PT konnten nicht genutzt werden, spielen aber für die ökotoxikologische Bewertung eine entscheidende Rolle. Entsprechende Experimente wurden mit L-PT, GLA oder verschiedenen GLA-haltigen Herbiziden (z.B. Basta, Ignite, Weedmaster) durchgeführt.

3.1 Effekte auf Mikroorganismengruppen

MALKOMES (1988) berichtet, daß 2 ppm GLA (als Basta) in zwei Böden in einem achtwöchigen Inkubationsversuch die Mikroorganismenpopulationen kaum beeinflusst. Der Autor verzeichnete in einem schluffigen Sand eine Reduktion der Zellzahlen von aeroben und anaeroben Bakterien um 42% und 23% sowie der von Aktinomyceten und Pilzen um 32% und 20% gegenüber den Kontrollen, in einem sandigen Lehm lagen die Differenzen unter 30%. Eine Reversibilität dieser Reduktion trat im Versuchszeitraum nicht ein. Nach dem im Rahmen der Zulassung von Pflanzenschutzmitteln gültigen Bewertungsschema (DOMSCH & al. 1983, MALKOMES 1985, FORSTER & al. 1996) sind 8 Wochen nach Versuchsbeginn Abweichungen der biologischen Effekte $> \pm 30\%$ von der Kontrolle als kritisch und $> \pm 50\%$ als nicht mehr tolerierbar zu bezeichnen. Alle Abweichungen von der Kontrolle, die sich nach 90 Tagen als nicht reversibel erweisen, gelten als kritisch oder nicht tolerabel.

Über den Resistenzgrad von Bodenmikroorganismen gegenüber L-PT liegen unterschiedliche Angaben vor. Nach TEBBE (1988) erwiesen sich die Bakterien eines untersuchten Ackerbodens als resistent. Zu einem vergleichbaren Ergebnis kamen BARTSCH & TEBBE (1989). Über 95% von 300 isolierten Bakterienkolonien aus dem Boden eines Feldes, das zwei Jahre lang mit Basta als Pflanzenschutzmittel behandelt wurde, zeigten sich als L-PT-resistent. Es ist nicht ersichtlich, ob dieser Versuchsansatz den Empfehlungen der Zulassungsbehörde zur Untersuchung der Effekte von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen folgt, nach denen der untersuchte Boden mindestens ein Jahr lang nicht mit Pflanzenschutzmitteln und bioziden Düngemitteln behandelt werden darf (MALKOMES & EHLE 1997). AHMAD & MALLOCH (1995) sowie KRIETE & BROER (1996) interpretieren die Ergebnisse von BARTSCH & TEBBE (1989) dahingehend, daß nach zwei Vegetationsperioden mit Basta-Einsatz eine Selektion der Bodenmikroorganismen in Richtung L-PT-Resistenz stattgefunden haben könnte.

Nach QUINN & al. (1993) wurde das Wachstum von 37% der 227 bakteriellen Isolate eines Gartenbo-

dens durch 1 mM GLA (als Weedmaster) gehemmt, erste toxische Wirkungen traten schon ab 1 μM GLA ein. 17% der Stämme waren resistent gegenüber höherer Konzentrationen von bis zu 3 mM GLA. AHMAD & MALLOCH (1995) geben nach einer Untersuchung von zwölf landwirtschaftlichen Böden die Reduktion der Zellzahl von Pilzen mit durchschnittlich 20%, die von Bakterien mit 40% an. Die Variabilität war außerordentlich hoch und reichte von keinen signifikanten Unterschieden bis zu 50% bzw. 70% Reduktion. Die Aktinomycetenpopulationen der untersuchten Böden erwiesen sich als resistent gegenüber GLA (als Ignite).

Aus den aufgeführten Untersuchungen kann gefolgert werden, daß die Mikroorganismen unterschiedlicher Böden verschiedene Resistenzniveaus gegenüber L-PT besitzen. So führt die Applikation von Basta auf verschiedenen Böden mit niedrigem Resistenzgrad (MALKOMES 1988, QUINN & al. 1993, AHMAD & MALLOCH 1995) wahrscheinlich zu einem Absterben eines Teils der Mikroorganismen. Aussagen, Basta zeige keinen schädigenden Effekt auf Bodenmikroorganismen, beziehen sich auf die Untersuchung der zwei Böden mit hohem Resistenzgrad (TEBBE 1988, BARTSCH & TEBBE 1989) und auf die Schlußfolgerung von MALKOMES (1988), der feststellt, daß »die Mikroorganismen insgesamt kaum beeinflusst wurden, doch traten vorübergehend stimulative oder hemmende Tendenzen auf«.

3.2 Effekte auf Mikroorganismenarten

AHMAD & MALLOCH (1995) zeigten, daß saprophytische Pilze des Ökosystems Boden, die am Abbau organischer Substanz beteiligt sind, unterschiedlich sensibel auf L-PT reagieren. Die Autoren bewerten ihre Ergebnisse als Indizien für eine mögliche Verschiebung des Artenspektrums des Bodens mit Auswirkungen auf Zersetzungsprozesse nach dem Einsatz GLA-haltiger Herbizide.

Durch die Nebenwirkungen von Herbiziden könnten Antagonisten von Schadpilzen stärker geschwächt werden als die Schadpilze selbst (LEVESQUE & RAHE 1992). Zwei Publikationen beschäftigen sich mit der Wirkung von GLA (als Ignite) auf *Trichoderma*-Spezies als Schlüsselarten der suppressiven Mikroflora des Bodens. Nach AHMAD & al. (1995a) führt 1 mM GLA zur signifikanten Reduktion der *Trichoderma*-Biomassen. Die phytopathogenen Pilzarten *Fusarium oxysporum* und *Pythium aphanidermatum* erwiesen sich als resistent gegenüber GLA, *Rhizoctonia solani* und *Sclerotinia sclerotiorum* wurden durch GLA vollständig im Wachstum gehemmt (AHMAD & al. 1995b). Mittels Konkurrenztests konnten die Autoren zeigen, daß durch GLA die an-

tagonistische Wirkung von *Trichoderma*-Arten auf die resistenten Krankheitserreger vollständig unterdrückt wird. Aus diesen Ergebnissen leiten die Autoren eine mögliche Erhöhung des pathogenen Potentials des Bodens als Folge einer Verschiebung der Artenzusammensetzung nach GLA-Anwendung ab.

4 Effekte auf Arthropoden

4.1 Terrestrische Arten

Eine Bewertung toxischer Einflüsse von Pestiziden auf Nutzarthropoden wird auf europäischer Ebene im Untersuchungsprogramm »Pesticides and Beneficial Organisms« durchgeführt. Der Schwerpunkt der Herbiziduntersuchungen liegt auf Labortests zur spontanen Mortalität ausgewählter Arten. Die Herbizide werden mit einer nichtlinearen Skala von 1 bis 4 bewertet.

Die Wirkung von GLA (als Basta) auf parasitoide und räuberische Insekten in Laboruntersuchungen wird nach HASSAN & al. (1991) mit harmlos (1) bis mäßig (2) schädlich angegeben. Für *Harmonia axyridis* und *Semiadalia undecanotata* (beide Blattläusräuber) wurden erhöhte Mortalitätsraten von 80 bis 99 % (3) ermittelt. Damit nimmt Basta einen Platz im Mittelfeld der untersuchten 26 Herbizide ein. Die Mortalität von Sackspinnen (*Chiracanthium mildei*) erreichte ebenfalls 80 bis 99 %. In den Tests mit drei Raubmilbenarten (*Amblyseius potentillae* (= *A. andersoni*), *Phytoseiulus persimilis*, *Typhlodromus pyri*) wirkte Basta zu 100 % tödlich (4). Bezüglich der letzten beiden Arthropodengruppen nimmt die Toxizität von Basta die Spitzenstellung unter den 19 geprüften Herbiziden ein. Laut DORN & al. (1992) zeigten Laborversuche der Firma Hoechst keine Beeinträchtigungen von Nutzarthropoden, es wurde »lediglich bei Spinnen eine Mortalität gegenüber Basta gefunden«. Die Autoren geben keine Auskünfte über die verwendeten Tierarten.

HASSAN & al. (1991) merkten an, daß freilandnahe Versuche mit den extrem empfindlichen Milbenarten nicht erforderlich waren. Nach DORN & al. (1992) traten in freilandnahen Tests der Firma Hoechst »bei keinem der geprüften Nutzarthropoden signifikante toxikologische Effekte« auf. Publiizierte Daten über freilandnahe Versuche liegen nur bei SAMSØE-PETERSEN (1995) bezüglich zweier nützlicher Käferarten (*Coccinella septempunctata*, *Aleochara bilineata*) vor. Die Schädigungen von *C. septempunctata* lagen für alle fünf untersuchten Herbizide in der Bewertungsstufe 1. *A. bilineata* erwies sich als empfindlicher und reagierte nach Bastabehandlung mit einer 25–50%igen Reduktion der Fraßleistung (Stufe 2).

Die größte Gefahr für Arthropoden durch den Herbizideinsatz geht aber von der Zerstörung der Ha-

bitatdiversität aus (FREEMARK & BOUTIN 1995). Durch den Herbizideinsatz werden die für Arthropoden relevanten ökologische Faktoren wie Dichte von Nährpflanzen und Mikroklima auf Agrarflächen negativ beeinflusst. Umfangreiche Untersuchungen im Rahmen europäischer Programme zur Senkung des Herbizideinsatzes zeigen, daß sich eine Reduktion oder ein Verzicht auf Herbizide auch aus landwirtschaftlicher Sicht heraus positiv auf die Zusammensetzung und Funktion der Ackerfauna auswirken können (z.B. BOATMAN 1994). Dies bestätigt ebenfalls die neuere wissenschaftliche Bewertung (EK-SCHMITT & al. 1997, WOLTERS & EK-SCHMITT 1997). Der Einsatz von Totalherbiziden soll zusammen mit resistenten Nutzpflanzen zu einer umfassenden Bekämpfung der Beikräuter durch Schließen aller Wirkungslücken führen. Damit wird der Lebensraum für die Ackerfauna, unabhängig von der akuten Toxizität und Aufwandsmenge des Herbizides, in vermutlich noch größerem Umfang als durch den konventionellen Herbizideinsatz zerstört.

4.2 Aquatische Arten

Nach Angaben der Firma Hoechst sind die Ergebnisse aus Versuchen mit Daphnien repräsentativ für nahezu alle untersuchten aquatischen Invertebraten (DORN & al. 1992). Für GLA liegt der EC_{50} -Wert für die Immobilisierung der Tiere zwischen 500 und $> 1000 \text{ mg l}^{-1}$, Basta erwies sich »als geringfügig toxischer mit EC_{50} -Werten zwischen 15 und 78 mg/l «. Zu einer völlig anderen Einstufung der Auswirkung von Basta auf aquatische Arthropoden kommt BASTIAN (1987). Die ermittelten EC_{50} -Werte liegen um bis zu drei Größenordnungen unter denen von DORN & al. (1992) angeführten (Tab. 3). Die deutsche Zulassungsbehörde stuft Basta als giftig für u.a. Fischnährtiere ein (BBA 1997).

5 Fazit

GLA und seine Metabolite müssen aufgrund ihrer Substanzeigenschaften und experimenteller Daten zumindest in sandigen Böden als grundwassergängig eingestuft werden. Obwohl Glyphosat schon jetzt der weltweit am meisten eingesetzte herbizide Wirkstoff ist, wird eine mögliche Grundwasserbelastung nicht überprüft, da keine anerkannte Arbeitsvorschrift für eine Analyse im Routinebetrieb der Wasserversorger vorliegt.

In den untersuchten Böden ist ein sehr heterogenes Resistenzpotential gegenüber L-PT vorhanden. In einzelnen Böden reagiert ein Großteil der Bodenmikroorganismen sensibel und könnte bei Anwendung entsprechender Herbizide absterben. Eine besonders

Tab. 3

Toxische Wirkung von Basta auf aquatische Arthropoden.

Arten	LC ₅₀ [ppm] ^a	EC ₅₀ [ppm] ^a	Einstufung ^b	Autoren
Daphnia magna	78,4	4,26	mäßig toxisch	BASTIAN 1987
Gammarus fossarum	15,2	0,31	stark toxisch	
Drusus annulatus	0,74	0,07	hoch toxisch	
Ecdyonurus dispar	0,35	0,05	hoch toxisch	
Daphnia, stellvertretend für untersuchte Arten	?	15–78	ohne Wertung	DORN & al. 1992
Fauna und Flora	?	0,5–42	toxisch	OHNESORGE 1993

Table 3

Toxic effects of Basta on aquatic arthropodes.

a: 48-h-Werte, keine Zeitangabe bei Dorn & al. 1992 und Ohnesorge 1993

b: nach LC₅₀-Werten, für Gammarus wurde der 72-h-Wert mit 1,06 ppm verwendet

empfindliche Gruppe scheinen Bodenpilze zu sein. Je nach genetischen Grundlagen der einzelnen Resistenzen ist es vorstellbar, daß bestimmte Stämme einer Mikroorganismenart aussterben, die ökologische Funktion dieser Art durch überlebende Stämme aber erhalten bleibt. Fallen ganze Arten aus dem Beziehungsgeflecht des Ökosystems heraus, sind weiterreichende Konsequenzen für die Bodenfunktionen denkbar. Eine Abschätzung ökologischer Auswirkungen entsprechender Populationsdrifts ist zur Zeit nicht möglich, weil zu diesem Thema kaum spezifische Untersuchungen vorliegen. Besonders kritisch sind die Ergebnisse zu bewerten, nach denen der Einsatz von GLA-haltigen Herbiziden das Gleichgewicht zwischen phytopathogenen Bodenpilzen und ihren Parasiten zu Gunsten der Krankheitserreger verschiebt. Eine solche Veränderung der Artenzusammensetzung der Bodenpilze könnte eine Erhöhung des pathogenen Potentials des Bodens zur Folge haben. Die schnelle Abbaubarkeit des Wirkstoffes kann im Freiland zu einer Abschwächung der im Labortest nachgewiesenen toxischen Effekte auf Mikroorganismen führen. Um die aufgezeigten Wissenslücken schließen und die ökotoxikologischen Wirkungen des neuen Herbizides Liberty besser beurteilen zu können, sind nicht nur koordinierte Untersuchungen mit einheitlichen, dem Stand des Wissens entsprechenden Methoden zu fordern. Es muß zudem eine Form der Veröffentlichung dieser und schon vorhandener Daten erfolgen, die wissenschaftlichen Ansprüchen gerecht wird.

Die negativen Auswirkungen von Basta auf Nutzinsekten sind als gering zu bezeichnen, Basta unterscheidet sich nicht von den meisten anderen Herbiziden. Auf Raubmilben und Sackspinnen als nützliche Räuber wirkt Basta im Gegensatz zu allen anderen Herbiziden hoch toxisch. Hier sind weiterführende Untersuchungen erforderlich. Die Einschätzung der Wirkung von Basta auf aquatische Arthropoden wird

durch widersprüchliche Aussagen und Daten erschwert. Basta wirkt hoch toxisch auf zwei untersuchte Insektenlarven, offenbar üben die beigefügten Detergenzien den entscheidenden Einfluß auf die Toxizität des Mittels aus. Zur Bewertung von Liberty sollten weitere, koordinierte Untersuchungen durchgeführt werden.

Literatur

- AHMAD, I. & D. MALLOCH, 1995: Interaction of soil microflora with the bioherbicide phosphinothricin. – *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 54: 165–174
- AHMAD, I., J. BISSETT & D. MALLOCH, 1995a: Effect of phosphinothricin on nitrogen metabolism of *Trichoderma* species and its implications for their control of phytopathogenic fungi. – *Pesticide Biochemistry and Physiology* 53: 49–59
- AHMAD, I., J. BISSETT & D. MALLOCH, 1995b: Influence of the bioherbicide phosphinothricin on interactions between phytopathogens and their antagonists. – *Canadian Journal of Botany* 73: 1750–1760
- BARTSCH, K & C. C. TEBBE, 1989: Initial steps in the degradation of phosphinothricin (glufosinate) by soil bacteria. – *Applied and Environmental Microbiology* 55: 711–716
- BASTIAN, H.-V., 1987: Untersuchungen über die toxischen Wirkungen der Herbizide Basta (Glufosinate-ammonium) und Aretit (Dinoseb-Acetat) auf Tiere im Süßwasser-Ökosystem. – Dissertation an der Fakultät Biologie der Eberhard-Karls-Universität Tübingen, 130 S.
- BAYER, E., K. H. GUGEL, K. HÄGELE, H. HAGEN-MAIER, P. JESSIPOW, W. A. KÖNIG & H. ZÄHNER, 1972: 25. Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen, 98. Mitteilung, Phosphinothricin

- und Phosphinothricyl-Alanyl-Alanin. – *Helvetica Chimica Acta* 55: 224–239
- BEHRENDT, H., M. MATTHIES, H. GILDEMEISTER & G. GÖRLITZ, 1990: Leaching and transformation of glufosinate-ammonium and its main metabolite in a layered soil column. – *Environmental Toxicology and Chemistry* 9: 541–549
- BLUME, H.-P., E. A. LOOP & L. REXILIUS, 1992: Pflanzenschutzmittel (Pestizide). – In: H.-P. BLUME (Hrsg.) *Handbuch des Bodenschutzes*. – Ecomed Verlag, Landsberg: 325–353
- BOATMAN, N. D., 1994: Field margins – Integrated agriculture and conservation. BCPC Monograph, Bd. 58. – British Crop Protection Council, Farnham: 404 S.
- BOTTERMAN, J. & J. LEEMANS, 1988: Engineering herbicide resistance in plants. – *Trends in Genetics* 4: 219–222
- COX, C., 1995: Glyphosate, part 2: Human exposure and ecological effects. – *Journal of Pesticide Reform* 15/4: 14–20
- DAELE, W. v. d., A. PÜHLER, H. SUKOPP, A. BORA, R. DÖBERT, P. NEUBERT & V. SIEWERT, 1994: Toxikologische Risiken der Rückstände von Komplementärherbiziden. – In: W. v. d. DAELE, A. PÜHLER & H. SUKOPP (Hrsg.) *Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz*, Bd. 6: *Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation?* – Wissenschaftszentrum für Sozialforschung, Berlin: 101–125
- DOMSCH, K. H., G. JAGNOW & T.-H. ANDERSON, 1983: An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil organisms. – *Residue Reviews* 86: 65–105
- DONN, G. & P. ECKES, 1992: Basta-verträgliche Kulturpflanzen durch die Übertragung eines synthetischen Phosphinothricin-Acetyltransferase-Gens. – *Zeitschrift Pflanzenkrankheiten Pflanzenschutz, Sonderheft* 13: 499–504
- DORN, E., G. GÖRLITZ, R. HEUSEL & K. STUMPF, 1992: Verhalten von Glufosinat-ammonium in der Umwelt – Abbau im und Einfluß auf das Ökosystem. – *Zeitschrift Pflanzenkrankheiten Pflanzenschutz, Sonderheft* 13: 459–468
- EKSCHMITT, K., M. WEBER & V. WOLTERS, 1997: Spiders, Carabids and Staphylinids – the Ecological Potential of Predatory Macroarthropods. – In: G. BENCKISER (Hrsg.) *Fauna in Soil Ecosystems*. – Marcel Dekker, Inc., New York: 307–362
- FIELDING, M., D. BARCELO, A. HELWEG, S. GALASSI, L. TORSTENSSON, P. VAN ZONEN, R. WOLTER & G. ANGELETTI, 1991: Pesticides in ground and drinking water. – In: M. FIELDING (Hrsg.) *Water Pollution Research Report*, Bd. 27. – CEC, Brüssel: 135 S.
- FORSTER, R., U. HEINBACH, C. KULA & P. ZWERGER, 1996: Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Nichtzielorganismen. – *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 48: 275–279
- FREEMARK, K. & C. BOUTIN, 1995: Impacts of agricultural herbicide use on terrestrial wildlife in temperate landscapes: A review with special reference to North America. – *Agriculture, Ecosystems, and Environment* 52: 67–91
- GUSTAFSON, D. I., 1989: Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. – *Environmental Toxicology and Chemistry* 8: 339–357
- HASSAN, P. A., F. BIGLER, H. BOGENSCHÜTZ, E. BOLLER, J. BRUN, J. N. M. CALIS, P. CHIVERTON, J. COREMANS-PELSENEER, C. DUSO, G. B. LEWIS, F. MANSOUR, L. MORETH, P. A. OOMEN, W. P. J. OVERMEER, L. POLGAR, W. RIECKMANN, L. SAMSOE-PETERSEN, A. STÄUBLI, G. STERK, K. TAVERES, J. J. TUSET & G. VIGGIANI, 1991: Results of the fifth joint pesticide testing programme carried out by the IOBC/WPRS-working group »Pesticide and Beneficial Organisms«. – *Entomophaga* 36: 55–67
- KONDO, Y., T. SHOMURA, Y. OGAWA, T. TSURUOKA, H. WATANABE, K. TOTSUKAWA, T. SUZUKI, C. MORIYA & J. YOSHIDA, 1973: Studies on a new antibiotic SF-1293. I. Isolation and physico-chemical and biological characterization of SF-1293 substance. – *Scientific Reports of Meiji Seika Kaisha* 13: 34–41
- KRIETE, G. & I. BROER, 1996: Influence of the herbicide phosphinothricin on growth and nodulation capacity of *Rhizobium meliloti*. – *Applied Microbiology and Biotechnology* 46: 580–586
- KUBIAK, R., 1990: Abbau und Verlagerung von 14C-Glufosinat in einem schluffigen Sand – Versuche mit Freilandlysimetern mit ungestörten Bodenkernen. – *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft* 12: 409–416
- LÉVESQUE, C. A. & J. E. RAHE, 1992: Herbicide interactions with fungal root pathogens, with special reference to glyphosate. – *Annual Reviews of Phytopathology* 30: 579–602
- MALKOMES, H.-P., 1985: Einflüsse von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen und ihre Leistungen. – *Berichte der Landwirtschaft, Sonderheft* 198: 134–147
- MALKOLMES, H.-P., 1988: Einfluß von Glufosinat-ammonium (Basta) und Glyphosat (Roundup) auf Bodenmikroorganismen und deren Aktivitäten. – *Zeitschrift Pflanzenkrankheiten Pflanzenschutz, Sonderheft* 11: 277–286
- MALKOMES, H.-P. & H. EHLE, 1997: Erfahrungen bei der Prüfung der Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Bodenmikroorganismen im deutschen Zulassungsverfahren. – *Nachrichten-*

- blatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 49: 171–177
- OHNESORGE, F. K., 1993. Toxikologische Aspekte. – In: W. v. d. DAELE, A. PÜHLER & H. SUKOPP (Hrsg.) Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Bd. 6: Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation? – Wissenschaftszentrum für Sozialforschung, Berlin: 27–81
- QUINN, J. P., 1993: Interactions of the herbicides glyphosate and glufosinate (phosphinothricin) with the soil microflora. – In: J. ALTMAN (Hrsg.) Pesticide Interactions in Crop Production. – CRC Press, Boca Raton [u.a.]: 245–265
- QUINN, J. P., J. K. HERON & G. MCMULLAN, 1993: Glufosinate tolerance and utilisation by soil and aquatic bacteria. – Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy 93B: 181–186
- SAMSØE-PETERSEN, L., 1995: Effects of 67 herbicides and plant growth regulators on the Rove Beetle *Aleochara bilineata* (Col.: Staphylinidae) in the laboratory. – Entomophaga 40: 95–104
- SANCHO, J. V., F. HERNÁNDEZ, F. J. LÓPEZ, E. A. HOGENDOORN, E. DIJKMAN & P. VAN ZONEN, 1996: Rapid determination of glufosinate, glyphosate and aminomethylphosphonic acid in environmental water samples using precolumn fluorogenic labeling and coupled-column liquid chromatography. – Journal of Chromatography A 737: 75–83
- SANDERMANN, H., 1993: Biochemische Aspekte. In: W. v. d. DAELE, A. PÜHLER & H. SUKOPP (Hrsg.) Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Bd. 6: Nutzpflanzen mit künstlicher Herbizidresistenz: Verbessert sich die Rückstandssituation?. – Wissenschaftszentrum für Sozialforschung, Berlin: 1–25
- SANDERMANN, H., H. ROSENBROCK & D. ERNST, 1996: Horizontaler Gentransfer bei Herbizidresistenz? Der Einfluß von Genstabilität und Selektionsdruck. – In: P. BRANDT (Hrsg.) Zukunft der Gentechnik. – Birkhäuser Verlag, Basel [u.a.]: 209–220
- SKARK, C. & N. ZULLEI-SEIBERT, 1996: Erhebung über das Auftreten von Pflanzenschutzmitteln in Trink- und Grundwässern. – In: Dortmunder Beiträge zur Wasserforschung, Bd. 49a. – Institut für Wasserforschung, Dortmund: 184 S.
- SMITH, E. A. & F. W. OEHME, 1992: The biological activity of glyphosate to plants and animals: A literature review. – Veterinary and Human Toxicology 34: 531–543
- TEBBE, C., 1988: Abbau des Herbizides Phosphinothricin (Glufosinate) im Boden und in Reinkulturen von Mikroorganismen. – Dissertation im Fachbereich Biologie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, 109 S.
- WILKE, B.-M., 1992: Verhalten der Komplementärherbizide im Boden. In: W. v. d. DAELE, A. PÜHLER & H. SUKOPP (Hrsg.) Verfahren zur Technikfolgenabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Bd. 7. – Wissenschaftszentrum für Sozialforschung, Berlin: 1–55
- WOLTERS, V. & K. EKSCHMITT, 1997: Gastropods, Isopods, Diplopods and Chilopods – Neglected Groups of the Decomposer Food Web. – In: G. BENCKISER (Hrsg.) Fauna in Soil Ecosystems. Marcel Dekker, New York: 265–306

Adresse

Dr. Hartmut Meyer,
 Prof. Dr. Volkmar Wolters
 Institut für Allgemeine und Spezielle Zoologie
 Bereich Tierökologie
 Stephanstr. 24
 35390 Gießen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1997

Band/Volume: [28_1997](#)

Autor(en)/Author(s): Meyer Hartmut, Wolters Volkmar

Artikel/Article: [Ökologische Auswirkungen des Einsatzes von Totalherbiziden in herbizidresistenten transgenen Kulturen 337-344](#)