

Lysimeteruntersuchungen zur Verlagerung von Glyphosate im Lichte der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln zur Beseitigung von winterharten Gründecken

H. STADLBAUER, J. FANK und G. LORBEER

Abstract

Zur Verminderung der Nitratkonzentration im Grundwasser der quartären Talflure des Murtales südlich von Graz wird - vorzüglich in den Grundwasserschutz- und -schongebieten der Wasserversorgungseinrichtungen - die Anlage von winterharten Gründecken stark forciert. Fallweise wird im Frühjahr zur Vernichtung der Gründecke "Round Up" - ein Pflanzenschutzmittel mit dem Wirkstoff Glyphosate- verwendet.

Die Einrichtungen der Forschungsstation Wagna bieten die Möglichkeit, die Verlagerung des Wirkstoffes Glyphosate unter ortsüblichen Bewirtschaftungsweisen bei den hier herrschenden meteorologischen Rahmenbedingungen und den existenten Boden- und Fruchtfolgebedingungen detailliert zu untersuchen und schlüssige Aussagen hinsichtlich einer potentiellen Gefährdung des Grundwassers der quartären Talfüllungen des Murtales durch den Einsatz des angeführten Pflanzenschutzmittels abzuleiten.

To reduce Nitrate concentration in the groundwater of the quaternary valley floor of the river Mur south of Graz groundwater protection areas are planned during the winter months. Some years ago in different areas "Round Up" - a pesticide with the active substance Glyphosate was used to kill the plants early in spring time.

At the lysimeter research station in Wagna the transport of this substances towards groundwater has been investigated under normal tillage and real weather conditions to get information about the risks to groundwater quality and human health from usage of this pesticide in large areas.

Einleitung und Problemstellung

Zur Verminderung der Nitratkonzentration im Grundwasser der quartären Talflure des Murtales zwischen Graz und Bad Radkersburg wurde - vorzüglich in den Grundwasserschutz- und -schongebieten der Wasserversorgungseinrichtungen - die Anlage von winterharten Gründecken stark forciert. Neben anderen Maßnahmen führte diese Bewirtschaftungsumstellung zu einem kontinuierlichen Rückgang der Nitratbelastung des Grundwassers.

In jüngster Zeit wurde im Frühjahr zur Vernichtung von Gründecken in immer größerem Umfang "Round Up" - ein Pflanzenschutzmittel mit dem Wirkstoff Glyphosate - verwendet. Nach Angaben der Hersteller ist dieses Produkt sehr umweltverträglich, da die Verlagerungsfähigkeit des Wirkstoffes im Boden stark gehemmt und die Halbwertszeit außerordentlich kurz ist. Trotz dieser Produktspezifikationen tauchte die Frage auf, ob nicht vom Einsatz dieses Mittels - v.a. in den Grundwasserschongebieten - eine potenzielle Gefährdung des Grundwassers ausgehe, die aus der spezifischen Situation des Untersuchungsgebietes hinsichtlich Bodenaufbau, Bodenbearbeitung und ortsüblicher Bewirtschaftungsweisen resultiere.

Erste Gespräche zwischen den Vertretern der Wasserrechtsbehörde, der Landwirtschaftskammer und der Wasserversorger betreffend die massive Anwendung von Glyphosate vor allem in den Grundwasserschongebieten (Lage und Ausdehnung siehe AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1990) fanden im Juni 2000 statt. Das Umweltbundesamt Wien konnte für die Metho-

denentwicklung und für die Durchführung von Messungen in Grundwässern auf Glyphosate und auf das Zwischenabbauprodukt AMPA als Kooperationspartner gewonnen werden.

Im Rahmen der Gewässeraufsicht erfolgten im Frühjahr 2001 erste Erhebungen in den Schongebieten zwischen Graz und Bad Radkersburg betreffend die Anwendung von Glyphosate zur Vernichtung von Gründecken. Basierend auf diesen Erhebungsergebnissen wurden im April und Juni 2001 Grundwasseruntersuchungen an ausgewählten Messstellen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass in einem Trinkwasserbrunnen AMPA in Spuren nachgewiesen werden konnte. Die daraufhin erfolgten Informationen der Landwirtschaftskammer für die Landwirte bewirkten, dass im Jahr 2002 in den Schongebieten Glyphosate kaum mehr zur Anwendung gelangte. Grundwasseruntersuchungen erbrachten ebenfalls negative Ergebnisse.

Parallel zu den Grundwasseruntersuchungen begannen ab Herbst 2001 die Vorbereitungen für die Sickerwassererproben bei der Forschungsstation Wagna. Diese Versuche, über die im Folgenden berichtet wird, starteten im März 2002. Die Glyphosate- und AMPA-Messungen im Sickerwasser und in Erdproben wurden wiederum vom Umweltbundesamt als Kooperationspartner durchgeführt.

Die Messeinrichtungen und Beprobungsstellen des Sickerwassers der ungesättigten Zone an der Forschungsstation Wagna bieten die Möglichkeit, die Verlagerung des Wirkstoffes Glyphosate und des Zwischenabbauproduktes (Metabolit) AMPA unter ortsüblichen Bewirtschaftungsweisen bei den hier herrschenden meteorologischen Rahmenbedingungen und den existenten

Autoren: Dipl.-Ing. Heimo STADLBAUER, Amt der Steiermärkischen Landesregierung, FA17C, Landhausgasse 7, A-8010 GRAZ; Univ.-Doz. Dr. Johann FANK, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ und Dr. Gundi LORBEER, Umweltbundesamt GmbH, Spittelauer Lände 5, A-1090 WIEN

Boden- und Fruchtfolgebedingungen detailliert zu untersuchen und schlüssige Aussagen hinsichtlich einer potentiellen Gefährdung des Grundwassers der quartären Talfüllungen des Murtales durch den Einsatz des angeführten Pflanzenschutzmittels abzuleiten. Die Frage der Gewinnbarkeit der Proben und der im Sickerwasser eventuell enthaltenen Wirkstoffe durch die eingebauten Probennahmesysteme wurde bereits im Vorfeld abgeklärt.

Eigenschaften und Abbauwege von Glyphosate

Das Produkt mit dem Handelsnamen "Round-Up" enthält den Wirkstoff "Glyphosate" (N-[Phosphonomethyl]glycin). Glyphosate liegt als Isopropylamin-Salz vor und ist ein nichtselektives Blattherbizid, das über das Blattgrün aufgenommen wird. Es hemmt die Synthese der aromatischen Aminosäuren, sodass die Pflanze verdorrt.

Aufgrund seiner molekularen Eigenschaften weist Glyphosate eine hohe Sorptionsstärke an mineralischen und organischen Bodenoberflächen auf und kann über die Phosphonsäuregruppe des Moleküls stabile Komplexe mit freien und oberflächlich gebundenen mehrwertigen Kationen, z.B. Eisen, Aluminium eingehen. Die Bindung an die organische Substanz erfolgt über Wasserstoffbrückenbindungen.

Diese zum Teil starken und selektiven Bindungen führen zu einer raschen Immobilisierung von Glyphosate im Boden. In der Folge kann der Wirkstoff unter aeroben Bedingungen rasch mikrobiell metabolisiert und zu anorganischen Endprodukten mineralisiert werden. Als Hauptmetabolit entsteht AMPA (Aminomethylphosphonsäure).

Auch AMPA wird am Bodenbestandteil fixiert und mikrobiell weiter abgebaut. Der Abbauweg wird im Folgenden dargestellt.

Für AMPA gibt es jedoch neben der Bildung aus Glyphosate noch einen weiteren Eintragsweg in Oberflächengewässer. Es entsteht als Abbauprodukt von stickstoffhaltigen organischen Phosphonaten (Aminopolyphosphonaten), die überwiegend in Waschmitteln und Kühlwasserkreisläufen Anwendung finden.

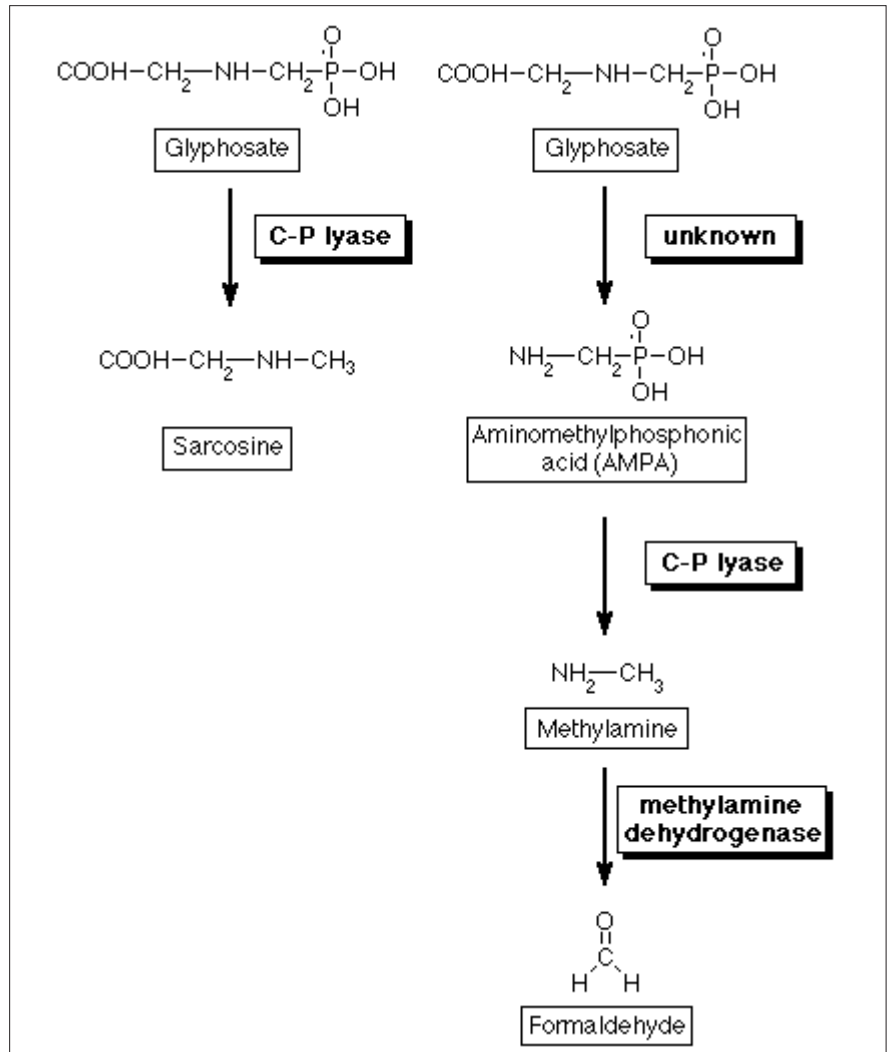


Abbildung 1: Abbauwege von Glyphosate

Diese Phosphonate gelangen über das Abwasser in die Gewässer.

Analysenverfahren

Bedingt durch die polare Struktur der Analyten ist eine Bestimmung mittels GC-MS nur nach erfolgter Derivatisierung möglich. Bei Glyphosate und AMPA handelt es sich um Analyten, deren Nachweis im Wasser nicht zu den Routineverfahren zählt. Zur Sicherstellung höchster Analysenqualität wurde die Methode der Zugabe von isotopenmarkierten Standards (C13 markiertes Glyphosate-3 und C 13 markiertes AMPA) als Surrogates über das Gesamtverfahren gewählt. Die Analyten wurden aus den wässrigen Proben über quartäre Amin-Anionentauscher angereichert und mit Heptafluorbutanol und Trifluoressigsäureanhydrid zu Heptafluorbutyl - Verbindungen derivatisiert. Das Clean up erfolgte über GPC. Die gaschromatogra-

phische Endbestimmung erfolgte durch GC-MS mit negativer chemischer Ionisierung und die Quantifizierung nach der internen Standardmethode. Die Nachweisgrenze dieser Methode liegt für beide Analyten im Wasser bei 0,02 µg/l.

Die Extraktion der Analyten aus dem Boden erfolgte mit 0,01 N NaOH. Die weitere Probenvorbereitung erfolgte analog der Methode zur Bestimmung in Wasser. Die Nachweisgrenze für beide Analyten liegt bei 2,5 µg/kg.

Versuchsdurchführung

Vor der Untersuchung der Verlagerung von Glyphosate und AMPA erfolgte die Durchführung eines Tracerversuches mit Deuterium (^2H) durch flächenhaftes Aufbringen des Markierungsstoffes mittels Beregnung am 18.03.02 zwischen 11:00 und 21:00. Zur Beurteilung der Verlagerungsgeschwindigkeit des Was-

sers und daran gekoppelter Stoffe und zur Interpretation dynamischer Prozesse in der ungesättigten Zone des Versuchsfeldes Wagna wurden Markierungsversuche bereits mehrfach eingesetzt (BERG et al., 2001; FANK, 2001; FANK, 2002). Dieser Versuch war erforderlich, um zum einen für die Ausbringung des Pflanzenschutzmittels hinsichtlich der Verlagerung möglichst "worst case" Bedingungen zu schaffen, was durch die Auffüllung des Bodenwasserspeichers erfolgt und um zum anderen den Weg und die Geschwindigkeit des Wassers selbst im Vergleich zu den Wirkstoffen des Pflanzenschutzmittels erfassen zu können, zumal nach Aussagen der Hersteller und nach den Ergebnissen von Labor- und Zulassungsuntersuchungen mit einer starken Adsorption und einem schnellen Abbau des Pflanzenschutzmittels zu rechnen war. In einem zweiten Schritt erfolgte die Aufbringung des Pflanzenschutzmittels in ortsüblicher Praxis durch die Betreiber des land- und forstwirtschaftlichen Versuchswesens auf den Lysimeterparzellen. Am 20.03.2002 wurden am Vormittag die Blindproben des Sickerwassers für die Glyphosate-Untersuchung gezogen. Von den beiden Versuchsfeldern wurden Bodenproben gezogen und in der Forschungsstation tiefgefroren. Die Versprühung des Pflanzenschutzmittels "Round Up" (3,872 l/ha in 242 l Wasser) wurde am 22.03.2002 zwischen 15:30 und 17:30 durchgeführt. Auf den beiden Gefäßlysimetern wurden 8.8 bzw. 10.08 l/ha der gleichen Lösung aufgebracht. Am 25.03.2003 wurde der Versuch mit gleicher Konzentration und Menge ohne vorherige Durchführung einer Beregnung wiederholt.

Die für die Probenahme in der ungesättigten Zone verfügbaren Messstellen, deren Entnahme-Ausstattung, die Tiefenlage und die Art des Einbaues im Rahmen der Errichtung der Lysimeteranlage sind in *Tabelle 1* aufgelistet. Detaillierte Informationen über die Forschungsstation Wagna und deren Instrumentierung sind FANK (1999) zu entnehmen. Es handelt sich bei den Probenahmestellen um Saugkerzen in monolithischen Lysimetern, Sickerwassersammlern, Gefäßlysimetern. Die Probenahmestellen A und B liegen flächig

Tabelle 1: Probenahmestellen in der Ungesättigten Zone.

Kurzbezeichnung der Messstelle	Messstellentyp (MM = Maismonokultur; FF = Fruchtfolge)	Tiefe unter Geländeoberkante [cm]	Boden (U = ungestört; D = gestört)
LSMR04	Saugkerze (MM)	-0.40	U
LSMR06	Monolithlysimeter (MM)	-0.60	U
LSMR07	Monolithlysimeter (MM)	-0.70	U
LSRR15	Sickerwassersammler (MM)	-1.50	D
LSWR15	Sickerwassersammler (MM)	-1.50	D
LSWR30	Sickerwassersammler (MM)	-3.00	D
LSML04	Monolithlysimeter (FF)	-0.40	U
LSML07	Monolithlysimeter (FF)	-0.70	U
LSML11	Monolithlysimeter (FF)	-1.10	U
LSWL15	Sickerwassersammler (FF)	-1.50	D
LSWL30	Sickerwassersammler (FF)	-3.00	D
LSGVR	Gefäßlysimeter (MM)	-1.50	D
LSGVL	Gefäßlysimeter (FF)	-1.50	D
A1	Saugkerze (MM)	-0.80	U
A4	Saugkerze (MM)	-0.80	U
A5	Sickerwassersammler (FF)	-1.05	D
A6	Saugkerze (FF)	-1.05	U
A7	Saugkerze (MM)	-0.80	U
A8	Saugkerze (FF)	-1.05	U
B1	Sickerwassersammler (MM)	-0.80	D
B4	Sickerwassersammler (MM)	-0.80	D
B6	Saugkerze (FF)	-1.05	U
B7	Saugkerze (MM)	-0.80	U
B8	Saugkerze (FF)	-1.05	U

in den Lysimeterparzellen an der Schichtgrenze zwischen Feinboden und Schotterhorizont.

Bis 17.04.2003 wurden insgesamt 680 Sickerwasserproben auf Deuterium untersucht. Bis 22.04.2004 wurden insgesamt 1295 Glyphosate - Proben gezogen, davon wurden 412 Proben auf Glyphosate und AMPA analysiert, 883 Proben wurden aufgrund der Erkenntnisse aus den Deuteriumuntersuchungen wieder vernichtet. Diese große Zahl an v.a. zu analysierenden Proben - resultiert aus dem gegenüber den Angaben der Literatur und der Hersteller unterschiedlichen Verhaltens der Wirkstoffe im Sickerwasser.

Generell war das Jahr 2002 zwar durch etwa mittlere Jahressummen des Niederschlags charakterisiert, die jahreszeitliche Verteilung zeigte aber ein trockenes Frühjahr und einen trockenen Herbst, sodass die Grundwasserneubildung bis zum Frühwinter deutlich hinter den mittleren Verhältnissen zurückblieb. Ein intensives Niederschlagsereignis im Dezember 2002 führte zu einer intensiven Grundwasserneubildung, sodass die Jahressumme nur wenig unter dem 10jährigen Mittel zu liegen kam. Die hydrologische Entwicklung im Jahr 2003 kann

folgendermaßen charakterisiert werden: Die Niederschläge lagen mit 650 mm Jahressumme bei nur etwa 68 % des mittleren Jahresniederschlags aus der Reihe 1992 bis 2001, die Defizite waren in den für die Grundwasserneubildung relevanten Monaten Februar bis Juni mit -200 mm und November-Dezember mit -50 mm besonders hoch. Auch in den Monaten August bis Oktober, jener Zeitraum der für die Auffüllung des Bodenwasservorrats besondere Bedeutung hat war ein Defizit von -85 mm zu verzeichnen. Die mittlere Jahresgrundwasserneubildung am Versuchsfeld Wagna liegt bei 373 mm. Die Grundwasserneubildung des Jahres 2003 betrug nur etwa 98 mm und lag damit bei nur 26 % der mittleren Neubildung. Die jahreszeitliche Verteilung zeigt in allen Monaten die Minima des Messzeitraums 1992 bis 2003. In keinem Monat wurden mehr als 50 % der mittleren monatlichen Neubildungssumme erreicht.

V Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Boden-Mischproben aus den Lysimeterparzellen des Versuchsfeldes Wagna sind in *Tabelle 2* zusammengefasst. Sie zeigen einerseits das Fehlen der untersuch-

Tabelle 2: Ergebnisse der Bodenuntersuchungen aus Mischproben der Lysimeterparzellen des Versuchsfeldes Wagna (Tiefe = Entnahmetiefe, Datum = Entnahmedatum, Bestimmungsgrenze = 5 µg / kg TM 105 °C, Nachweisgrenze = 2.5 µg / kg TM 105 °C

P 18 MM Tiefe / Datum	AMPA µg/kg TM	Glyphosate µg/kg TM	TM 105 °C %	P 14 FF Tiefe / Datum	AMPA µg/kg TM	Glyphosate µg/kg TM	TM 105 °C %
0-30 cm / 20.03.02	n.n	n.n	85.0	0-30 cm / 20.03.02	n.n	n.n	83.9
30-60 cm / 20.03.02	n.n	n.n	84.3	30-60 cm / 20.03.02	n.n	n.n	84.5
60-90 cm / 20.03.02	n.n	n.n	85.0	60-90 cm / 20.03.02	n.n	n.n	83.0
0-30 cm / 22.03.02	18.0	130.0	85.7	0-30 cm / 22.03.02	19	92	85.3
30-60 cm / 22.03.02	8.5	65	83.4	30-60 cm / 22.03.02	n.n	27	83.7
60-90 cm / 22.03.02	n.n	5.2	83.0	60-90 cm / 22.03.02	n.n	27	83.7
0-30 cm / 03.04.02	35.0	130.0	88.2	0-30 cm / 03.04.02	16	49	90.3
30-60 cm / 03.04.02	18.0	80.0	85.0	30-60 cm / 03.04.02	< 5	15	85.3
60-90 cm / 03.04.02	< 5	23.0	85.0	60-90 cm / 03.04.02	7.3	19	83.8
0-30 cm / 10.04.02	6.4	16	84.1	0-30 cm / 10.04.02	68	110	83.5
30-60 cm / 10.04.02	< 5	12	83.6	30-60 cm / 10.04.02	< 5	6.2	85.4
60-90 cm / 10.04.02	n.n	< 5	83.0	60-90 cm / 10.04.02	n.n	< 5	81.5

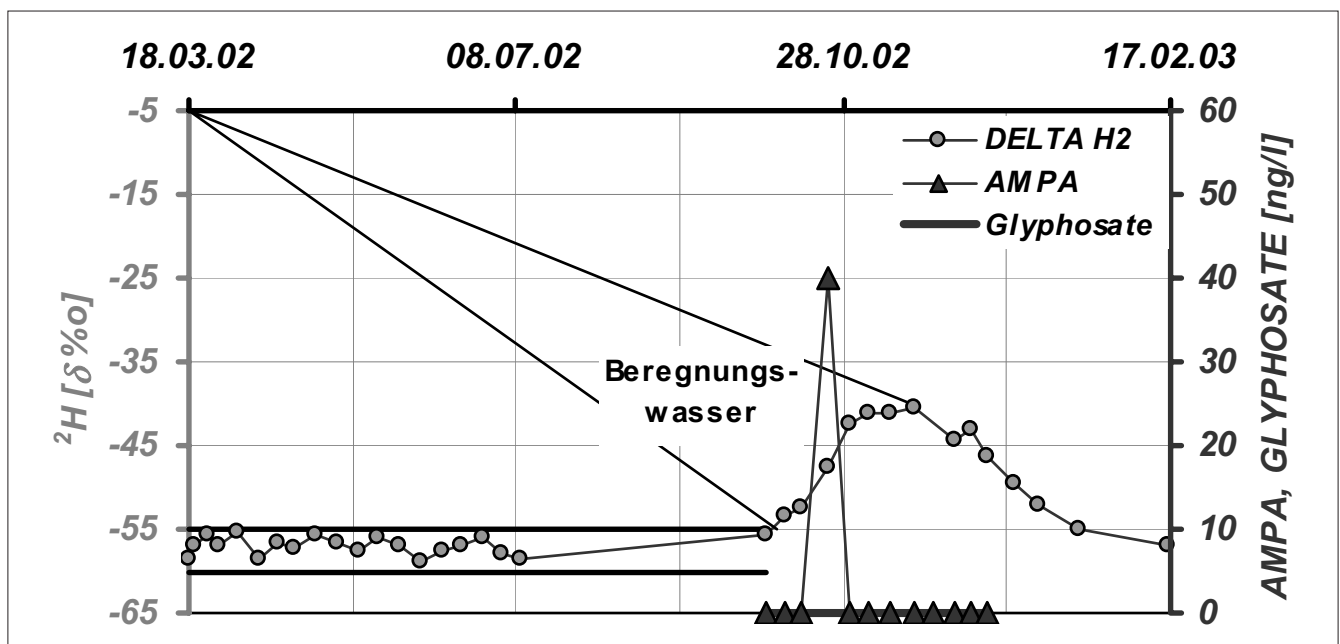


Abbildung 2: Durchgang von Deuterium und dem Metaboliten AMPA an der Messstelle A6 (Saugkerze in der Fruchtfolgeparzelle in 1.05 m Tiefe) mit Darstellung der Backgroundkonzentration für Deuterium und dem durch das Eintreffen des Beregnungswassers verursachten Anstieg der Deuteriumkonzentration im Sickerwasser.

ten Wirkstoffe in den Blindproben und andererseits im Vergleich von Entnahmetiefe und Entnahmedatum die Wechselwirkung mit der Bodenmatrix. Deutlich erkennbar ist eine Tiefenverlagerung bis in den Horizont 60 - 90 cm innerhalb der ersten drei Wochen nach der Aufbringung.

Die Bedeutung des Tracerversuchs als Grundlage für die Interpretation der Messergebnisse von Glyphosate und AMPA im Sickerwasser wird in *Abbildung 2* dargestellt: Mit Eintreffen des Beregnungswassers in 1.05 m Tiefe - erkennbar am Anstieg der Deuterium-

konzentration im Sickerwasser - erfolgte mehr als 6 Monate nach Aufbringung ein eindeutig positiver Nachweis des Metaboliten AMPA.

Vergleicht man die Ganglinien der Deuterium-Gehalte an den unterschiedlichen Messstellen so zeigt sich, dass das Beregnungswasser bis Mitte Dezember 2002 bis in eine Tiefe von mehr als 1 m unter Gelände vorgedrungen ist. In den Versuchsfeldern wurden die Messstellen in 1.5 m Tiefe bis zu diesem Zeitpunkt durch das Wasser aus der Beregnung im März 2002 noch nicht erreicht. In den Gefäßlysometern sind erste geringe An-

teile des Beregnungswassers bereits in den Monaten Mai und Juni erkennbar, die Hauptmasse des aufgetragenen Deuteriums erreicht den Ausfluss dieser beiden Lysimeter im Spätherbst mit der Neubildungsphase aufgrund der Niederschläge im Oktober 2002. Mitte Dezember 2002 ist der Durchgang des Beregnungswassers an den beiden Gefäßlysometern praktisch abgeschlossen.

Auch die Verlagerung von Glyphosate und AMPA kann anhand der Ergebnisse der Analysen in den Ganglinien der einzelnen Messstellen verfolgt werden. Gesamtheitlich betrachtet zeigt sich ein

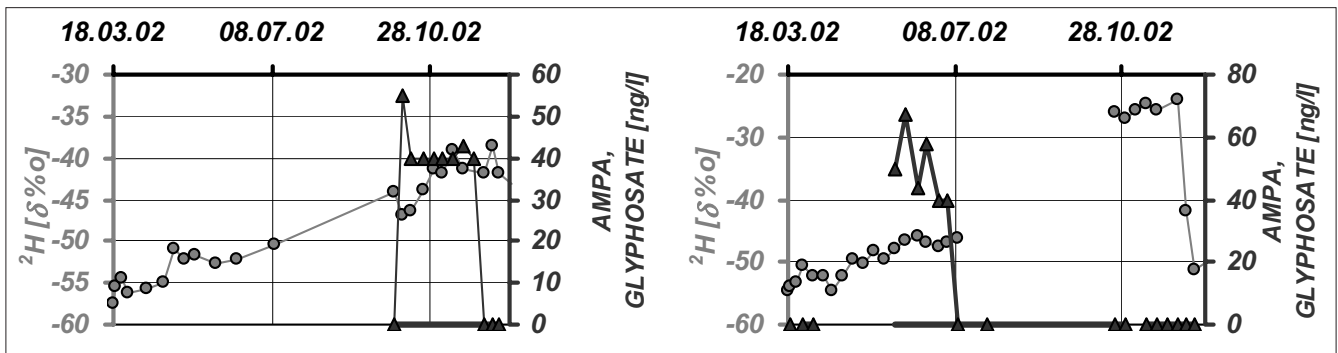


Abbildung 3: Tracerdurchgang und AMPA - Konzentration im Sickerwasser an der Messstelle B4 (Sickerwassersammler auf der Maismonokulturparzelle in 0.8 m Tiefe - links) und am Gefäßlysimeter mit Maismonokultur mit dem Sickerwasserauslass in 1.5 m unter der Oberfläche - rechts).

sehr heterogenes Bild: Während der Wirkstoff Glyphosate nur in 40 cm Tiefe - aber auch hier bis Anfang Juni 2002 detektierbar war, findet sich der Metabolit AMPA in 40 cm Tiefe bis Ende November 2002, wobei die Form der Konzentrationsganglinie durchaus gut mit der Ganglinie der Deuteriumkonzentration vergleichbar ist. An der Feinboden - Kies Grenze (Messstellenserien A und B) zeigt sich die Heterogenität besonders deutlich: In einigen Messstellen ist AMPA zu keinem Zeitpunkt nachweisbar, an den meisten Messstellen tritt AMPA allerdings im Zuge des Beregnungswasserdurchbruchs im November 2002 in Einzelmessungen (z.B. Messstellen A7, A8, B6 oder B7) im Bereich der Bestimmungsgrenze oder darüber oder auch in mehreren aufeinanderfolgenden Messterminen (Messstelle B4 - Abbildung 3 links) auf. Dies wird auch durch die Messungen an den Monolithlysimetern in 70 cm Tiefe auf beiden Versuchspartzellen bestätigt.

In den Gefäßlysimetern LSGVL und LSGVR wurde Glyphosate bei gleicher Konzentration in etwa doppelter Menge wie im Feld aufgebracht. Glyphosate war im Sickerwasserausfluss dieser Lysimeter zu keinem Zeitpunkt nachweisbar. Der Metabolit AMPA zeigt an der Messstelle LSGVR im Juni 2002 einen deutlichen Konzentrationsdurchgang mit Maximalwerten von 70 ng/l, der mit dem ersten Sickerwasserdurchbruch aus der Beregnung korreliert (Abbildung 3 rechts). Auch an der Messstelle LSGVL ist AMPA im Juni 2002 mit dem ersten Durchbruch von Beregnungswasser in einer Analyse nachweisbar.

In den Untersuchungsergebnissen des Jahres 2003 konnte der Fluss des Sicker-

wassers in größeren Tiefen anhand der Messungen von Deuterium gut verfolgt werden. Aufgrund der ausschließlichen Aufbringung von Glyphosate in "üblicher" Art und Menge bei natürlichen hydrometeorologischen Verhältnissen - allerdings in einem sehr niederschlagsarmen Jahr - konnte AMPA nur an der Messstelle LSML04 in 40 cm Tiefe in zwei Proben aus April 2003 (etwa 1 Monat nach Aufbringung) in Spuren nachgewiesen werden. In allen sonstigen analysierten Proben konnten Glyphosate und AMPA nicht nachgewiesen werden.

Boden- und grundwasserhydrologische Bewertung

Die Ergebnisse der Versuche an der Forschungsstation Wagna hinsichtlich der Verlagerung von Glyphosate und AMPA in der ungesättigten Zone lassen sich zusammenfassen:

- Unter den Realbedingungen im Ackerbau des Versuchsfeldes Wagna zeigt die Verlagerung des Wirkstoffes Glyphosate und des Metaboliten AMPA ein sehr differenziertes Verhalten: Die Ursachen dafür dürften zweierlei sein:
 - o Die Bodenverhältnisse sind hinsichtlich ihrer Struktur, ihrer Korngrößenzusammensetzung und ihrer Ausstattung mit Humus kleinsträumig stark unterschiedlich. Deshalb ist auch Adsorption und Abbau der Wirkstoffe räumlich außerordentlich differenziert.
 - o Über den für die Verhältnisse des Murtales typischen schnellen Wasserfluss über Makroporen im Bereich des Feinbodens (abgestorbene Pflanzenwurzelgänge, Tiergänge etc), der im Rahmen von intensiven Untersuchun-

gen am Versuchsfeld Wagna nachgewiesen wurde (BERG et al., 1999), werden geringe Anteile der Wirkstoffe relativ rasch in tiefere Horizonte des Bodens verlagert. In diesen Horizonten ist die Humusausstattung noch deutlich geringer als im Oberboden - dadurch bedingt sind auch Adsorption und Abbau wesentlich geringer einzustufen.

- Die Untersuchungen des Jahres 2002 und auch des Jahres 2003 wurden in einem Jahr mit geringer Sickerwasserbildung durchgeführt. Besonders der Zeitraum nach der Aufbringung von Glyphosate war sehr niederschlags- und damit sickerwasserarm. Diese hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen wären an sich ideal, um ein nicht vorhandenes Auswaschungsrisiko nachzuweisen. Bei der Aufbringung 2002 war der Boden aber wenige Tage vor der Wirkstoffanwendung künstlich beregnet worden (Durchführung des Markierungsversuches).
- Unter hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen, wie sie in diesen Bereichen als normal bezeichnet werden können (Sättigung des Bodens über die Wintermonate; intensive Frühjahrsniederschläge in April und Mai), kann eine noch raschere Verlagerung von Glyphosate und AMPA in höheren Konzentrationen bis in den Kiesbereich nicht ausgeschlossen werden. Dies v.a. dann, wenn der Wirkstoff kurz nach - oder noch schlechter, weil nicht vorhersehbar kurz vor - einem intensiven Niederschlagsereignis ausgebracht wird.
- Unter extremen hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen und großflächiger Anwendung von Glyphosate

zur Vernichtung der winterharten Gründecke (Anwendung in Anlehnung an die Versuchsbedingungen, wobei ein Fehlen des Pflügens im Frühjahr nicht signifikant sein sollte) kann eine potentielle Grundwassergefährdung im Murtal - Grundwasser auf Basis der bisherigen Untersuchungsergebnisse nicht ausgeschlossen werden.

Literatur

- AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 1990: Landesgesetzblatt LGBl. 86/1990 idgF. und 87/1990 idgF. Grundwasserschongebiet Leibnitzerfeld-West und nordöstliches Leibnitzerfeld.
- BERG, W., A. LEIS und J. FANK, 1999: Digitale Bildverarbeitung als Hilfsmittel zur Quantifizierung von bevorzugten Fließwegen in der ungesättigten Zone. - Bericht der BAL über die 8. Lysimetertagung "Stoffflüsse und ihre regionale Bedeutung für die Landwirtschaft" vom 13. bis 14. April 1999, 139-141, Gumpenstein.
- BERG, W., B. CENCUR CURK, J. FANK, F. FEICHTINGER, G. NÜTZMANN, W. PAPESCH, V. RAJNER, D. RANK, S. SCHNEIDER, K.-P. SEILER, K.-H. STEINER, E. STENITZER, W. STICHLER, B. TRCEK, Z. VARGAY, M. VESELIC and H. ZOJER, 2001: Tracers in the Unsaturated Zone. Beiträge zur Hydrogeologie, 52, 7-102, Graz.
- FANK, J., 1999: Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefrachtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzer Feldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.
- FANK, J., 2001: Tracer investigations at the research station "Wagna" (Leibnitzer Feld, Austria) to detect the role of the unsaturated zone for groundwater protection. In: SEILER, K. P. & S. WOHNLICH [eds.]: New Approaches Characterizing Groundwater Flow. Proceedings of the XXXI. IAH International Association of Hydrogeologists Congress Munich, Germany, 10-14 September 2001, Vol. 1, 55-58, München, (Swets & Zeitlinger) Lisse.
- FANK, J., 2002: Tracerhydrologische Methoden - Ergänzung oder Alternative für Feldlysimeter. In: KLAGHOFER E. [Red.]: Monolithische Feldlysimeter. Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, 16, 95-111, Wien.