

LUIS

Info

Inhalt

*Dokumentation
zum Thema
Gewässerschutz*

*Sickerwasserversuche an der
Forschungsstation Wagna zur
Untersuchung der Verlagerung des
Herbizids Glyphosate in
der ungesättigten Bodenzone*

GA 01-05

www.umwelt.steiermark.at

JOANNEUM

RESEARCH

umweltbundesamt[®]



Das Land
Steiermark



**Sickerwasserversuche an der
Forschungsstation Wagna zur
Untersuchung der Verlagerung des
Herbizids Glyphosate in der ungesättigten
Bodenzone**

GA 01-05

Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Fachabteilung 17C
A-8010 Graz, Landhausgasse 7, Tel. Nr. +43/(0)316/877-2955

Leiter der Fachabteilung:
Dr. Gerhard SEMMELROCK

Dieser Bericht entstand unter Mitarbeit folgender Personen:

Für den Inhalt verantwortlich	Dr. Hans-Erik Riedl Dipl.-Ing. Heimo Stadlbauer
Erstellt von	Dipl.-Ing. Heimo Stadlbauer Dr. Johann Fank Joanneum Research
Probenahmen Grundwasser Lysimeteranlage	Dipl.-Ing. Heimo Stadlbauer Barbara Zirngast Joanneum Research
Chemische Grundwasseruntersuchungen	Umweltlaboratorium FA 17C Leiter: Ing. Hermann Schwinghammer
Deuteriumuntersuchungen	Dipl.-Ing. Dr. Albrecht Leis Joanneum Research
Glyphosateuntersuchungen	Dr. Gundi Lorbeer Ing. Werner Hartl Umweltbundesamt
Landwirtschaftliche Betreuung	Ing. Georg Fastl LFS Silberberg
GIS	Dr. Ljiljana Podesser-Korneti

Herausgeber

Amt der Steiermärkischen Landesregierung
Fachabteilung 17C - Technische Umweltkontrolle und Sicherheitswesen
Gewässeraufsicht
Landhausgasse 7
A-8010 Graz

Telefon: +43/(0)316/877-2955 (Fax: 0316/877-3392)
E-Mail: fa17c@stmk.gv.at
Informationen im Internet: <http://www.umwelt.steiermark.at>

© März 2005

Bei Weitergabe unserer Ergebnisse ersuchen wir um Quellenangabe.
Es wird darauf hingewiesen, dass alle Angaben trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Autoren oder des Herausgebers ausgeschlossen ist.

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	1
2.	Einleitung und Problemstellung	6
3.	Anwendung von Glyphosate zur Beseitigung von Gründecken	9
4.	Eigenschaften und Abbauwege von Glyphosate	11
5.	Analyseverfahren	13
6.	Versuchsvorbereitung, Erstellen des Zeit- und Probenahmeplanes ..	13
7.	Deuterium (² H) Markierungsversuch	14
8.	Abschätzung der Traceraufwandsmenge	15
9.	Vorarbeiten im Feld	15
9.1	Versuchsdurchführung	16
10.	Aufbringung von Glyphosate	19
10.1	Versuchsdurchführung	20
11.	Dokumentation der Wirkungsweise von Glyphosate	23
12.	Probenahmestellen zur Beobachtung der Verlagerung und Aufbau der Lysimeteranlage	26
13.	Bodenformen beim Standort Wagna	29
14.	Dokumentation der durchgeführten Untersuchungen und der Ergebnisse des Versuchs	34
14.1	Die hydro-meteorologischen Verhältnisse	34
14.2.	Hydrologische Charakterisierung des Jahres 2003	39
14.3.	Ergebnisse des Versuchs	43
14.3.1	Ergebnisse der Sickerwasserversuche	44
14.3.2.	Ergebnisse der Bodenuntersuchungen	56
15.	Boden- und grundwasserhydrologische Bewertung	57
15.1.	Niederschlag, Sickerwassermenge und Grundwasserneubildung	57
15.2.	Die Verlagerung des Sickerwassers und des Herbizids Glyphosate .	59
16.	Beurteilung der Ergebnisse hinsichtlich einer potentiellen Grundwassergefährdung	61
17.	Anhang	65
17.1	Literatur	65
17.2	Lageplan Lysimeteranlage	66

1. Zusammenfassung

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 Beseitigung der Gründecke ein Herbizid mit dem Wirkstoff Glyphosate verwendet.

Die Einrichtungen der Forschungsstation Wagna boten die Möglichkeit, die Verlagerung des Wirkstoffes Glyphosate bzw. dessen Metabolit AMPA 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 Herbizids abzuleiten.

Nach der Durchführung von Grundwasseruntersuchungen im Murtal zwischen Graz und Bad Radkersburg begannen ab Herbst 2001 die Vorbereitungen für die Sickerwasserversuche bei der Forschungsstation Wagna. Diese Versuche starteten im März 2002 und dauerten bis April 2004.

Das Produkt mit dem Handelsnamen z. B. „Roundup-Ultra“ enthält den Wirkstoff „Glyphosate“. Glyphosate ist ein nichtselektiver blattaktiver Herbizidwirkstoff, der über das Blattgrün aufgenommen und systemisch in der Pflanze verteilt wird. Er hemmt die Synthese der aromatischen Aminosäuren, sodass die Pflanze verdorrt. Als Hauptmetabolit entsteht beim Abbau AMPA, das wie auch der Wirkstoff ebenfalls an Bodenbestandteilen fixiert und mikrobiell weiter abgebaut wird. Die Glyphosate- und AMPA-Messungen im Sickerwasser und in Erdproben wurden vom Umweltbundesamt Wien als Kooperationspartner durchgeführt.

Vor der Untersuchung der Verlagerung von Glyphosate und AMPA erfolgte zur Beurteilung der Verlagerungsgeschwindigkeit des Wassers und daran gekoppelter Stoffe die Durchführung eines Tracerversuches mit Deuterium (^2H) durch

flächenhaftes Aufbringen des Markierungsstoffes mittels Beregnung im März 2002. Dieser Versuch war erforderlich, um den Weg und die Geschwindigkeit des Wassers selbst im Vergleich zum Wirkstoff des Herbizids erfassen zu können. In einem zweiten Schritt erfolgte zwei Tage später die Aufbringung des Herbizids in ortsüblicher Praxis auf den Lysimeterparzellen. Nach einem Monat wurde eine wendende Pflugbodenbearbeitung durchgeführt. Im März 2003 wurde der Versuch mit gleicher Konzentration und Menge ohne vorherige Durchführung einer Beregnung wiederholt. Von den bis April 2004 insgesamt 1295 gezogenen Sickerwasser-Proben wurden 412 Proben auf Glyphosate und AMPA (Metabolit) analysiert, 883 Proben wurden aufgrund der Erkenntnisse aus den Deuteriumuntersuchungen nicht weiter untersucht.

Das Jahr 2002 war durch ein trockenes Frühjahr und einen trockenen Herbst charakterisiert, sodass die Grundwasserneubildung bis zum Frühwinter deutlich hinter den mittleren Verhältnissen zurückblieb. Ein intensives Niederschlagsereignis im Dezember 2002 führte jedoch zu einer intensiven Grundwasserneubildung. Die Niederschläge im Jahr 2003 lagen nur bei etwa 68 % des mittleren Jahresniederschlags aus der Reihe 1992 bis 2001. Da die Grundwasserneubildung des Jahres 2003 nur etwa 98 mm betrug, somit nur bei 26 % der mittleren Neubildung lag und daher kaum Sickerwasser auftrat, können über den Versuchszeitraum 2003/2004 keine gesicherten Aussagen getroffen werden.

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 einem Meter unter Gelände vorgedrungen ist. Mit Eintreffen des Beregnungswassers in 1.05 m Tiefe - erkennbar am Anstieg der Deuteriumkonzentration im Sickerwasser - konnte mehr als 6 Monate nach Aufbringung der Metabolit AMPA nachgewiesen werden. 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 Gefäßlysimetern sind erste geringe Anteile des Beregnungswassers bereits in den Monaten Mai und Juni erkennbar, die Hauptmasse des aufgebrauchten 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 Gefäßlysimetern praktisch abgeschlossen. Bei den Gefäßlysimetern, welche im Gegensatz zu den anderen Sickerwassermessstellen vom Boden-Grundwassersystem vollständig entkoppelt sind, wurde versuchsweise die doppelte Menge an Glyphosate aufgebracht.

Die Verlagerung von Glyphosate und AMPA kann anhand der Ergebnisse der Analysen in den Ganglinien der einzelnen Messstellen gut verfolgt werden. Gesamtheitlich betrachtet zeigt sich ein 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 im Bereich der Bestimmungsgrenze oder darüber oder auch in mehreren aufeinanderfolgenden Messterminen auf. Dies wird auch durch die Messungen an den Monolithlysimetern in 70 cm Tiefe auf beiden Versuchspartzellen bestätigt.

Die zu Beginn des Versuchs 2002 durchgeführten Untersuchungen von Bodenproben zeigten ca. drei Wochen nach der Aufbringung eine Tiefenverlagerung von Glyphosate und AMPA bis in den 60-90 cm Horizont. Dies kann einerseits durch die systemische Verlagerung in das sich bis in tieferliegende Bodenschichten entwickelnde Feinwurzelsystem der behandelten Gründecken, aber auch andererseits durch den Makroporenfluss erklärt werden.

Man erkennt, dass unter den Realbedingungen im Ackerbau des Versuchsfeldes Wagna die Verlagerung des Wirkstoffes Glyphosate und des Metaboliten AMPA ein sehr differenziertes Verhalten aufweisen kann. Die Ursachen könnten bei den Bodenverhältnissen, die hinsichtlich ihrer Struktur, ihrer Korngrößenzusammensetzung und ihrer Ausstattung mit Humus kleinsträumig stark unterschiedlich sind, zu

suchen sein. Deshalb ist auch Adsorption und Abbau der Wirkstoffe räumlich außerordentlich differenziert.

Weiters weist das Murtal einen typischen schnellen Wasserfluss über Makroporen im Bereich des Feinbodens (abgestorbene Pflanzenwurzelgänge, Tiergänge etc.), der im Rahmen von intensiven Untersuchungen am Versuchsfeld Wagna nachgewiesen wurde, auf. Somit werden geringe Anteile des Wirkstoffes 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 als 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. Unter diesen hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen wäre daher eher ein geringes Verlagerungsrisiko in Richtung Grundwasser zu erwarten. Bei der Aufbringung 2002 war der Boden jedoch wenige Tage vor der Wirkstoffanwendung künstlich beregnet worden (Durchführung des Markierungsversuches).

Die Versuche beim Lysimeter in Wagna zeigten, dass unter den hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen, die dem langjährigen Mittel entsprechen (Sättigung des Bodens über die Wintermonate; intensive Frühjahrsniederschläge in April und Mai), eine noch raschere Verlagerung von Glyphosate und AMPA in höheren Konzentrationen bis in den Kiesbereich nicht ausgeschlossen werden kann. Dies vor allem dann, wenn der Wirkstoff kurz nach – oder noch schlechter, weil nicht vorhersehbar, kurz vor einem intensiven Niederschlagsereignis ausgebracht wird.

Zur Beurteilung der Verlagerungsneigung und zur Absicherung der Ergebnisse wären sicherlich noch weitere langfristige Untersuchungen erforderlich, wobei seitens der Herstellerfirma durchgeführte langfristige Modellrechnungen jedoch bereits zeigen konnten, dass ein Verlagerungspotenzial für den Wirkstoff Glyphosate oder AMPA nicht besteht.

Trotz der bisweilen extremen hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen und großflächiger Anwendung von Glyphosate zur Beseitigung der winterharten Gründecke mit anschließender Pflugbodenbearbeitung kann jedoch eine potentielle Grundwassergefährdung im Murtal - Grundwasser auf Basis der bisherigen Untersuchungsergebnisse nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Dennoch sollte als Konsequenz dieser zweijährigen Versuchsserie die Landwirtschaft durch gezielte Umweltberatung der mit in den Versuch eingebundenen Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft auf die Besonderheiten bei der Anwendung des Pflanzenschutzmittelwirkstoffs Glyphosate zur Beseitigung der Gründecken vor allem in Grundwasser-Schongebieten hingewiesen werden, um einen Einsatz nur im unbedingt erforderlichen Ausmaß zu gewährleisten. Dazu werden zur nächsten Vegetationsperiode die bereits eingesetzten landwirtschaftlichen Beratungskonzepte weiterentwickelt.

2. Einleitung und Problemstellung

Das Wasser ist ein wesentlicher Faktor für die Erhaltung des Lebens und die Entwicklung und Gestaltung unseres Lebensraumes, wobei dem unterirdischen Wasser eine besondere Bedeutung zukommt. Sein Vorhandensein ist entscheidend für die Entwicklung eines Gebietes. Früherer Auffassung nach gab es unterirdisches Wasser in ausreichender Menge, der Bedarf an Wasser war noch eher gering. Erst als aus hygienischen Gründen, durch Industrialisierung und Bevölkerungszuwachs etc. immer mehr Grundwasser für Trink- und Brauchwasserzwecke benötigt wurde, gewann auch das unterirdische Wasser an Bedeutung. Zum Sammelbegriff „unterirdisches Wasser“ gehören Bezeichnungen wie z.B. Grundwasser, Porengrundwasser, Karst- und Kluftwasser. Es ist das Wasser, das die Hohlräume der Erdrinde auffüllt und als Grundwasserkörper ein hydrologisch abgegrenztes oder abgrenzbares Grundwasservorkommen bildet.

Das Grundwasserangebot von Grundwasserfeldern ist begrenzt und die Neubildung wird durch Bodenversiegelung, Ableitung des Regenwassers in Kanäle, Flussregulierungen, aber auch durch die intensive landwirtschaftliche Bodennutzung etc. eingeschränkt.

In vielen Bereichen der Steiermark ist man auf die Trinkwasserversorgung aus dem Grundwasser angewiesen, wobei die Nutzung des Grundwassers den Vorteil hat, dass der Bedarf an Brauch- und Trinkwasser aus einem meist großen Einzugsgebiet mit vielfach gleichbleibender Qualität und Ergiebigkeit gedeckt werden kann.

Allerdings ist der Schutz der Grundwasservorkommen meist schwierig, denn als Gefährdungspotential ergeben sich die ständige Zunahme der Siedlungsdichte, Ausbau von Verkehrswegen, Ansiedelung von Gewerbebetrieben, Abwässer, Deponien, Nass- und Trockenbaggerungen und Intensivierung der Landwirtschaft. Die Zunahme der Umweltbelastung gibt daher Anlass zur Sorge um unsere natürlichen Lebensgrundlagen. Die Sicherung und Verbesserung der Qualität der Grundwasserreserven für Trinkwasserzwecke gewinnt dabei immer mehr an

Bedeutung. Um eine Nutzung des Grundwassers gemäß dem Reinhalteziel des Wasserrechtsgesetzes 1959 i.d.g.F. als Trinkwasser zu ermöglichen, muss dem Grundwasser jener Schutz zukommen, den es braucht, um es auch in Zukunft als hochwertiges natives Trinkwasser verwenden zu können.

Das Grazerfeld, Leibnitzerfeld und das Untere Murtal bilden in der Steiermark wichtige Grundwasserfelder. Diese Tallandschaften sind wegen der Bodenverhältnisse und des Klimas ebenfalls besonders für den Maisanbau geeignet. Hieraus kann sich eine Konfliktsituation durch Trinkwassernutzung einerseits und der Gewinnung von Kies und Sand, der Ansiedlung von Gewerbe und Industriestandorten, sowie der Landbewirtschaftung andererseits ergeben.

Die Änderungen der Wirtschafts- und Lebensform in der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten bewirkten eine Intensivierung der tierischen Produktion mit vermehrtem Wirtschaftsdüngeranfall. Auch erfolgte eine Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion insbesondere mit Maismonokulturen, wodurch der Boden seine wichtige Rolle als Puffer und Filter für verschiedene für das Grundwasser unerwünschte Stoffe nicht mehr voll erfüllen konnte. Die anthropogenen Einflüsse durch Düngung und Pflanzenschutzmittel auf den vielfach seicht bis mittelgründigen Böden und auf die ungesättigte Zone begannen sich negativ auf die Qualität des Grundwassers auszuwirken.

Da Nitrat im Gegensatz zum Ammonium extrem der Auswaschung ausgesetzt ist, kommt es dann beim Fehlen einer unzureichenden Pflanzendecke zu einem Nitrateintrag ins Grundwasser. Die Düngung durch die Landwirtschaft ist jedoch nicht die einzige mögliche Nitrateintragsquelle ins Grundwasser. Mangelnde Abwasserbeseitigung, Abfalldéponien, Versickerungen aus Oberflächengewässern, sowie Niederschläge sind andere mögliche Eintragspfade.

Mitte der 80er-Jahre begann in manchen Bereichen, vor allem im Leibnitzerfeld, der Nitratgehalt teilweise stark anzusteigen.

Aber nicht nur beim Nitrat traten Probleme auf, auch der massive Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, vor allem von Atrazin beim Maisanbau, führte zu einer starken Belastung des Grundwassers. So mussten zur Verhinderung eines weiteren Anstieges des Nitrat- und Pflanzenschutzmittelwirkstoffgehaltes Maßnahmen auf gesetzlicher Basis gesetzt werden.

Mit der Erlassung von Schongebietsverordnungen (1990: Kalsdorf, Leibnitzerfeld-West, nordöstliches Leibnitzerfeld, Ehrenhausen, Gosdorf, Mureck, Radkersburg 1995: Ragnitz, 1996 Novelle) wurden gesetzliche Maßnahmen festgelegt, die Verbesserungen bei der Grundwasserqualität erwarten ließen. Diese Maßnahmen betrafen insbesondere den landwirtschaftlichen Bereich.

Der Einsatz von bestimmten Pflanzenschutzmittelwirkstoffen (z.B. Atrazin) wurde verboten, die Ausbringung von z. B. Gülle und Jauche zeitlich geregelt und die Größe der Maisanbaufläche beschränkt.

Vor allem wird auch auf eine ordnungsgemäße Bodennutzung bei entsprechender landwirtschaftlicher Bewirtschaftung, insbesondere hinsichtlich der Ausbringung von Düngemitteln, besonders geachtet. So ist auch geregelt, dass in der vegetationslosen Zeit nach dem Ausbringen von Stickstoff-Düngern eine winterharte Gründecke so rechtzeitig anzulegen ist, dass diese ab dem ersten November eine vollständige Bestandsentwicklung aufweist. Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (z.B. Gülle) im Herbst nach der Ernte der Feldfrüchte ohne unmittelbar folgendem Anbau einer Winterbegrünung stellt keine Düngung dar und ist somit als nicht ordnungsgemäße landwirtschaftliche Bodennutzung verboten.

Das rechtzeitige Anlegen von z. B. winterharten Gründecken oder einer Mais- bzw. Kürbiskultur im Frühjahr ist eine wesentliche Maßnahme im Sinne des Grundwasserschutzes, um insbesondere in den wasserwirtschaftlich bedeutsamen Schon- und Schutzgebieten die hohe Qualität des Grundwassers sicherzustellen.

Die Maßnahmen in den Schongebieten haben in vielen Bereichen der Grundwasser-Schongebiete eine deutliche Verbesserung der Grundwasserqualität gebracht,

sodass das Wasser wieder vielfach nach den Vorgaben des Wasserrechtgesetzes Trinkwasserqualität aufweist.

3. Anwendung von Glyphosate zur Beseitigung von Gründecken

Da gerade in wasserwirtschaftlich besonders bedeutsamen Gebieten, wie Schon- und Schutzgebieten, die Ansprüche an den Grundwasserschutz höher zu stellen sind als außerhalb derselben, muss in solchen Gebieten jede Änderung von grundwasserrelevanten Maßnahmen genau geprüft werden. Dabei sind gegenüber dem im Wasserrecht normierten „Allgemeinen Grundwasserschutz“ erhöhte Ansprüche, wie beispielsweise hinsichtlich geprüfter Langzeitwirkung zu stellen. Jedenfalls muss in solchen wasserwirtschaftlich bedeutsamen Gebieten dem Schutz des Grundwassers unbedingte Priorität eingeräumt werden.

Wie bereits vorhin angeführt, sind auf Grundlage der Schongebietsverordnungen aus den Jahren 1990 und 1996 seitens der Landwirtschaft besondere Vorkehrungen zur Verminderung des Eintrags von Nitrat und Pflanzenschutzmitteln ins Grundwasser zu treffen. So müssen zur Entfernung des Stickstoffs aus dem Boden winterharte Gründecken angelegt werden. Sofern es sich nicht um z.B. Wintergetreide oder Raps handelt, werden diese Gründecken vor dem Anbau einer Frucht (Mais, Kürbis, etc.) beseitigt, d.h. in den Boden eingeackert.

Insbesondere bei „schweren Böden“ laufen die Verrottungsprozesse langsam ab, sodass aus Gründen der besseren Verrottung die Pflanzen vor der Einackerung zum Abwelken gebracht werden, wozu vermehrt seit dem Jahr 2000 vor allem z.B. Mittel mit unterschiedlichen Handelsbezeichnungen mit dem Wirkstoff „Glyphosate“ eingesetzt werden.

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 – vor allem 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 aufgrund der massiven 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 Methodenentwicklung und für die Durchführung von Messungen auf Glyphosate und auf das Zwischenabbauprodukt AMPA in Grundwässern als Kooperationspartner gewonnen werden.

Im Rahmen der Gewässeraufsicht erfolgten im Frühjahr 2001 erste Erhebungen durch Kontrollfahrten in den Schongebieten zwischen Graz und Bad Radkersburg betreffend die Anwendung von Glyphosate zur Beseitigung von Gründecken. Vor allem in den Schongebieten „Mureck“ und „nordöstliches Leibnitzerfeld“ wurde Glyphosate vermehrt eingesetzt. Basierend auf diesen Erhebungsergebnissen wurden im April und Juni 2001 Grundwasseruntersuchungen an ausgewählten Messstellen durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten, dass in einem Trinkwasserbrunnen im Leibnitzerfeld das Zwischenabbauprodukt 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 Sickerwasserversuche bei der Forschungsstation Wagna (Lageplan siehe Anhang). 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 Wien 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 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 Herbizids abzuleiten. Die Frage der Gewinnbarkeit der Proben und der im Sickerwasser eventuell enthaltenen Wirkstoffe durch die eingebauten Probennahmesysteme wurde bereits im Vorfeld abgeklärt.

4. Eigenschaften und Abbauege von Glyphosate

Das für die Sickerwasserversuche eingesetzte Produkt mit dem Handelsnamen „Roundup-Ultra“ (Pflanzenschutzmittelregister-Nummer 2613/0) 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 grundsätzlich 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.

Die Abbauewege werden in der Abbildung 1 dargestellt.

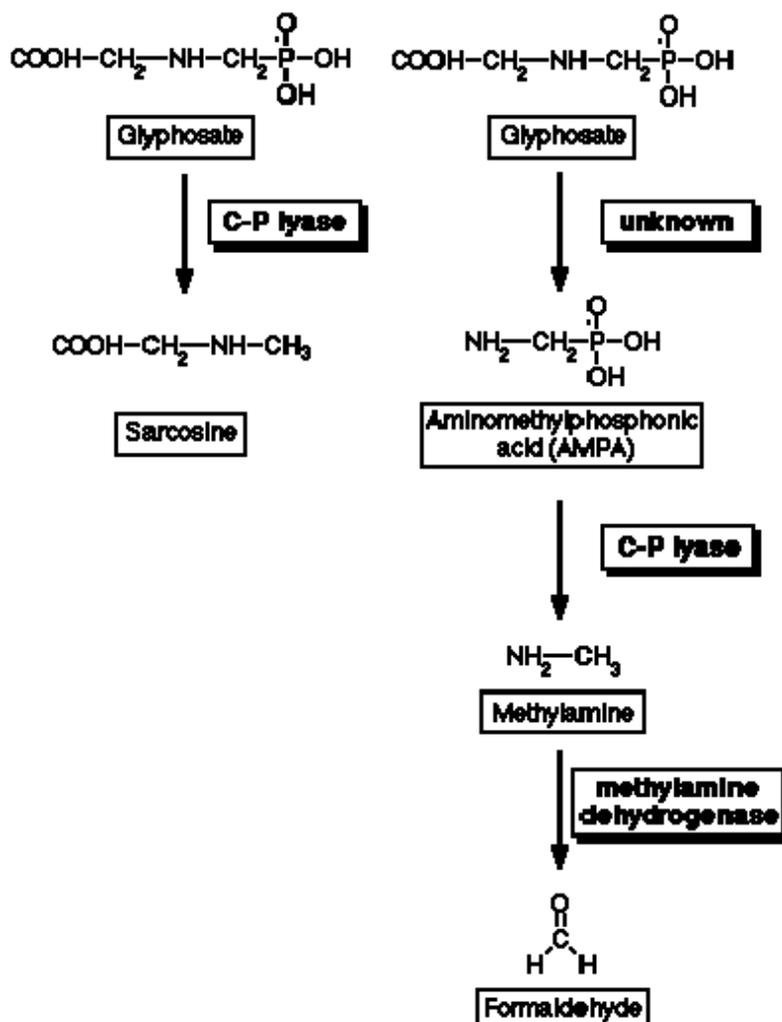


Abbildung 1: Abbauewege von Glyphosate

Für AMPA gibt es jedoch neben der Bildung aus Glyphosate noch einen weiteren Eintragungsweg in Oberflächengewässer. Es entsteht als Abbauprodukt von stickstoffhaltigen organischen Phosphonaten (Aminopolyphosphonaten), die überwiegend in Waschmitteln und Kühlwasserkreisläufen Anwendung finden. Diese Phosphonate gelangen über das Abwasser in die Gewässer.

5. Analyseverfahren

Bedingt durch die polare Struktur der Analyten ist eine Bestimmung mittels GC-MS nur nach erfolgter Derivatisierung möglich. Vor Beginn der Probenaufbereitung wurden C¹³ isotopenmarkiertes Glyphosate und C¹³ isotopenmarkiertes AMPA als Surrogates zugesetzt. Die Analyten wurden aus den wässrigen Proben über quartäre Amin-Anionentauscher angereichert und mit Heptafluorbutanol und Trifluoressigsäureanhydrid zu Heptafluorbutyl - Verbindungen derivatisiert. Nach dem „Clean up“ mittels GPC erfolgte die gaschromatographische Endbestimmung 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 Bestimmungsgrenze bei 0,04 µg/l. Die Extraktion der Analyten aus dem Boden erfolgte mit 0,01 N NaOH. Die weitere Probenvorbereitung wurde analog der Methode zur Bestimmung in Wasser durchgeführt. Die Nachweisgrenze für beide Analyten liegt bei 2,5 µg/kg TM (105 °C).

6. Versuchsvorbereitung, Erstellen des Zeit- und Probenahmeplanes

Die Durchführung des Versuches wurde im Rahmen einer Besprechung am Versuchsfeld Wagna im März 2002 im Beisein von Vertretern des Auftraggebers, der Wasserrechtsabteilung des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung, der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft, der Umweltberater, der Fachschule Silberberg als Versuchsdurchführende und der JOANNEUM RESEARCH GmbH (Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik) detailliert besprochen.

Die Probenahmen in der ungesättigten und gesättigten Zone erfolgten im Rahmen der laufenden Wartung und Kontrolle der Forschungsstation Wagna. Es war davon auszugehen, dass pro Untersuchungsjahr etwa 100 Proben auf den Wirkstoff des Herbizids zu untersuchen sein werden. Die Auswahl der Probenahmezeitpunkte und der Probenahmestellen aus der ungesättigten Zone erfolgte aufgrund der bisherigen Erfahrungen über Wasserbewegung und Stofftransport an der Forschungsstation

Wagna und auf Basis der Ergebnisse der Analysen des Deuteriums. Die Proben wurden entsprechend den Vorgaben des Referates Gewässeraufsicht des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung entnommen, tiefgefroren und für die Analytik zur Verfügung gestellt.

Die Analysen der Sickerwasser- und Grundwasserproben auf Deuterium aus dem begleitenden Tracerversuch wurden im Labor des Instituts WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik der JOANNEUM RESEARCH GmbH. durchgeführt. Aufgrund der Leitfunktion dieses Tracers hinsichtlich der Auswertung der Daten des Glyphosate-Versuches war mit einer erforderlichen Analysenzahl von etwa 450 während des gesamten Untersuchungszyklus zu rechnen. Die Analysen wurden von jeweils mehreren Messstellen in unterschiedlichen Tiefenbereichen der ungesättigten Zone beider Lysimeterparzellen und der beiden unterschiedlich bewirtschafteten Gefäßlysimeter durchgeführt. Das Zeitintervall der Beprobung orientierte sich an den natürlichen hydrometeorologischen Verhältnissen.

7. Deuterium (^2H) Markierungsversuch

Vor der Untersuchung der Verlagerung des Wirkstoffes Glyphosate und des Metaboliten AMPA erfolgte die Durchführung eines Tracerversuches mit Deuterium (^2H) durch flächenhaftes Aufbringen des Markierungsstoffes mittels Beregnung etwa ein bis zwei Tage vor der Ausbringung des Herbizids. Dieser Versuch war aus zwei Gründen erforderlich: Zum einen waren für die Aufbringung des Herbizids hinsichtlich der Verlagerung möglichst „worst case“ Bedingungen zu schaffen, was durch die Auffüllung des Bodenwasserspeichers erfolgte. Nur bei annähernd erreichter Feldkapazität des Bodens werden maximale Fließgeschwindigkeiten in der ungesättigten Zone erreicht. Zum anderen war es unbedingt erforderlich, den Weg und die Geschwindigkeit des Wassers selbst im Vergleich zum Wirkstoff des Herbizids zu erfassen. Dies erfolgte durch die Verwendung von Deuterium – ein Isotop des Wasserstoffs und somit an das Wassermolekül gebunden und ein idealer konservativer Tracer. Erst damit könnten schlüssige Aussagen über das Verhalten des Herbizids getroffen werden, zumal nach Aussagen der Hersteller und nach den

Ergebnissen von Labor- und Zulassungsuntersuchungen mit einer starken Adsorption und einem schnellen Abbau des Herbizids zu rechnen war.

8. Abschätzung der Traceraufwandsmenge

Die Abschätzung der erforderlichen Traceraufwandsmenge erfolgte auf Basis der Kenntnis der Wasserbewegung und des Stofftransportverhaltens an der Forschungsstation unter Verwendung des in FANK (1999) vorgestellten 1D-Transportansatzes. Unter der Annahme der Wiederfindungsrate und der Bewegungsdynamik in Anlehnung an den Bromid – Tracerversuch im April 1993 war unter Verwendung einer Tracermenge von 1000 ml auf einer Fläche von 200 m² und einer Beregnungshöhe von 40 mm in 3 m Tiefe in der ungesättigten Zone mit einer Erhöhung der Deuterium-Konzentration um 25 ‰ zu rechnen, was mehr als das 10fache der Nachweisgrenze darstellte. Es war damit eine ausreichende Nachweissicherheit gegeben. Auf den beiden Gefäßlysimetern war aufgrund dieser Beregnungsannahmen und der erforderlichen Konzentrationen die Aufbringung von je 5 ml ²H und 40 l H₂O erforderlich.

9. Vorarbeiten im Feld

Am Morgen des 18.03.2002 wurde aufgrund des jüngsten Ausfalles des Monolithlysimeters in 40 cm Tiefe auf der Maismonokulturseite (rechts) eine zusätzliche Messstelle in Form von 2 Saugkerzen eingebaut, die es erlaubten, Sickerwasser aus dem ungestörten Boden in 40 cm unter Geländeoberfläche zu entnehmen.

Am Vormittag des 18.03.2002 erfolgte die Entnahme von Blindproben aus dem über eine Woche angefallenen Sickerwasser der einzelnen Messstellen.

9.1 Versuchsdurchführung

Die Durchführung des Beregnungsversuches erfolgte am 18.03.2002 zwischen 11:00 und 21:00 Uhr mit Hilfe von Schwenkberegnern, wobei als Beregnungswasser Grundwasser aus dem Pegel im Abstrombereich der Forschungsstation Wagna verwendet wurde. Das Wetter während der Versuchsdurchführung war schön bei einer Mittagstemperatur von etwa 15 °C und leichtem Nordostwind, der zeitweise bis zu einer Stärke von 25 km/h auffrischte. Ab etwa 13:00 Uhr trübte sich das Wetter leicht ein, sodass die direkte Sonneneinstrahlung deutlich vermindert wurde (Fotos 1, 2, 3 und 4).



*Foto 1:
Aufbau der
Versuchsanlage zur
Beregnung des
Deuteriums am
18.03.02 bei der
Lysimeteranlage
Wagna*

Der detaillierte Ablauf der Beregnung ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Detaillierter Ablauf der Beregnung des Deuteriums am 18.03.02 am Versuchsfeld Wagna

Zeit	Maßnahme
11:00	Abstichmaß an Bohrung bei der Klimastation (Bohrung für Wasserentnahme für die Beregnung) 4,94 m
11:15	Aufbau der Beregnungsanlage
12:00	Befüllung der 300 l Tonne mit Erfassung der Fördermenge der Pumpe. Die Förderleistung der Pumpe beträgt konstant 0.57 l/s und entspricht damit genau den experimentell im Vorfeld ermittelten Förderraten.
12:30 bis 13:00	Vorberegnung von 300 l auf beiden Flächen zur Ermittlung der Leistungsfähigkeit der Beregner, der beregneten Flächen und der Verteilung des Beregnungswassers auf den Feldern. Ergebnis: <ul style="list-style-type: none"> • Die beregnete Fläche beträgt je Beregner 12*9 m und deckt damit den gesamten Bereich ab, in dem relevante Messsonden oder Probenahmestellen liegen. • Die Verteilung des Beregnungswassers ist bei gleichbleibenden Windverhältnissen recht homogen, durch sich ändernde Windstärken und -richtungen ist aber mit gewissen Inhomogenitäten in der Verteilung zu rechnen. Diese Verteilung ist jedenfalls während des Versuches durch Beobachtung und auch Messung zu prüfen. • Durch die Vorberegnung wurden auf jeder Seite 1.3 mm Wasser in jeweils etwa 15 Minuten aufgebracht.
13:24 bis 13:34	Befüllung der Tonne für die Tracerberegnung mit nochmaliger Kontrolle der Fördermenge der Pumpe.
13:34 bis 13:42	Beregnung von 1 l ² H vermischt mit 300 l Wasser auf die beiden Versuchsflächen. Diese Beregnungszeit war nahezu windstill, sodass von einer recht homogenen Verteilung der Tracermasse auf den Versuchsflächen ausgegangen werden kann.
13:42 bis 19:15	Beregnung von 8340 l Wasser (= 40 mm incl. Vorberegnung). Die Verteilung der Beregnungsmenge auf den Versuchsflächen wurde durch behelfsmäßige Messeinrichtungen überprüft.
14:35 bis 14:45	Beregnung von 40 l Wasser und 5 ml ² H auf dem rechten Gefäßlysimeter (mit der Gießkanne).
15:10 bis 15:20	Beregnung von 40 l Wasser und 5 ml ² H auf dem linken Gefäßlysimeter (mit der Gießkanne).
18:50	Abstichmaß an der Bohrung bei der Klimastation (Pumpbetrieb für Beregnung) 5,105 m.



Foto 2: Vorbereitung des Tracers gelöst in 300 l Wasser für die Beregnung



Foto 3: Tracerberegnung Monokulturseite

*Foto 4:
Nachberegnung
nach der
Traceraufbringung
und Kontrolle der
Beregnungsmenge*



10. Aufbringung von Glyphosate

In einem zweiten Schritt erfolgte die Aufbringung des Herbizids auf den Lysimeterparzellen durch die Betreiber des Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchswesens in ortsüblicher Praxis, weiters auf den beiden Gefäßlysimetern der Forschungsstation Wagna in hoher Dosierung. Die beiden Schwerekraft – Gefäßlysimeter der Forschungsstation Wagna sind künstlich befüllte, aber aufgrund der bisherigen Laufzeit von 10 Jahren konsolidierte Bodensäulen mit 1 m² Oberfläche und 1.5 m Tiefe, die vom natürlichen System Boden – Grundwasser vollständig entkoppelt sind. Daher war es möglich, in diesem Bereich mit stark erhöhten Konzentrationen des Pflanzenschutzmittels zu arbeiten, um damit eine etwaige Gefährdung im Falle eines Unfalles untersuchen zu können.

10.1 Versuchsdurchführung

Am 20.03.2002 wurden durch Vertreter der Fachschule Silberberg am Vormittag die Blindproben des Sickerwassers für die Glyphosate-Untersuchung, sowie von den beiden Versuchsfeldern Bodenproben gezogen.

Die Versprühung des Herbizids Glyphosate wurde am 20.03.2002 zwischen 14:30 und 16:00 Uhr vorbereitet und durchgeführt (Foto 6). Dazu wurde in einem ersten Schritt die Aufbringungsmaschine dahingehend getestet, dass die korrekte Menge an Wasser unter Berücksichtigung von Konzentrationsanforderungen und Fahrgeschwindigkeit auf die Fläche ausgebracht wird. Dieser Test erfolgte auf einer der übrigen Versuchspartellen. Nach der Herstellung der Sprühhösung wurde eine Probe dieser Lösungs entnommen und in der Forschungsstation Wagna tiefgefroren. Um Kontaminationsprobleme (auch über Luftverfrachtung) möglichst auszuschließen, wurde daraufhin die Forschungsstation Wagna dicht verschlossen und in der Folge an diesem Tag nicht mehr betreten.

Als nächster Schritt erfolgte die Aufbringung der Sprühhösung auf die beiden Versuchsfelder. In weiterer Folge wurden kleine Mengen der Sprühhösung in eine Druckflasche abgefüllt und diese unter Einhaltung einer doppelten Konzentration der auf die Felder aufgetragenen Lösungs auf die beiden Gefäßlysimeter versprüht (Foto 7). Nähere Details technischer Belange (Konzentration, Fläche etc.) wurden vom Vertreter der Fachschule Silberberg beigestellt:

- Die Durchführung des Versuches erfolgte am 22. März 2002 von 15:35 bis 17:30 bei trockener, windstiller Witterung und einer Temperatur von etwa 15 °C.
- Die Aufbringung auf den Lysimeter – Versuchspartellen erfolgte von einem Landwirt in Landscha, der auch sonstige Feldarbeiten am Versuchsfeld Wagna durchführt, unter Betreuung eines Vertreters der Fachschule Silberberg.
- Die Aufbringung erfolgte mittels einer Feldspritze mit 10 m Balken und 2 bis 3 bar Druck, montiert auf einem Traktor (Steyr 8080 Allrad).

-
- Die Aufbringungsmenge wurde festgelegt aufgrund
 - Einer mündlichen Empfehlung von Hr. STURM (Agrolinz – Melanin GmbH.), der eine Menge von 2 bis 4 l/ha Roundup-Ultra in 100 bis 300 l Wasser gelöst vorschlug (das ergibt eine 1 bis 2 %ige Lösung, wobei letztere zu bevorzugen sei).
 - Der Empfehlung laut Beschreibung Roundup–Ultra (Pt. 19), wobei 4 l/ha in 150 bis 300 l Wasser vorgeschlagen werden.
 - Schlussendlich wurden 3.872 l/ha in 242 l Wasser (1.6 %ig) gelöst auf beiden Lysimeterparzellen (Nr. 14, Fruchtfolgekultur und Nr. 18, Maismonokultur) ausgebracht.
 - Die Aufbringung je Parzelle erfolgte durch je zwei Fahrten (jeweils vom Lysimeter aus gesehen):
 - 1. Fahrt vom Parzellenrand bis 10 m in der Parzelle
 - 2. Fahrt bis zum gegenüberliegenden Parzellenrand (8 m Breite)
 - Die Aufbringung auf den beiden Gefäßlysimetern erfolgte mit einer Hand - Sprühflasche mit Pumpe, wobei jeweils durch 25 Pumpstöße Druck aufgebaut wurde. Die Besprühung wurde 12 bis 15 Sekunden lang flächenhaft mit einer Entfernung von 15 bis 20 cm über der Lysimeteroberfläche durchgeführt.
 - Auf dem Gefäßlysimeter Maismonokultur (MM) wurden 55 ml von der Spritzbrühe aus dem Tank der Feldpumpe ausgebracht. Dies entspricht einer Menge von 8.8 l/ha Roundup-Ultra 1.6 %ige Lösung.
 - Auf dem Gefäßlysimeter Fruchtfolge (FF) wurden 63 ml von der Spritzbrühe aus dem Tank der Feldpumpe ausgebracht. Dies entspricht einer Menge von 10.08 l/ha Roundup-Ultra 1.6 %ige Lösung.

In Summe konnte sowohl die Deuteriumsbestimmung als auch die Aufbringung des Roundup-Ultra als erfolgreich betrachtet werden – sowohl hinsichtlich meteorologischer als auch versuchstechnischer Rahmenbedingungen.



Foto 5: Entnahme der Proben für die Sickerwasseruntersuchung auf Glyphosate in der Lysimeteranlage



Foto 6: Versprühung von Glyphosate auf der Maismonokulturparzelle (rechts)



Foto 7: Aufbringung von Glyphosate in doppelter Konzentration auf dem rechten Gefäßlysimeter

11. Dokumentation der Wirkungsweise von Glyphosate

Die Wirksamkeit der aufgetragenen Menge an Glyphosate soll im Folgenden durch einige Fotos dokumentiert werden (Fotos 8 bis 13).



Foto 8: Maismonokulturparzelle am 4. April 2002



Foto 9: Die beiden Gefäßlysimeter am 4. April 2002



Foto 10: Fruchtfolgeparzelle am 19. April 2002



Foto 11: Maismonokulturparzelle am 19. April 2002



Foto 12: Gefäßlysimeter am 19. April 2002

*Foto 13:
Einarbeitung der Reste
der Gründecke der
Maismonokulturparzelle
am 19. April 2002*



Ein Jahr später (zweites Versuchsjahr) wurde sodann im März 2003 ein weiterer Versuch durchgeführt, bei welchem nur noch Glyphosate auf „übliche“ Art aufgebracht wurde. Eine nochmalige Durchführung eines Tracerversuches war nicht erforderlich, zumal zu diesem Zeitpunkt die Verlagerung des Wassers in der ungesättigten Zone noch nicht abgeschlossen war.

12. Probenahmestellen zur Beobachtung der Verlagerung und Aufbau der Lysimeteranlage

In Tabelle 2 sind die Messeinrichtungen und deren Einbautiefe zur Erfassung der Verlagerung von Deuterium und Glyphosate am Versuchsfeld Wagna – Lysimeterparzellen zusammengefasst: Die Messstellen sind einerseits an der Feinboden – Schottergrenze eingebaut (Messstellen A und B), andererseits in Tiefenprofilen zur Erfassung der Wasser- und Stoffbewegung von 40 cm unter Gelände bis in 3 m Tiefe, wobei die Monolithlysimeter bauartbedingt nur im Feinboden verwendet werden können, die Sickerwassersammler sind in den ungesättigten Kiesen eingebaut. Die beiden Gefäßlysimeter an der Stirnseite der Forschungsstation sind vom natürlichen System des Aquifers vollkommen entkoppelt, weshalb hier höhere Konzentrationen eingesetzt werden können.

Tabelle 2: 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	Monolithysimeter (MM)	-0.60	u
LSMR07	Monolithysimeter (MM)	-0.70	u
LSRR15	Sickerwassersammler (MM)	-1.50	d
LSWR15	Sickerwassersammler (MM)	-1.50	d
LSWR30	Sickerwassersammler (MM)	-3.00	d
LSML04	Monolithysimeter (FF)	-0.40	u
LSML07	Monolithysimeter (FF)	-0.70	u
LSML11	Monolithysimeter (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

Der Aufbau der Lysimeteranlage Wagna wird in den Abbildungen 2 und 3 dargestellt:

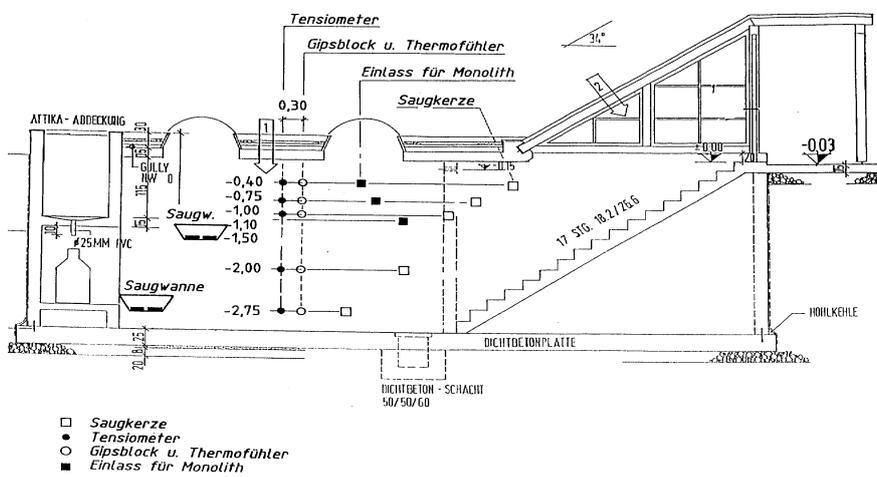
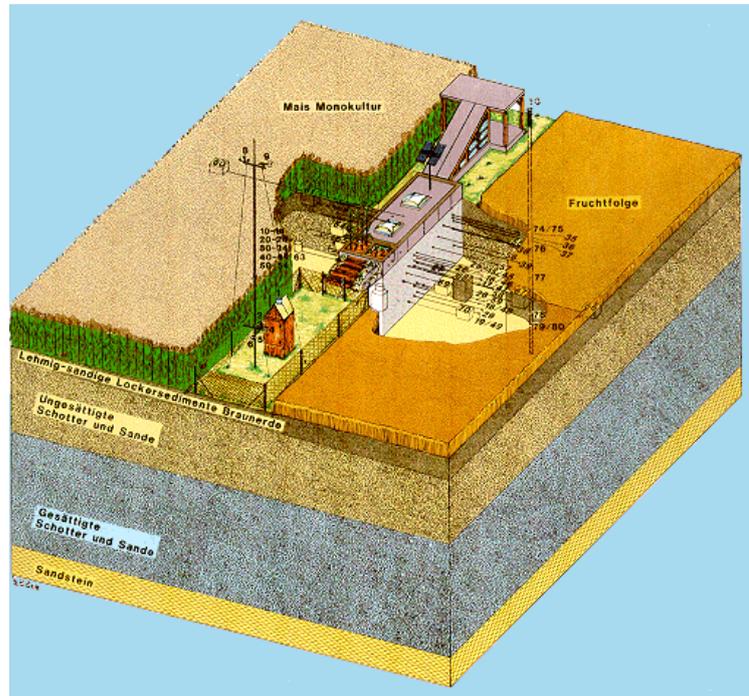


Abbildung 2: Längsschnitt durch die Lysimeteranlage in Wagna mit den Einlässen für die unterschiedlichen Messsonden und Probenahmesysteme

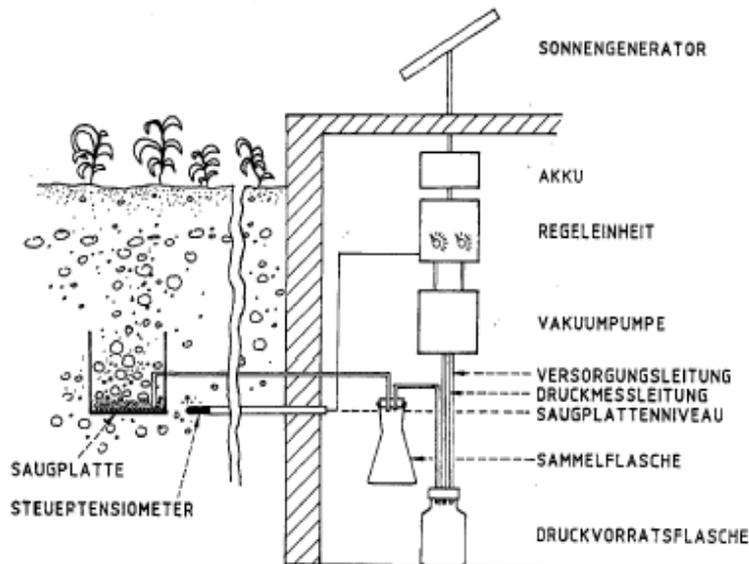


Abbildung 3: Schematische Darstellung des tensionsgesteuerten Unterdrucklysimeters

13. Bodenformen beim Standort Wagna

Die Quartärablagerungen des Leibnitzer Feldes werden durchwegs von fluvioglazialen, bzw. fluviatilen Sedimenten aufgebaut. Die aus diesen Ablagerungen entstehenden Terrassenflächen sind das beherrschende Landschaftselement. Obwohl das Leibnitzer Feld während der letzten Eiszeit nie direkt in das Eisstromnetz der Mur eingebunden war, ist die Entstehung der Terrassen auf die kaltzeitlichen Bedingungen zurückzuführen. Das Hauptaugenmerk bezüglich der Landschaftsgenese ist auf die Abfolge der vier Kaltzeiten der letzten Eiszeit - Günz, Mindel, Riß und Würm - sowie auf die holozäne Landschaftsüberprägung zu richten. Die höheren (älteren) lehmbedeckten Terrassen sind teilweise sehr stark verschliffen und häufig in der Landschaft nur noch sehr schwach vom angrenzenden tertiären Riedelland zu unterscheiden. Die rißzeitliche Hochterrasse (Helfbrunner Flur) tritt im wesentlichen im Bereich der Umrahmung des Leibnitzer Feldes auf und ist durch einen 3 bis 4 m mächtigen Kieskörper und eine durchwegs mehrere Meter mächtige Staublehmdecke gekennzeichnet.

Die würmzeitliche Niederterrasse gliedert sich fast durchwegs in zwei Teilfluren, wobei der Abfall von der höheren Teilflur (Hauptterrasse) zur tieferen meist nur wenige Meter beträgt. Im Stadtgebiet von Leibnitz ist der Übergang zwischen beiden

Fluren stark verschliffen. Die Niederterrasse wird vorwiegend aus gering schluffigen, sandigen Kiesen mit Steinen aufgebaut, die sich hauptsächlich aus kristallinen Geröllen (Quarz, Gneise, Amphibolite, metamorphe Schiefer usw.) und Kalken zusammensetzen. Die Komponenten sind durchwegs gut gerundet. Neben matrixfreien Kieslagen treten innerhalb des Terrassenkörpers immer wieder sandige, örtlich auch schluffige Partien von linsenförmigem Charakter auf. Die Auzonen an der Mur zeigen über dem präquartären Untergrund ebenfalls einen Aufbau aus schwach schluffigen, sandigen Kiesen, über denen jedoch im Gegensatz zur Niederterrasse stellenweise eine 1,5 bis 3 m mächtige Aulehmdecke liegt. Die Mächtigkeit der Sedimente der Austufe liegt meist zwischen 4 und 6 Meter.

In den Erläuterungen zur Bodenkarte (BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, 1974) sind die im Leibnitzerfeld vorzugsweise auftretenden Bodenformen und -arten zusammenfassend dargestellt:

- Unmittelbar an der Mur trägt die rezente Au einen kalkigen verbrauchten Grauen Auboden aus sandigem Schwemmmaterial, das über Schotter liegt. In dem Bereich, wo durch die Regulierung der Mur im 19. Jahrhundert die rezente Au weitab vom heutigen Murverlauf lag, bildete sich ein vergleyter, verbrauchter Grauer Auboden aus sandigem Schwemmmaterial über Schotter aus, wobei das ursprüngliche kalkhaltige Material entkalkt wurde.
- Die höher gelegene subrezente Au ist durch reifere entkalkte Braune Auböden aus sandigem Schwemmmaterial gekennzeichnet. In Rinnen, Mulden und am Rande zur Terrasse oder zum Hügelland entwickelten sich aus sandigem Schwemmmaterial grund- und hagwasserbeeinflusste Gleyböden.
- Die Böden der Niederterrasse bestehen aus lehmig- sandigem Feinmaterial. Der Speicherfähigkeit des Substrates kommt hier für die Wasserversorgung der Pflanzen eine entscheidende Bedeutung zu. Die auftretenden silikatischen Lockersediment-Braunerden unterscheiden sich in erster Linie durch ihre unterschiedliche Gründigkeit, die sich aus der unregelmäßigen Schotteroberkante und die darüber reliefnivellierend ausgebildeten Böden ergibt. Im Bereich von Wagna sind Reste einer Römersiedlung anzutreffen. Der dort vorliegende kalkige Haldenboden ist reich mit Siedlungsschutt und Mauerresten durchsetzt.

- Die höheren Terrassen liegen hauptsächlich östlich der Mur, sind aber auch am westlichen Ufer als kleine Flächen zu finden (Jößer Terrasse). Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist eine mächtige, lehmig-schluffige Feinsedimentdecke, die einem stark gealterten Schotterkörper auflagert. Hier tritt im Raum Gabersdorf - St. Veit a. Vogau und auch zwischen Jöb und Stangersdorf eine silikatische Lockersediment Braunerde in Erscheinung, die aufgrund ihrer optimalen Wasserversorgung aus landwirtschaftlicher Sicht zu den besten Böden der Steiermark gehört. In flachen Mulden haben sich zum Teil wechselfeuchte, Extreme Pseudogleye ausgebildet, bei denen die feuchte Phase überwiegt. Zwischen den Pseudogleyen und der Lockersediment Braunerde liegt eine pseudovergleyte silikatische Lockersediment Braunerde, deren tiefliegender Staukörper die Wasserführung nicht mehr ungünstig beeinflusst.

Die Lysimeteranlage Wagna liegt auf der tieferen Flur der Niederterrasse (Würm) des Leibnitzer Feldes. Die Niederterrasse wird von einem mächtigen Kieskörper mit einer unruhig-welligen Oberkante aufgebaut, der von einer lehmig-sandigen Deckschicht reliefnivellierend überlagert wird (siehe Bohrprofil Abb. 4). Auf der Hauptflur, die den zentralen Teil des Feldes einnimmt, dominieren die mittel- bis seichtgründigen, leichten silikatischen Braunerden. Die tiefere Flur, sie ist ein bis zwei Meter in die Hauptflur eingesenkt, kommt überwiegend im Osten der Hauptflur, stellenweise aber auch im Westen vor, wird überwiegend von tiefgründigen (70-150 cm), leicht bis mittelschweren silikatischen Braunerden eingenommen. Charakteristisch für die Bodenverhältnisse auf der Niederterrasse ist die engräumige Schwankung der Gründigkeit. Die Messbereiche beiderseits der Lysimeteranlage werden durch zwei unterschiedliche Bodenprofile charakterisiert. Durch diese Unterschiedlichkeit des Profilaufbaues wird naturgemäß die Auswertung der Messdaten dahingehend erschwert, dass neben den Auswirkungen der unterschiedlichen landwirtschaftlichen Maßnahmen und der verschiedenen Fruchtfolge auch die Wirkungsweise des Bodenaufbaues in die Ergebnisse einfließt.

Die feldbodenkundliche Aufnahme der Profile durch M. EISENHUT im Zuge der Errichtung der Anlage erbrachte folgende Ergebnisse:

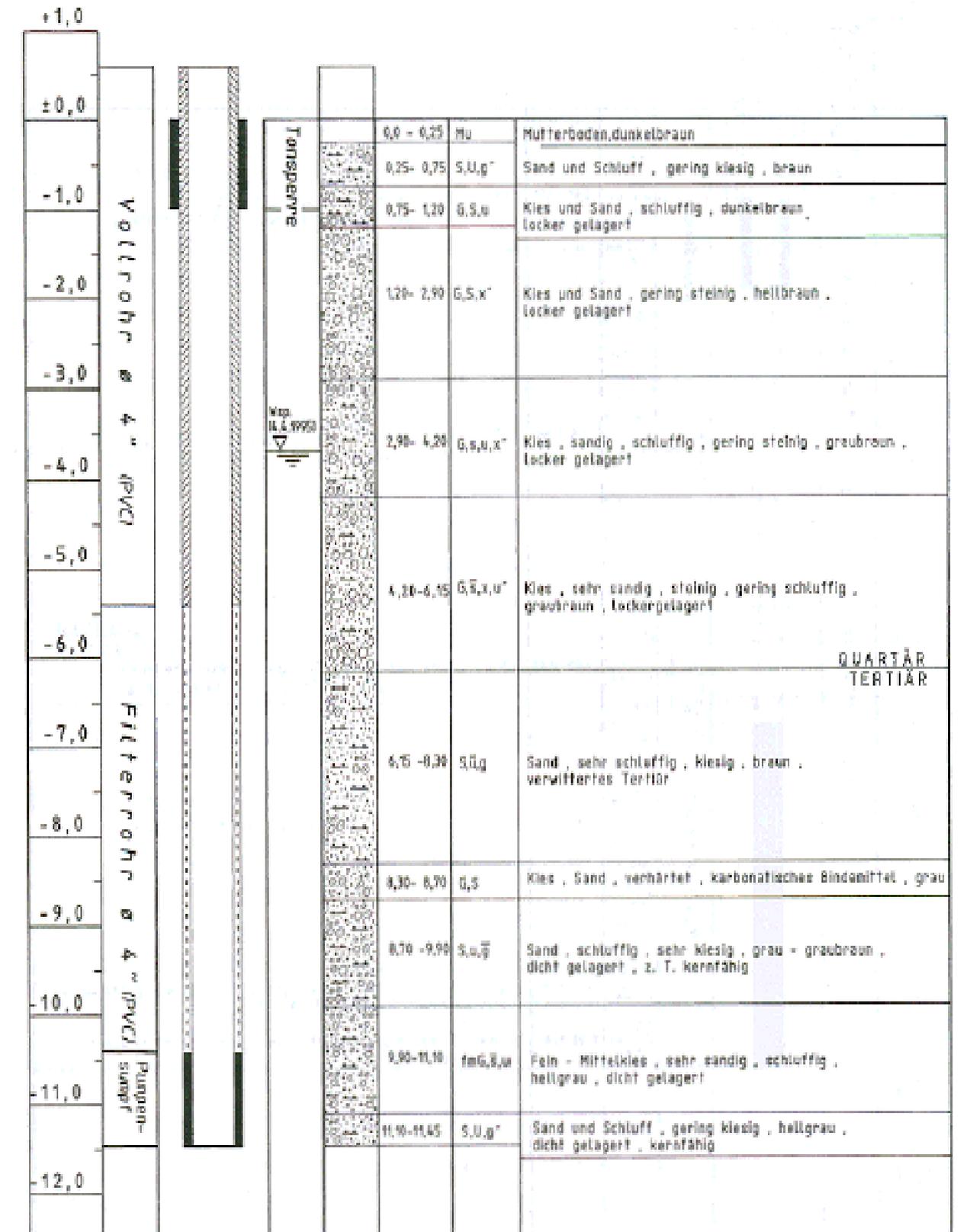
• **linke Seite** (Fruchtfolgeparzelle, Messstellenbezeichnungen FF):

Ahp 0-30 cm, lehmiger Sand mit mäßigem Kies- und Schottergehalt, mittelhumos (Mull), kalkarm, neutral, undeutlich mittelkrümelig bis mittelblockig strukturiert, mittelporös, leicht zerdrückbar, dunkelgraubraun (10 YR 3.5/2), schwach durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit, übergehend in AB 30-60 cm, stark lehmiger Sand mit geringem Kies- und Schottergehalt, schwach humos (Mull), kalkfrei, neutral, deutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, stark grobporös, leicht zerdrückbar, dunkelbraun (10 YR 3.5/3), gut durchwurzelt, starke Regenwurmtätigkeit, allmählich übergehend in B1 60-85 cm, stark lehmiger Sand, schwach humos (Humus in Wurmröhren und an Aggregatoberflächen), kalkfrei, neutral, undeutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, porös, leicht zerdrückbar, dunkelbraun (7.5 YR 4/4), gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit, allmählich übergehend in B2 85-110 cm, lehmiger Sand, kalkfrei, neutral, undeutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, schwach porös, leicht zerdrückbar, dunkelbraun (7.5 YR 4/4), schwach durchwurzelt und belebt, absetzend über D ab 110 cm, Grobsand mit sehr hohem Anteil an Kies und Schotter (bis 10 cm Ø). Wasserverhältnisse: gut versorgt, mäßiges Speichervermögen, hohe Durchlässigkeit.

• **rechte Seite** (Maismonokulturparzelle, Messstellenbezeichnung MM):

Ahp 0-30 cm, stark lehmiger Sand mit geringem Kies und Schottergehalt, mittelhumos (Mull), kalkfrei, schwach sauer, undeutlich mittelkrümelig und mittelblockig-kantenrund strukturiert (zwischen 20 und 30 cm mäßig verpresst, blockig-kantenscharf strukturiert), porös, leicht zerdrückbar, dunkelgraubraun (10 YR 3.5/2), schwach durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit, übergehend in AB 30-50 cm, sandiger Lehm mit geringem Kies- und Schottergehalt, schwach humos (Mull), kalkfrei, schwach sauer, deutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, stark mittelporös, leicht zerdrückbar, dunkelbraun (10 YR 4.5/3), schwach durchwurzelt, starke Regenwurmtätigkeit, übergehend in B 50-70 cm, lehmiger Sand mit geringem Kiesgehalt, kalkfrei, schwach sauer, undeutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, porös, dunkelbraun (7.5 YR 4/4), schwach durchwurzelt, geringe Regenwurmtätigkeit, absetzend über D ab 70 cm, Grobsand mit sehr hohem Anteil an Kies und Schotter. Wasserverhältnisse: mäßig trocken, geringes Speichervermögen, hohe Durchlässigkeit.

Abbildung 4: Bohrprofil und Ausbau der Bohrung Wagna II



14. Dokumentation der durchgeführten Untersuchungen und der Ergebnisse des Versuchs

14.1 Die hydro-meteorologischen Verhältnisse und der Verlauf des Grundwasserstandes während des ersten Versuchsjahres (Kalenderjahr 2002)

In den folgenden Abbildungen und Tabellen sind die hydrologischen Kenndaten im Bereich der Forschungsstation Wagna dargestellt (Niederschlagsverteilung, Grundwasserstandsentwicklung, Sickerwassermengen an den beiden Gefäßlysimetern).

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 (Abbildung 7, Seite 40).

Dementsprechend gestaltete sich auch die Grundwasserstandsganglinie. Sie ist von Jänner bis November durch nur geringe Schwankungen (~ 20 cm) charakterisiert. Das Neubildungsereignis im Dezember verursachte aber einen Spiegelanstieg von etwa 80 cm.

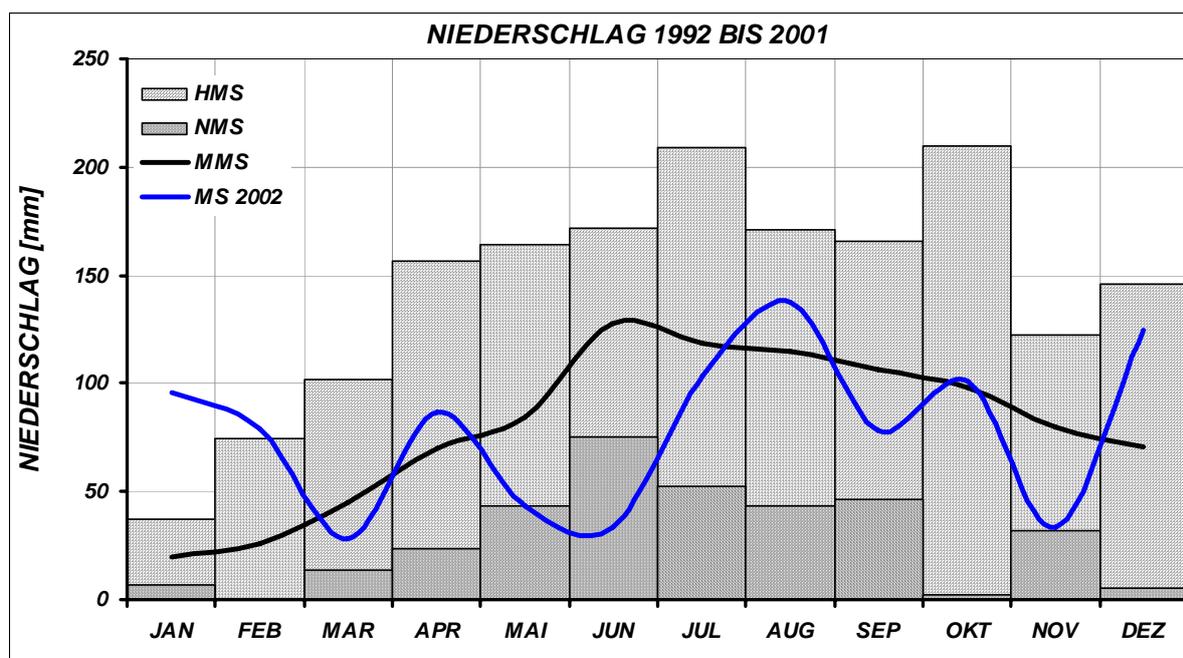
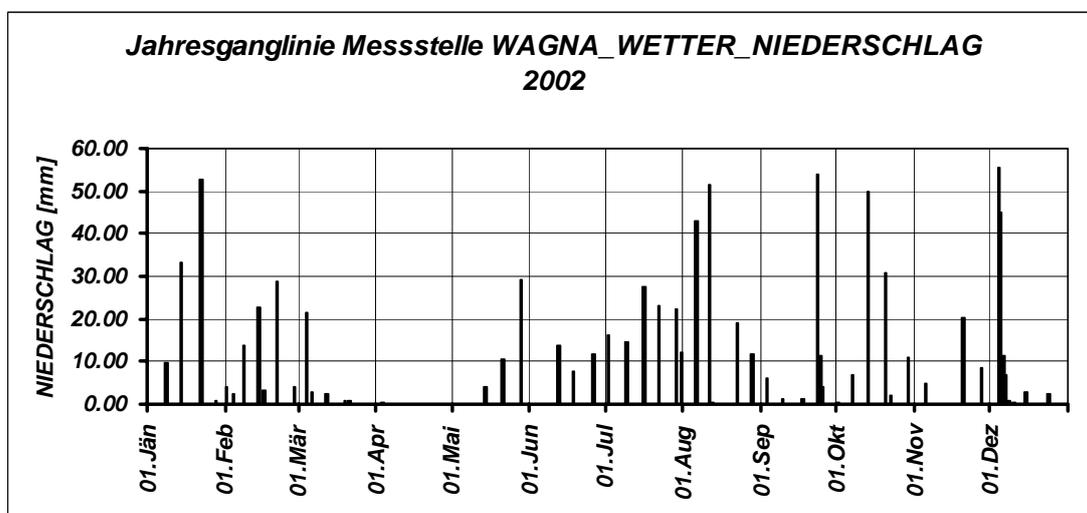


Abbildung 5: Monatssummen des Niederschlags des Jahres 2002 im Vergleich zu den niedersten (NMS), mittleren (MMS) und höchsten (HMS) Monatssummen der Reihe 1992 bis 2001.

Tabelle 3: Niederschlagsverteilung (mm) während des Jahres 2002 an der Forschungsstation Wagna

Station:	WAGNA_WETTER_NIEDERSCHLAG											Jahr:	2002
Tag	Jan	Feb	Mar	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
1	0.00	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.10	0.00	0.00	0.00	0.00	
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.20	0.00	0.00	0.00	0.00	
4	0.00	2.40	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.10	0.00	0.00	
5	0.00	0.00	21.30	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	55.70	
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	44.80	
7	0.00	0.00	3.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.90	0.00	0.00	0.00	11.40	
8	9.60	13.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.70	0.00	7.00	
9	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	
10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.40	0.00	1.20	0.00	0.00	0.00	
11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.40	0.00	0.00	0.00	0.00	
13	0.00	0.00	2.50	0.00	0.00	13.70	0.00	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	
14	33.10	22.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.80	0.00	0.00	
15	0.00	0.00	0.00	0.00	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
16	0.00	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.10	0.00	0.00	0.00	
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
20	0.00	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
21	0.00	28.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.90	20.30	0.00	
22	52.60	0.00	0.70	0.00	10.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.00	18.90	0.00	1.90	0.00	0.00	
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.10	0.00	0.00	0.00	
25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.50	0.00	0.00	2.30	
26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.90	0.00	0.00	0.00	
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
28	0.80	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.40	0.00	
29	0.00	----	0.00	0.00	29.10	0.00	0.00	11.70	0.00	0.00	0.00	0.00	
30	0.00	----	0.00	0.00	0.00	0.00	22.20	0.00	0.00	11.10	0.00	0.00	
31	0.00	----	0.00	----	0.00	----	0.00	----	0.00	----	0.00	0.00	
MS	96.10	78.80	28.30	0.40	43.60	33.40	103.50	137.30	77.90	100.90	33.60	125.00	
am	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
NTS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HTS	52.60	28.70	21.30	0.40	29.10	13.70	27.70	51.40	54.10	49.80	20.30	55.70	
am	22	21	5	4	29	13	17	12	24	14	21	5	
am	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
NW	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
HW	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
am	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
Jahreskennzahlen			NW	JS	HW	NTS	HTS	----	Bemerkungen:				
Werte			----	858.80	----	0.00	55.70	----					
am			----	----	----	----	05.12.	----					



NW= niederster Wert
HW = höchster Wert

JS= Jahressumme
NTS= Niederste Tagessumme

HTS= Höchste Tagessumme

Tabelle 4: Sickerwassermenge des Jahres 2002 am Gefäßlysimeter Maismonokultur

Station:	WAGNA_SIWA_LSGVR											Jahr:	2002
Tag	Jan	Feb	Mar	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
1	----	0.23	0.90	0.59	1.43	0.16	0.08	0.00	0.00	0.00	0.87	0.18	
2	----	0.22	0.81	0.56	1.30	0.15	0.08	0.00	0.00	0.00	0.77	0.20	
3	----	0.21	0.74	0.54	1.13	0.17	0.07	0.00	0.00	0.00	0.70	0.22	
4	----	0.19	0.75	0.51	1.00	0.18	0.06	0.00	0.00	0.00	0.63	0.83	
5	----	0.17	0.86	0.48	0.96	0.18	0.05	0.00	0.00	0.00	0.56	26.20	
6	----	0.18	0.95	0.44	0.96	0.18	0.06	0.00	0.00	0.00	0.53	32.57	
7	----	0.15	0.96	0.41	0.96	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.50	14.84	
8	----	0.15	0.96	0.38	0.93	0.19	0.04	0.00	0.00	0.00	0.45	10.06	
9	----	0.15	0.96	0.36	0.82	0.18	0.04	0.00	0.00	0.00	0.42	5.63	
10	----	0.15	0.96	0.33	0.75	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.38	3.24	
11	----	0.15	0.96	0.31	0.68	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.35	2.36	
12	----	0.18	0.89	0.28	0.63	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.33	1.65	
13	----	0.26	0.82	0.27	0.58	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.32	1.24	
14	----	0.35	0.74	0.23	0.53	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.30	1.00	
15	----	0.47	0.69	0.22	0.51	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.28	0.96	
16	----	0.55	0.63	0.21	0.47	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.27	0.96	
17	----	0.58	0.58	0.26	0.45	0.18	0.01	0.00	0.00	0.63	0.28	0.95	
18	----	0.59	0.55	0.98	0.43	0.17	0.01	0.00	0.00	3.19	0.27	0.88	
19	----	2.02	3.81	1.73	0.40	0.17	0.00	0.00	0.00	9.45	0.27	0.79	
20	----	3.42	3.53	4.22	0.38	0.17	0.01	0.00	0.00	4.39	0.26	0.72	
21	----	2.70	2.64	5.90	0.35	0.16	0.00	0.00	0.00	2.82	0.24	0.67	
22	----	2.02	1.92	5.72	0.32	0.17	0.01	0.00	0.00	2.06	0.23	0.62	
23	----	1.51	1.48	3.64	0.31	0.15	0.00	0.00	0.00	1.48	0.20	0.58	
24	----	1.18	1.12	2.77	0.28	0.15	0.00	0.00	0.00	1.09	0.20	0.51	
25	----	0.98	0.96	2.19	0.28	0.15	0.00	0.00	0.00	0.96	0.19	0.48	
26	----	0.96	0.96	1.72	0.26	0.15	0.00	0.00	0.00	0.96	0.18	0.46	
27	----	0.96	0.93	1.33	0.24	0.18	0.00	0.00	0.00	0.96	0.17	0.45	
28	0.18	1.34	1.20	1.07	0.22	0.12	0.00	0.00	0.00	0.96	0.27	0.43	
29	0.32	----	0.74	1.06	0.30	0.10	0.00	0.00	0.00	0.96	0.16	0.41	
30	0.27	----	0.68	2.00	0.15	0.10	0.00	0.00	0.00	1.44	0.17	0.39	
31	0.25	----	0.64	----	0.15	----	0.00	0.00	----	0.96	----	0.46	
MS	1.02	22.02	35.32	40.71	18.16	4.96	0.71	0.00	0.00	32.31	10.75	110.94	
am	28	7	18	16	30	29	19	1	1	1	29	1	
NTS	0.18	0.15	0.55	0.21	0.15	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.18	
HTS	0.32	3.42	3.81	5.90	1.43	0.19	0.08	0.00	0.00	9.45	0.87	32.57	
am	29	20	19	21	1	7	1	1	1	19	1	6	
am	28	1	1	6	16	1	1	1	1	1	8	1	
NW	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
HW	0.01	0.09	0.11	0.16	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.32	0.02	1.06	
am	28	20	19	21	1	1	1	1	1	18	1	5	
Jahreskennzahlen			NW	JS	HW	NTS	HTS	----	Bemerkungen:				
Werte			0.00	276.90	1.06	0.00	32.57	----					
am			28.01.	----	05.12.	19.07.	06.12.	----					

Jahresganglinie Messstelle WAGNA_SIWA_LSGVR 2002

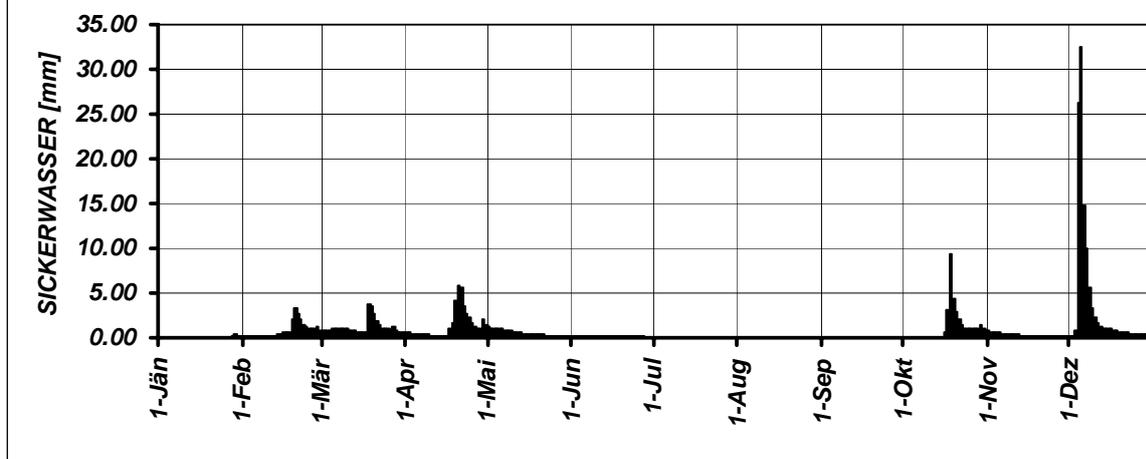


Tabelle 5: Sickerwassermenge des Jahres 2002 am Gefäßlysimeter Fruchtfolge

Station:	WAGNA_SIWA_LSGVL												Jahr:	2002
Tag	Jan	Feb	Mar	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez		
1	----	0.24	0.75	0.46	1.54	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	0.94	0.40		
2	----	0.23	0.68	0.44	1.35	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00	0.83	0.45		
3	----	0.22	0.62	0.43	1.15	0.17	0.04	0.00	0.00	0.00	0.73	0.49		
4	----	0.20	0.60	0.41	0.99	0.16	0.04	0.00	0.00	0.00	0.67	7.99		
5	----	0.19	0.65	0.40	0.96	0.17	0.03	0.00	0.00	0.00	0.60	31.64		
6	----	0.19	0.75	0.37	0.96	0.19	0.03	0.00	0.00	0.00	0.54	36.98		
7	----	0.17	0.86	0.34	0.95	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.50	16.78		
8	----	0.17	0.91	0.32	0.85	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.45	11.23		
9	----	0.17	0.93	0.29	0.76	0.18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.40	5.85		
10	----	0.17	0.86	0.28	0.69	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.37	3.31		
11	----	0.18	0.79	0.27	0.63	0.17	0.02	0.00	0.00	0.00	0.34	2.33		
12	----	0.21	0.72	0.24	0.58	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	1.65		
13	----	0.25	0.64	0.23	0.54	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.32	1.20		
14	----	0.32	0.59	0.21	0.53	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.30	0.97		
15	----	0.40	0.53	0.21	0.48	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.29	0.96		
16	----	0.47	0.49	0.19	0.45	0.16	0.01	0.00	0.00	0.00	0.29	0.96		
17	----	0.52	0.46	0.20	0.42	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.93		
18	----	0.55	0.72	0.60	0.41	0.16	0.01	0.00	0.00	4.84	0.25	0.85		
19	----	1.82	3.31	1.82	0.39	0.16	0.00	0.00	0.00	10.75	0.25	0.76		
20	----	3.89	2.06	5.05	0.36	0.14	0.00	0.00	0.00	4.36	0.25	0.70		
21	----	2.79	1.59	6.55	0.34	0.15	0.00	0.00	0.00	2.70	0.25	0.55		
22	----	2.06	1.19	6.21	0.31	0.14	0.00	0.00	0.00	1.90	0.24	0.56		
23	----	1.52	0.97	3.83	0.29	0.14	0.00	0.00	0.00	1.36	0.23	0.53		
24	----	1.14	0.96	2.76	0.27	0.13	0.00	0.00	0.00	1.02	0.23	0.50		
25	----	0.96	0.95	2.10	0.26	0.13	0.00	0.00	0.00	0.96	0.22	0.48		
26	----	0.96	0.83	1.56	0.25	0.12	0.00	0.00	0.00	0.99	0.22	0.46		
27	----	0.95	0.71	1.18	0.23	0.14	0.00	0.00	0.00	1.23	0.23	0.43		
28	0.07	1.19	0.90	0.98	0.21	0.08	1.00	0.00	0.00	1.18	0.39	0.41		
29	0.18	----	0.58	1.02	0.30	0.08	0.00	0.00	0.00	1.01	0.27	0.40		
30	0.19	----	0.52	2.16	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00	1.44	0.33	0.38		
31	0.22	----	0.49	----	0.19	----	0.00	0.00	----	0.96	----	0.43		
MS	0.66	22.13	27.61	41.11	17.83	4.51	0.40	0.00	0.00	34.70	11.53	131.56		
am	28	7	17	16	30	30	17	1	1	1	25	30		
NTS	0.07	0.17	0.46	0.19	0.19	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.38		
HTS	0.22	3.89	3.31	6.55	1.54	0.19	0.05	0.00	0.00	10.75	0.94	36.98		
am	31	20	19	21	1	6	1	1	1	19	1	6		
am	28	1	17	1	16	1	1	1	1	1	7	1		
NW	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
HW	0.01	0.10	0.10	0.18	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.47	0.02	1.18		
am	28	19	19	21	1	1	1	1	1	18	1	5		
Jahreskennzahlen			NW	JS	HW	NTS	HTS	----	Bemerkungen:					
Werte			0.00	292.04	1.18	0.00	36.98	----						
am			28.01.	----	05.12.	17.07.	06.12.	----						

Jahresganglinie Messstelle WAGNA_SIWA_LSGVL 2002

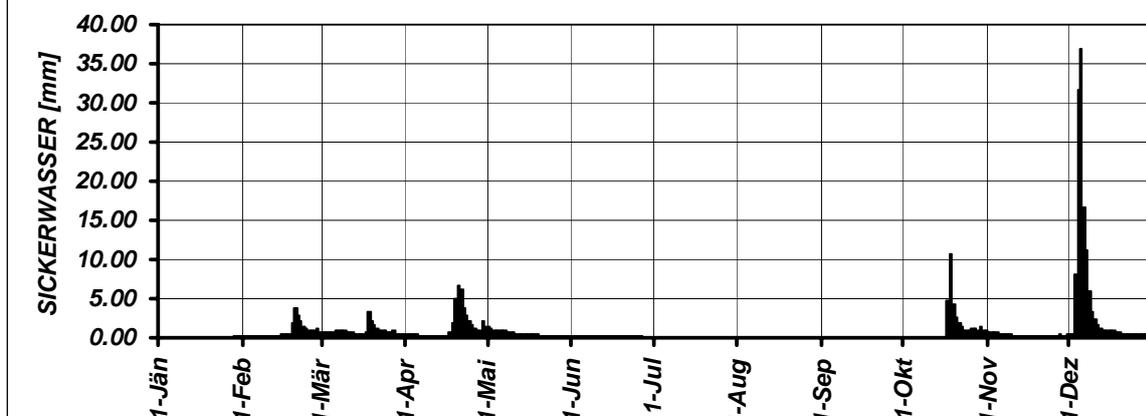
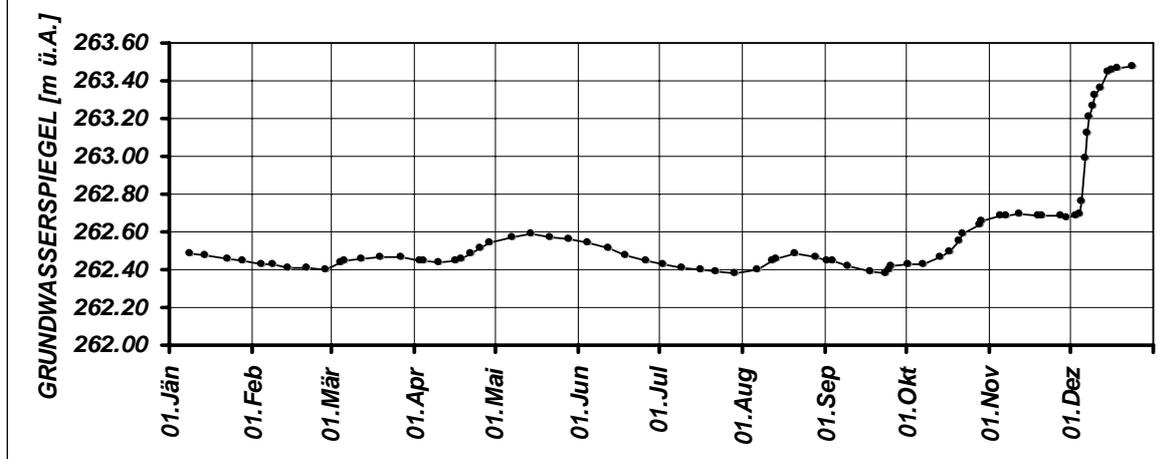


Tabelle 6: Grundwasserstandsverhältnisse an der Forschungsstation Wagna im Jahr 2002

Station:	WAGNA_GW_GWST_B1											Jahr:	2002
Tag	Jan	Feb	Mar	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
1	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
2	----	----	----	----	----	----	----	----	262.45	262.43	----	----	
3	----	----	----	----	----	----	262.43	----	----	----	----	----	
4	----	262.43	----	262.45	----	----	----	----	262.45	----	----	262.69	
5	----	----	262.44	262.45	----	262.54	----	----	----	----	----	262.70	
6	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	262.69	262.76	
7	----	----	262.45	----	----	----	----	262.40	----	----	----	262.99	
8	262.49	262.43	----	----	262.57	----	----	----	----	262.43	262.69	263.12	
9	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	263.21	
10	----	----	----	----	----	----	262.41	----	262.42	----	----	263.27	
11	----	----	----	262.44	----	----	----	----	----	----	----	263.32	
12	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
13	----	----	262.46	----	----	262.51	----	262.45	----	----	262.70	263.36	
14	262.48	262.41	----	----	----	----	----	262.46	----	262.47	----	----	
15	----	----	----	----	262.59	----	----	----	----	----	----	----	
16	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	263.45	
17	----	----	----	262.45	----	----	262.40	----	----	----	----	263.46	
18	----	----	----	----	----	----	----	----	262.39	262.50	----	----	
19	----	----	----	262.46	----	262.48	----	----	----	----	----	263.47	
20	----	----	262.47	----	----	----	----	----	----	----	262.69	----	
21	----	262.41	----	----	----	----	----	262.49	----	262.55	262.69	----	
22	262.46	----	----	----	262.57	----	----	----	----	----	----	----	
23	----	----	----	262.49	----	----	262.39	----	----	262.59	----	----	
24	----	----	----	----	----	----	----	----	262.38	----	----	----	
25	----	----	----	----	----	----	----	----	262.40	----	----	263.48	
26	----	----	----	262.51	----	----	----	----	262.42	----	----	----	
27	----	----	----	----	----	262.45	----	----	----	----	----	----	
28	262.45	262.40	262.47	----	----	----	----	----	----	----	262.69	----	
29	----	----	----	----	262.56	----	----	262.47	----	262.64	----	----	
30	----	----	----	262.54	----	----	262.38	----	----	262.66	262.68	----	
31	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	
MW	262.47	262.42	262.46	262.47	262.57	262.50	262.40	262.45	262.42	262.53	262.69	263.18	
am	28	28	5	11	29	27	30	7	24	2	30	4	
NWT	262.45	262.40	262.44	262.44	262.56	262.45	262.38	262.40	262.38	262.43	262.68	262.69	
HWT	262.49	262.43	262.47	262.54	262.59	262.54	262.43	262.49	262.45	262.66	262.70	263.48	
am	8	4	20	30	15	5	3	21	2	30	13	25	
am	28	28	5	11	29	27	30	7	24	2	30	4	
NW	262.45	262.40	262.44	262.44	262.56	262.45	262.38	262.40	262.38	262.43	262.68	262.69	
HW	262.49	262.43	262.47	262.54	262.59	262.54	262.43	262.49	262.45	262.66	262.70	263.48	
am	8	4	20	30	15	5	3	21	2	30	13	25	
Jahreskenzzahlen			NW	MW	HW	NWT	HWT	MoMnNWT	Bemerkungen:				
Werte			262.38	262.61	263.48	262.38	263.48	262.48					
am			30.07.	-----	25.12.	30.07.	25.12.	-----					

Jahresganglinie Messstelle WAGNA_GW_GWST_B1 2002



14.2. Hydrologische Charakterisierung des Jahres 2003

Das Jahr 2003 war sowohl seitens der Landwirtschaft als auch seitens der Grundwasserwirtschaft ein sehr problematisches Jahr: Geringe Niederschläge in Kombination mit sehr heißen Wetterperioden führten zu teilweise extremen Trockenschäden in der Landwirtschaft, niedrige Grundwasserstände als Folge fehlender flächenhafter Grundwasserneubildung und niedriger Wasserführung in Einfluss nehmenden Oberflächengewässern in Kombination mit hohem Wasserverbrauch führten zu Schwierigkeiten in der Wasserversorgung.

An der Forschungsstation Wagna kann die hydrologische Entwicklung im Jahr 2003 folgendermaßen charakterisiert werden: Die Niederschläge des Jahres 2003 lagen mit 650 mm bei nur etwa 68 % des mittleren Jahresniederschlags aus der Reihe 1992 bis 2001, die Defizite waren besonders 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 (vgl. Abbildung 6). Die mittlere Jahrestemperatur lag mit 10.4° C aber durchaus im Bereich des Jahrestemperaturmittels der Messdaten 1992 bis 2001 an der Forschungsstation Wagna (10.8° C).

Die mittlere Jahresgrundwasserneubildung am Versuchsfeld Wagna – abgeleitet aus der zeitlichen Variabilität der Grundwasserstandsganglinie – liegt im Mittel der Zeitreihe 1992 bis 2001 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, dass im Jahr 2003 in allen Monaten die Summen der Grundwasserneubildung die niedersten der bisherigen gesamten Messperiode am Standort Wagna waren. Relevante Grundwasserneubildungsmengen – allerdings auch mit Monatssummen < 20 mm – traten nur in den Monaten März, September, Oktober und November auf. Im Vergleich zur Reihe 1992 – 2001 wurden im Jahr 2003 in keinem Monat 50 % der mittleren monatlichen Neubildungssumme erreicht. Die Ergebnisse der Auswertung sind in Abbildung 7 zusammengefasst:

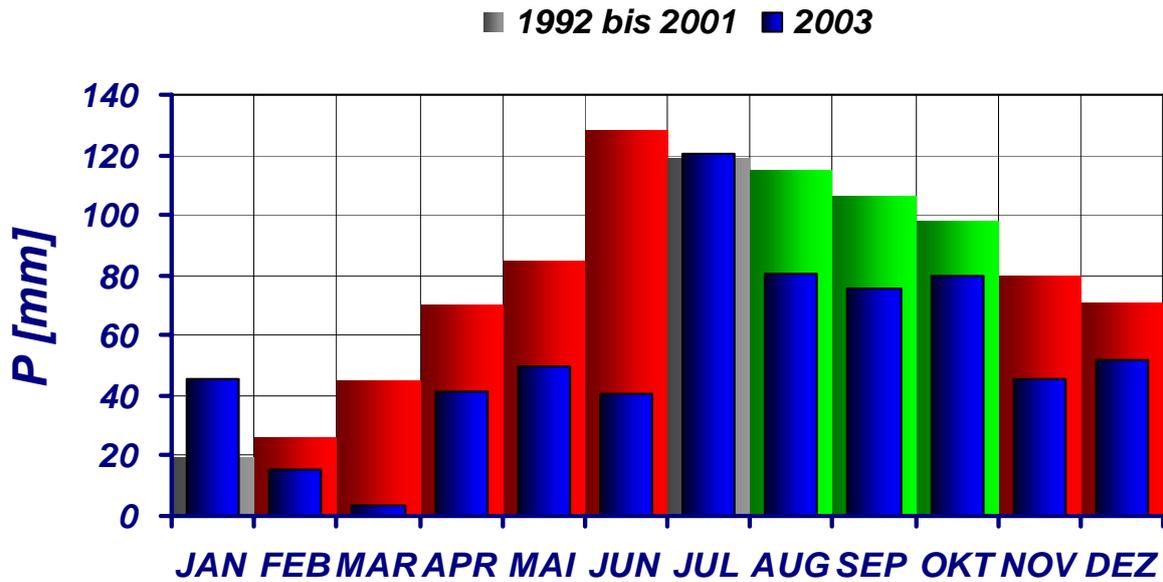


Abbildung 6: Niederschlagsverteilung des Jahres 2003 im Vergleich zur Reihe 1992 bis 2001

Pegel Parameter	WAGNA_GW_GGL NEUBILDUNG [mm]												J_SUMME
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	
1992	1.53	17.07	16.22	18.05	27.72	66.84	1.52	0.00	2.91	31.34	116.25	92.58	392.03
1993	5.08	2.47	3.39	9.52	9.69	3.31	4.60	9.02	5.99	67.64	70.07	115.84	306.64
1994	63.20	6.38	22.32	99.76	5.52	62.00	10.26	10.69	14.64	30.45	100.08	2.42	427.72
1995	71.84	53.65	72.87	4.57	11.27	30.86	7.89	44.37	117.07	0.56	0.60	22.07	437.62
1996	73.82	14.95	106.87	82.39	50.61	11.17	68.93	9.83	71.99	64.22	6.30	16.63	577.70
1997	10.94	25.82	14.71	5.44	1.24	18.32	14.55	15.13	15.78	4.05	11.68	103.75	241.41
1998	32.92	2.48	4.07	4.92	4.34	12.70	123.65	31.73	88.11	68.68	44.96	13.90	432.47
1999	8.66	13.72	53.21	20.65	89.80	63.75	75.18	36.37	7.80	3.58	30.56	72.41	475.69
2000	0.47	17.44	8.21	11.62	9.33	7.90	5.19	9.53	7.13	88.66	43.61	33.52	242.61
2001	45.16	4.00	6.13	45.53	13.55	7.88	16.43	1.11	32.82	20.47	6.79	1.60	201.46
REIHE	31.36	15.80	30.80	30.25	22.31	28.47	32.82	16.78	36.42	37.96	43.09	47.47	373.54
2002	3.19	5.17	22.47	24.84	17.40	0.22	3.97	24.82	11.20	50.14	19.79	148.01	331.23
2003	5.57	3.27	17.57	1.43	0.00	0.38	0.41	4.40	15.76	16.96	19.56	13.21	98.53

Abbildung 7: Monats- und Jahressummen der Grundwasserneubildung am Versuchsfeld Wagna, abgeleitet aus dem zeitlichen Verlauf der Grundwasserstandsganglinie. Jahresreihe 1992 bis 2001 und Vergleich mit den Jahren 2002 und 2003.

Aus dieser geringen flächenhaften Grundwasserneubildung in Kombination mit unterdurchschnittlichen Wasserführungen in den relevanten Oberflächengewässern (Mur, Sulm) resultiert die Jahresgrundwasserstandsganglinie für 2003, die in Abbildung 8 im Vergleich zur mittleren Jahresgrundwasserstandsganglinie aus dem Zeitraum 1992 bis 2004 und den darin auftretenden minimalen und maximalen Grundwasserständen dargestellt ist: Das gesamte Jahr über wurden sehr niedere Grundwasserstände registriert, in den Herbst- und Wintermonaten wurden die niedersten überhaupt gemessenen Werte aufgezeichnet.

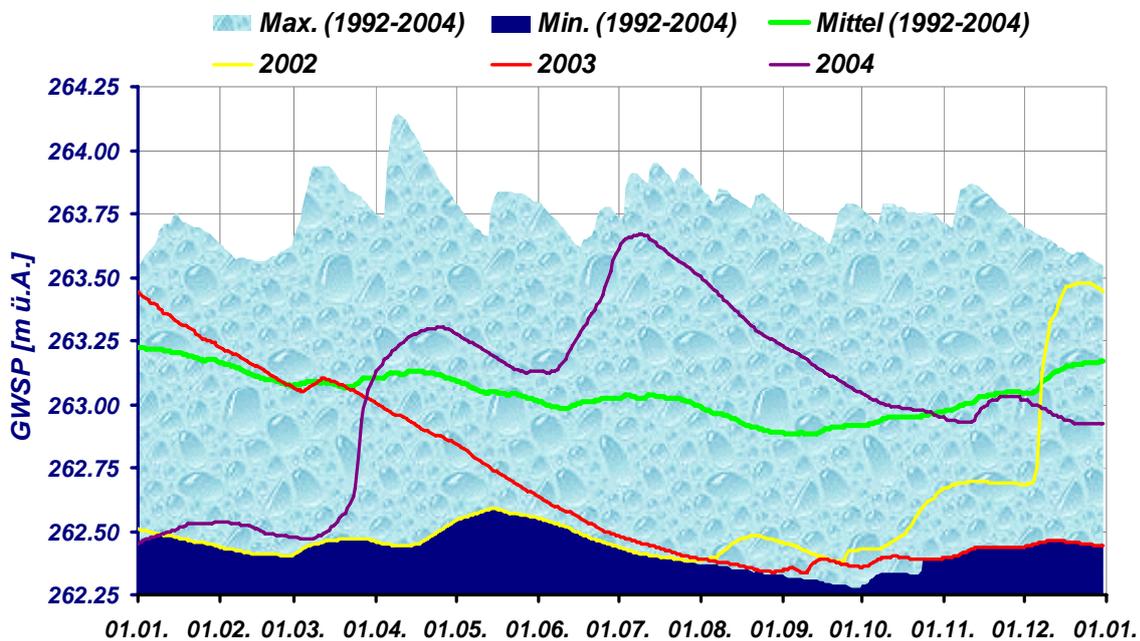


Abbildung 8: Grundwasserstandsganglinie 2003 im Vergleich zur mittleren Jahresgrundwasserstandsganglinie des Zeitraumes 1992 – 2004 und den in diesem Zeitraum auftretenden Minima und Maxima.

Interessant ist auch die Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Versuchsfeldes Wagna. Diese ist in Abbildung 9 als Vergleich der monatlichen Mittelwerte des Jahres 2003 mit der zeitlichen Entwicklung über den gesamten bisherigen Beobachtungszeitraum (Monatswerte seit 1992) dargestellt: Während in den Jahren 1992 bis 1999 ein kontinuierlicher, nur von geringfügigen jahreszeitlich bedingten kurzfristigen Zwischenanstiegen unterbrochener, Rückgang der Nitratwerte von etwa 65 mg/l auf etwa 35 mg/l erkennbar ist, zeigt sich mit Beginn des Jahres 2000 ein Einpendeln des Nitratwertes zwischen 30 und 40 mg. Mit Beginn des Jahres 2002 ist jedoch wieder ein stetiger Anstieg der Nitratwerte

beobachtbar, ein Trend, der Anfang 2003 sich deutlich versteilt und bis zum Ende der bisherigen Beobachtungsperiode anhält. Ende 2003 werden im Grundwasser des Versuchsfeldes Wagna wieder Nitratkonzentrationen über 45 mg/l gemessen.

Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist auch diese Entwicklung an das Witterungsgeschehen der letzten Jahre geknüpft: Während der Jahre mit geringer Grundwasserneubildung (2001, 2002, 2003) aufgrund unterdurchschnittlicher Niederschläge, gleichzeitig geringeren Pflanzenentzugs wegen unterdurchschnittlicher Erträge kommt es in der ungesättigten Deckschicht zu einer Akkumulation von Stickstoff, der bei folgenden Neubildungsereignissen verstärkt in das Grundwasser ausgetragen wird. Der Austrag erfolgt dabei entweder über die Verlagerung in der ungesättigten Zone in Richtung Grundwasser oder aufgrund des Anstiegs des Grundwasserspiegels und der Einbeziehung des tieferen Teils der ungesättigten Zone in den Grundwasserbereich. Ein erstes dieser Neubildungsereignisse war im Dezember 2002 bzw. Jänner 2003 zu beobachten. Ab diesem Zeitpunkt beginnt die Nitratkonzentration im Grundwasser zu steigen.

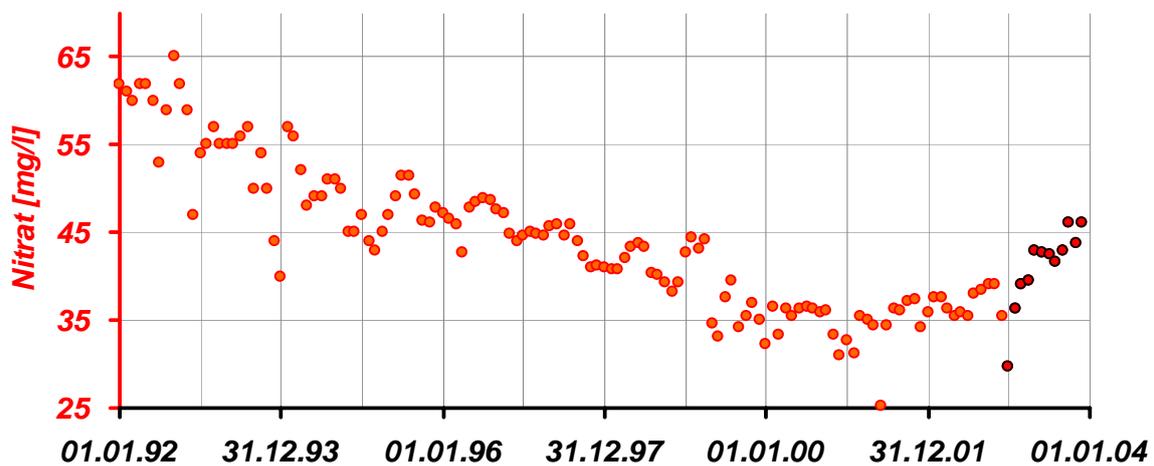


Abbildung 9: Entwicklung der Nitratkonzentration im Grundwasser des Jahres 2003 im Vergleich zum Beobachtungszeitraum 1992 – 2003

14.3. Ergebnisse des Versuchs

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

Diese Zahlen spiegeln gegenüber den ursprünglichen Annahmen einen weit höheren Analysenaufwand sowohl im Bereich Deuterium als auch im Bereich des Wirkstoffes Glyphosate wider: Ausgangslage war, dass die Wirkstoffe maximal einige Monate im Sickerwasser auftreten könnten. Das Schwergewicht der Untersuchungen wurde deshalb für die Zeit März bis September des Jahres 2002 angenommen, für die tieferen Bereiche wurde ausschließlich eine Verlagerung über präferentielle Flüsse in Erwägung gezogen.

Innerhalb von ca. drei Wochen nach Versuchsbeginn 2002 wurden 24 Boden-Mischproben aus Tiefen von 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm gezogen, sechs davon vor der Aufbringung von Glyphosate (Blindproben).

14.3.1. Ergebnisse der Sickerwasserversuche

In den Abbildungen 10 bis 34 werden die Ergebnisse der einzelnen Messstellen grafisch dargestellt.

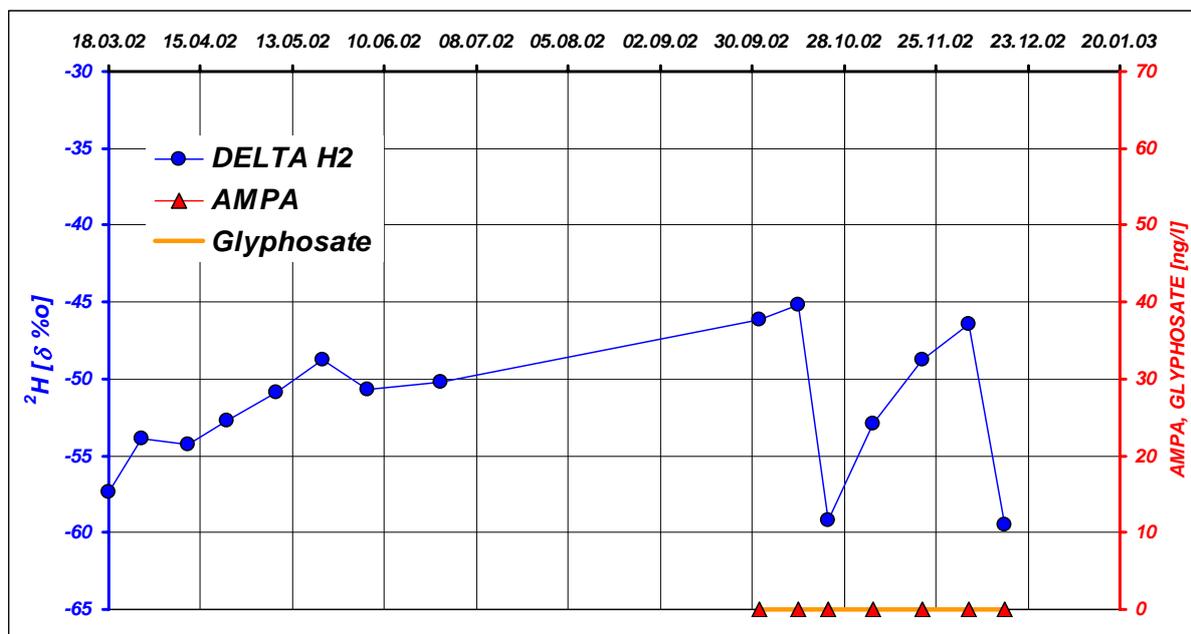


Abbildung 10: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle A1 (Saugkerze, MM,-0,80m)

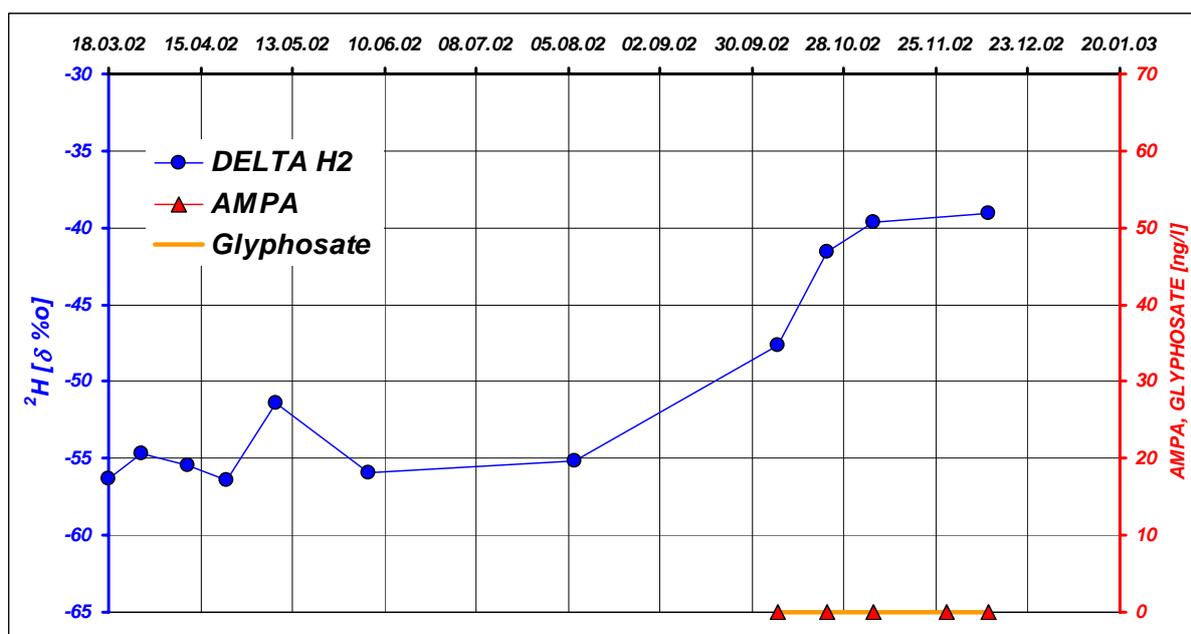


Abbildung 11: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle A4 (Saugkerze, MM,-0,80m)

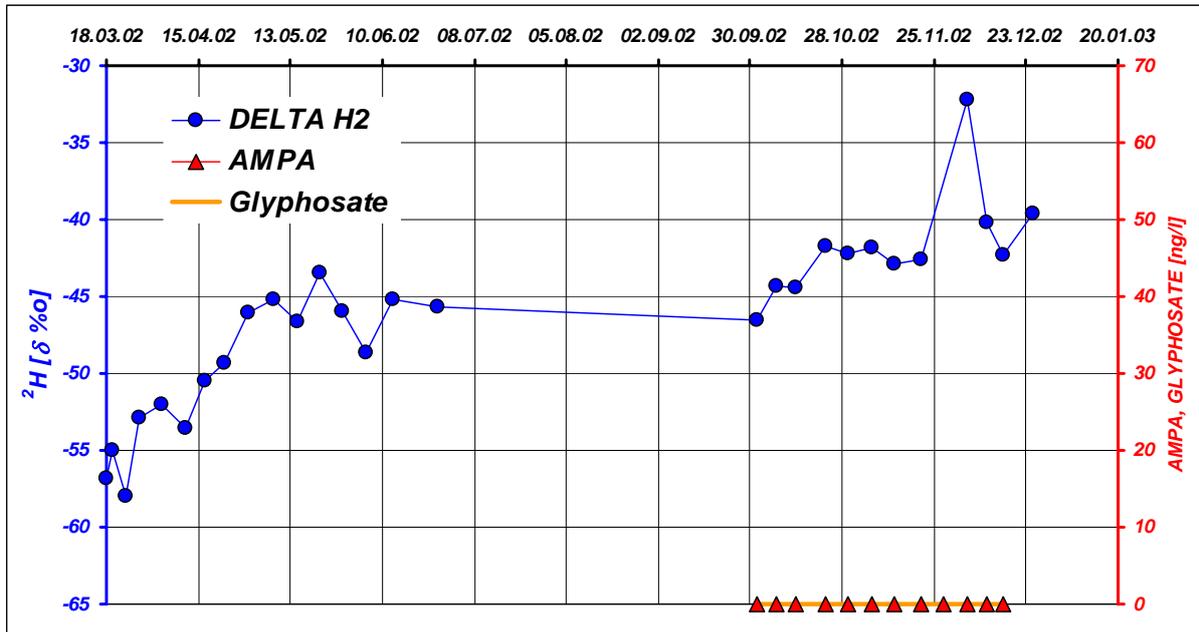


Abbildung 12: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle A5 (Sickerwassersammler, FF,-1,05m)

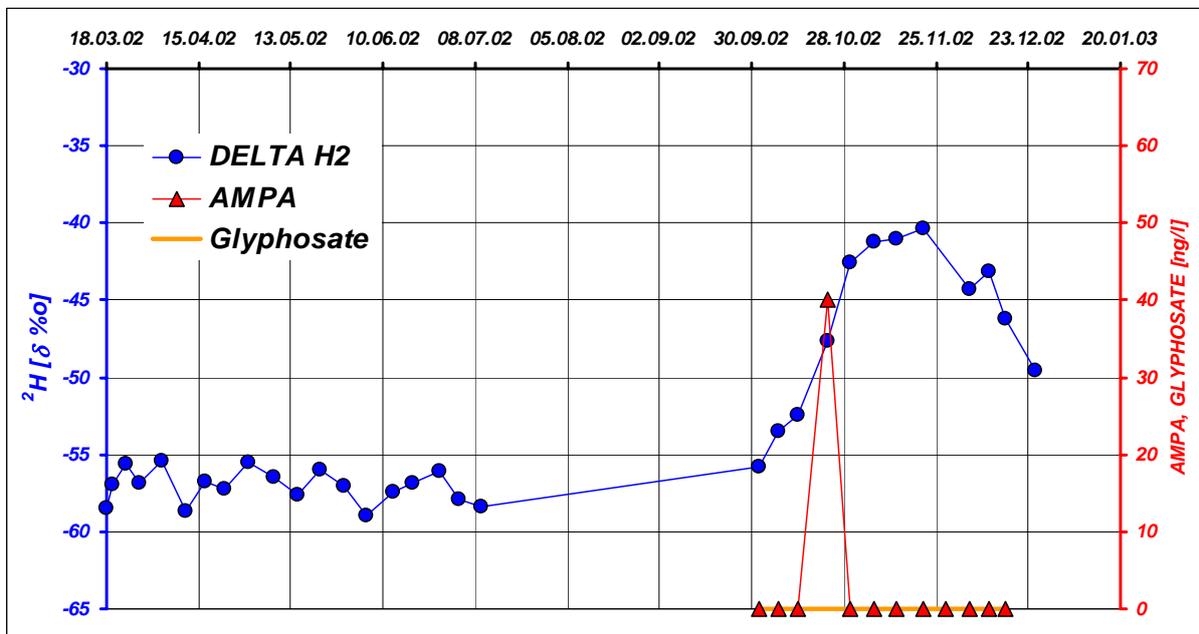


Abbildung 13: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle A6 (Saugkerze, FF,-1,05m)

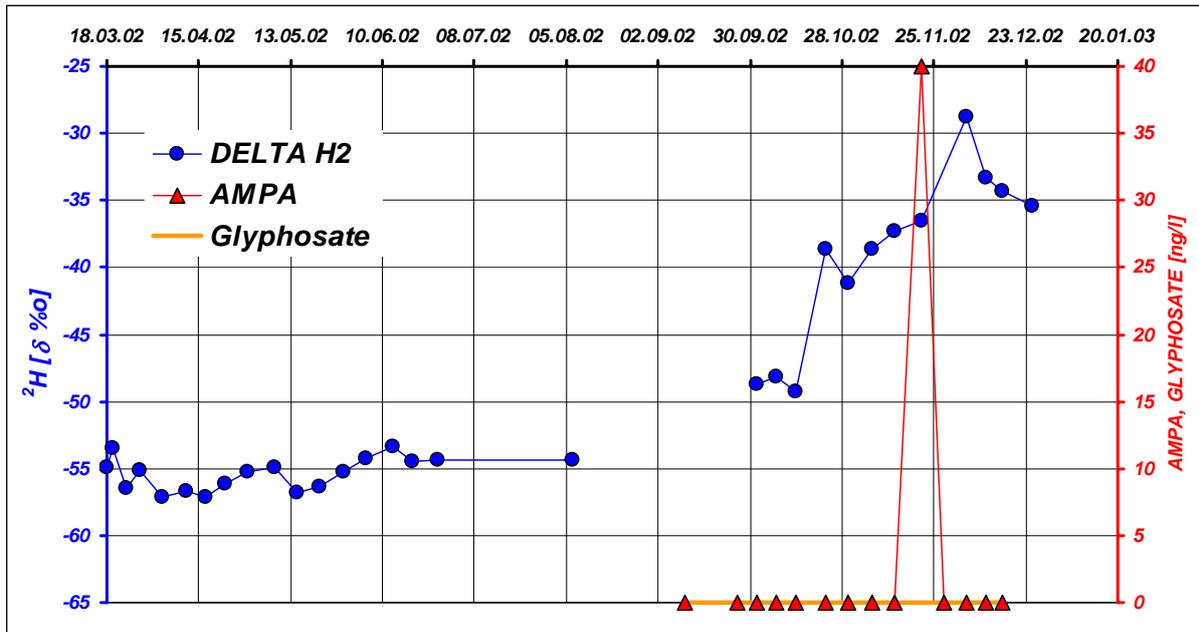


Abbildung 14: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle A7 (Saugkerze, MM, -0,80m)

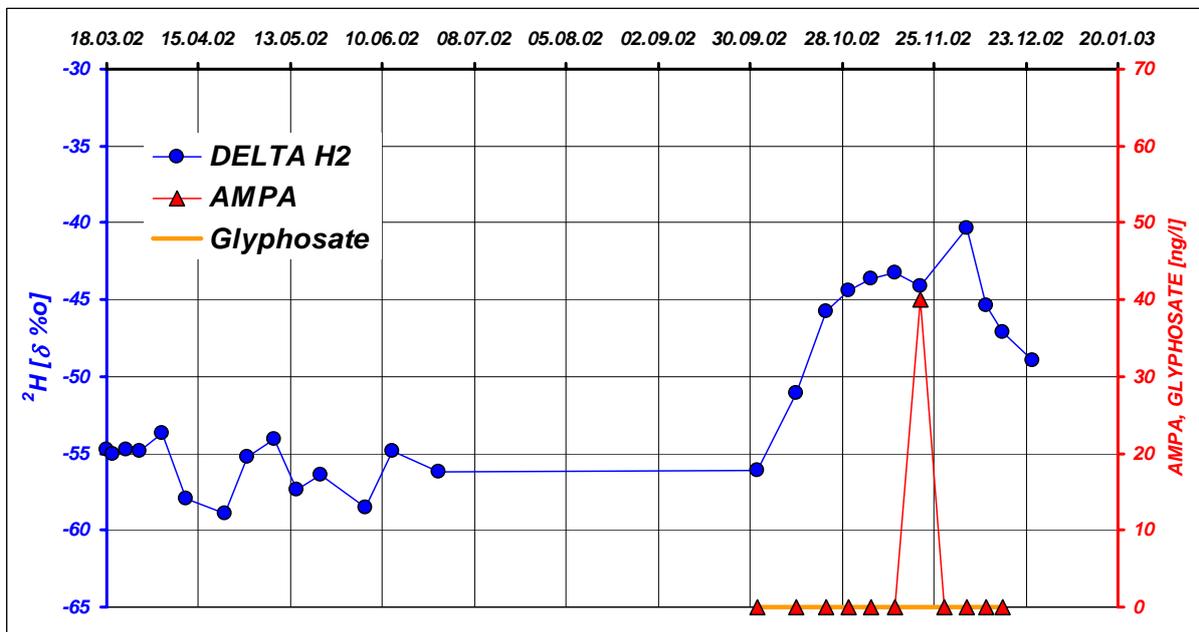


Abbildung 15: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle A8 (Saugkerze, FF, -1,05m)

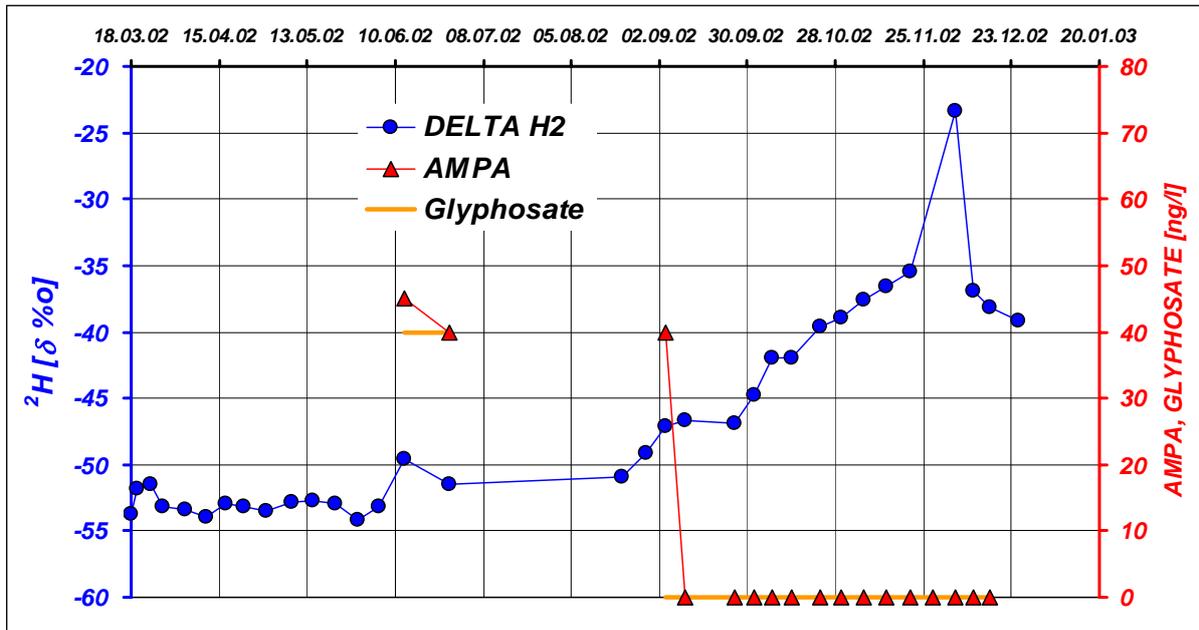


Abbildung 16: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle B1 (Sickerwassersammler, MM,-0,80m)

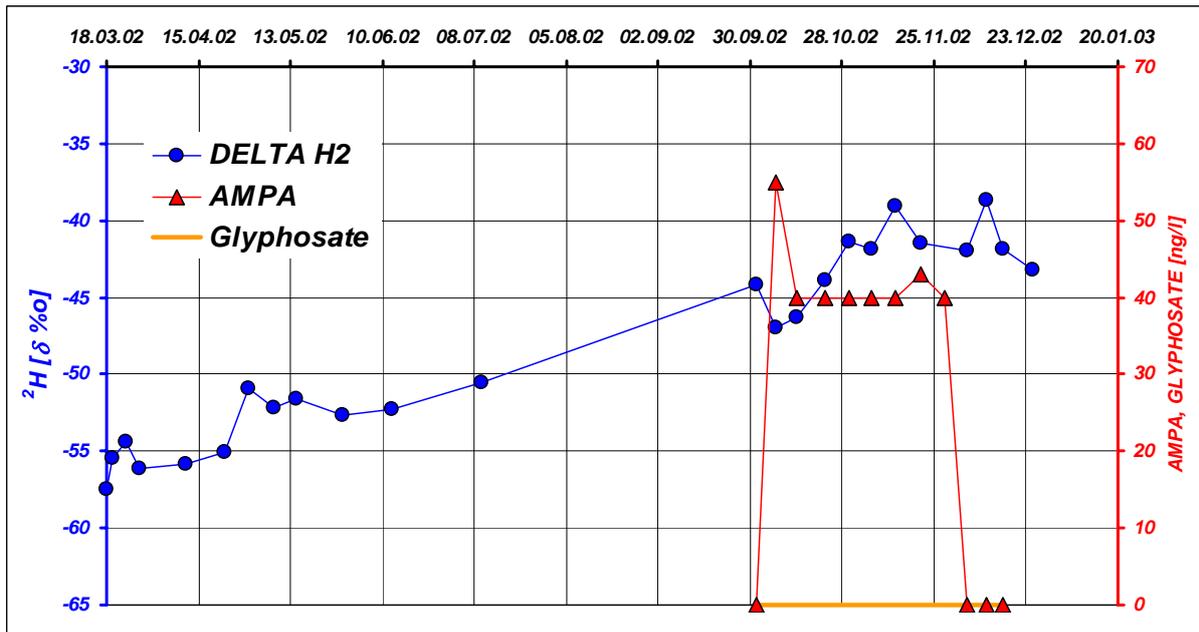


Abbildung 17: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle B4 (Sickerwassersammler, MM,-0,80m)

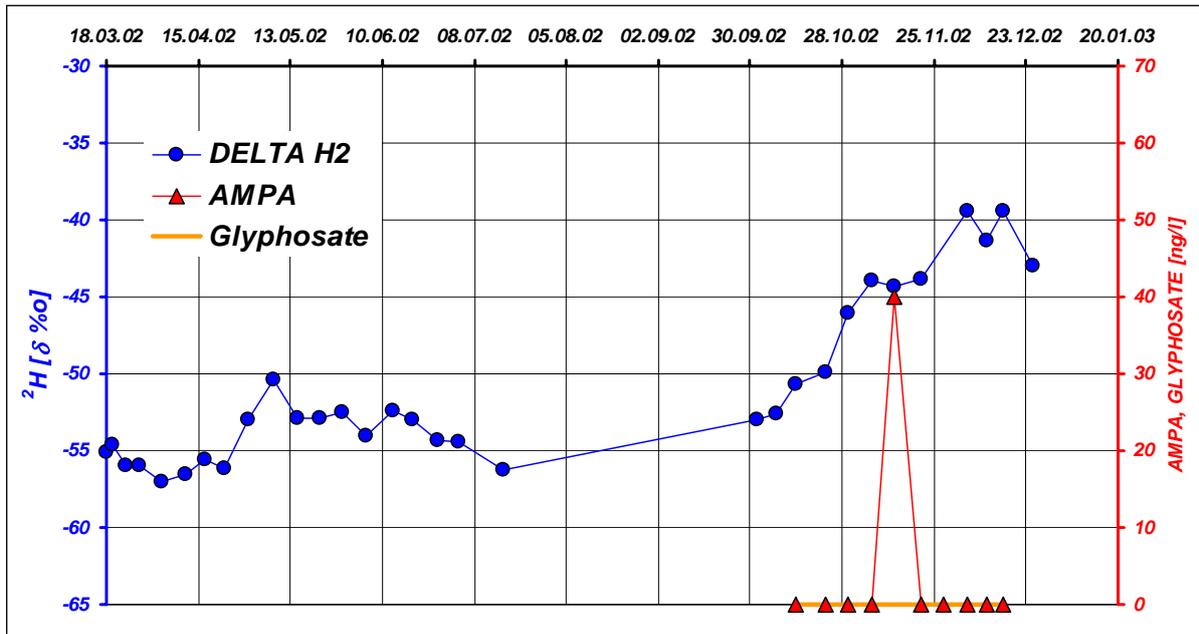


Abbildung 18: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle B6 (Saugkerze, FF,-1,05m)

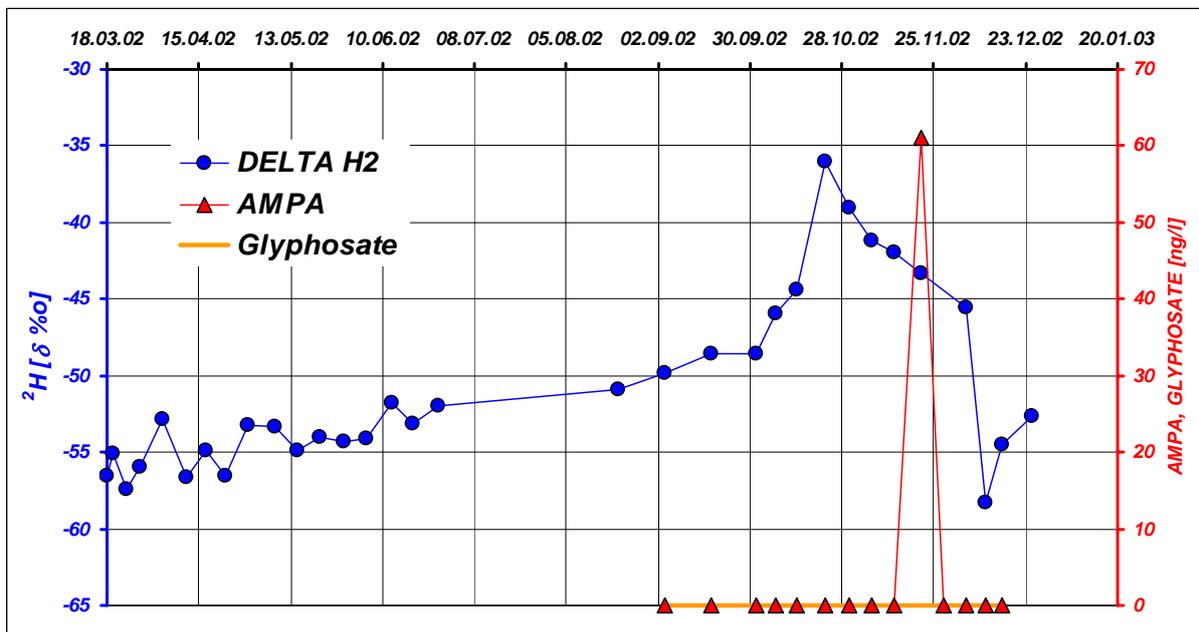


Abbildung 19: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle B7 (Saugkerze, MM,-0,80m)

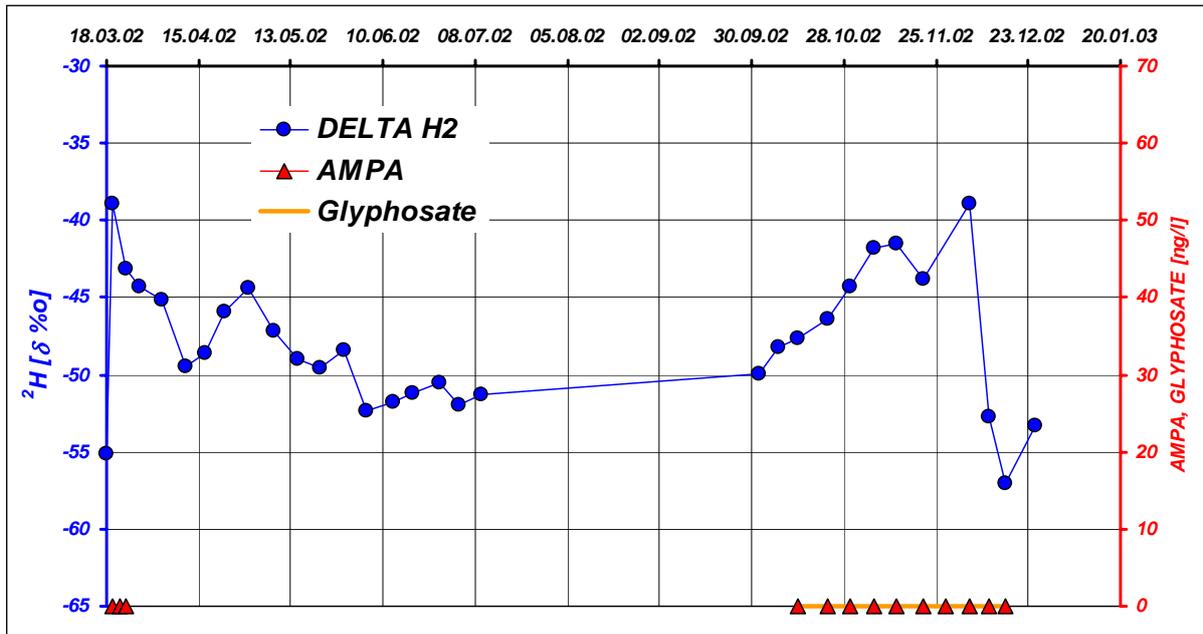


Abbildung 20: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle B8 (Saugkerze, FF,-1,05m)

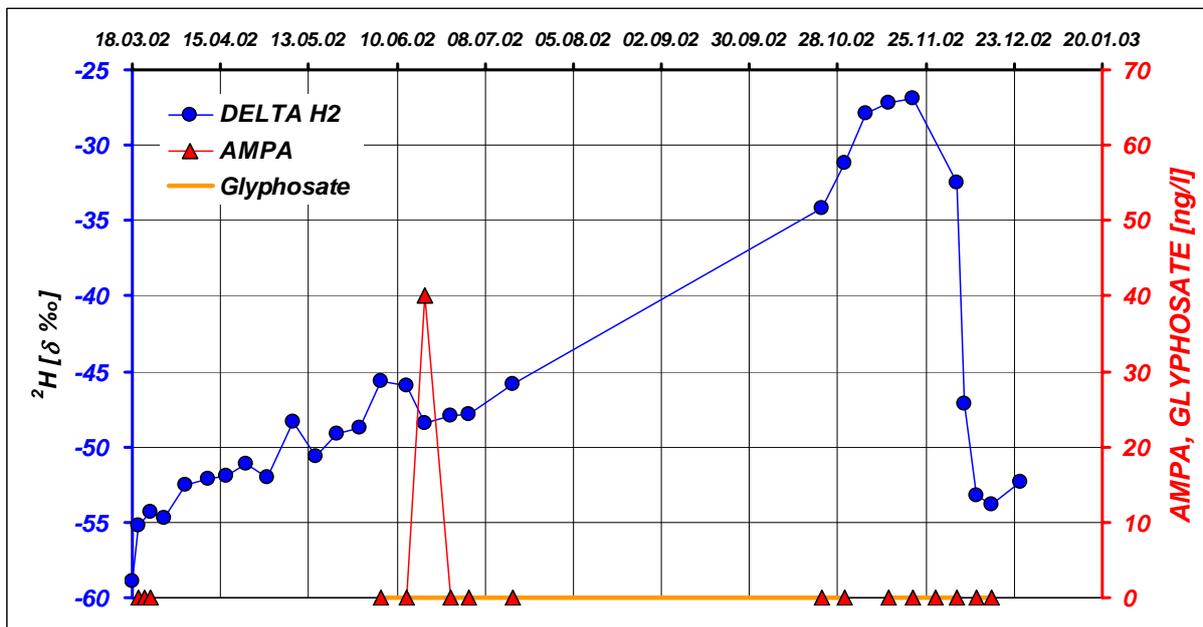


Abbildung 21: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle LSGVL (Gefäßlysimeter, FF,-1,50m)

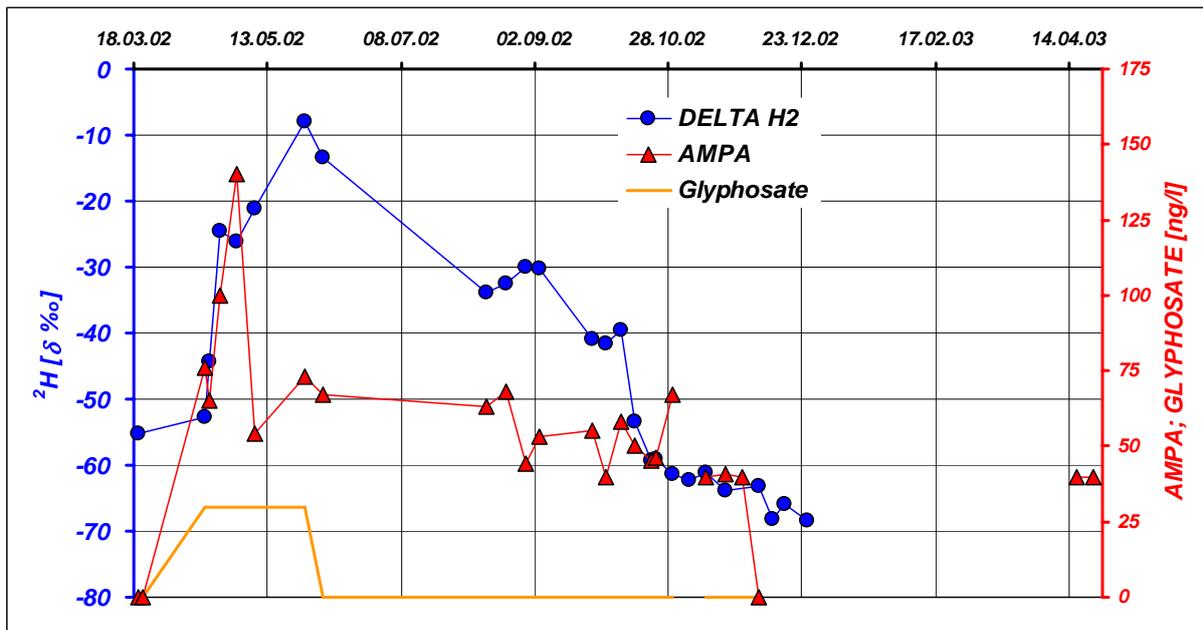


Abbildung 22: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle LSML04 (Monolithysimeter, FF,-0,40m)

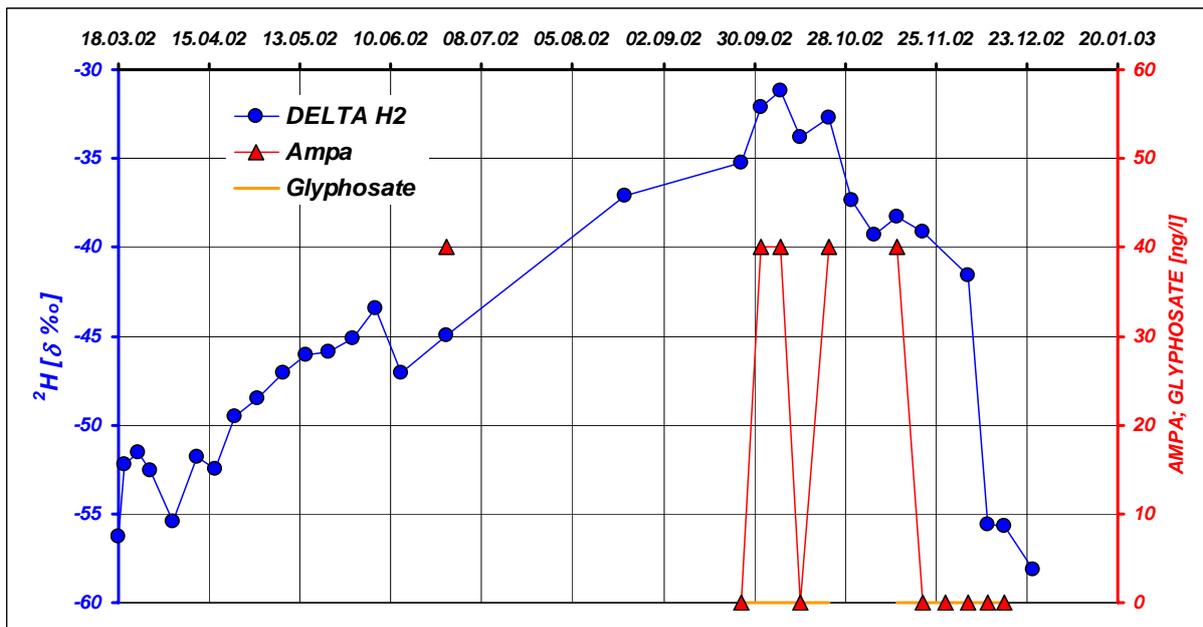


Abbildung 23: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle LSML07 (Monolithysimeter, FF,-0,70m)

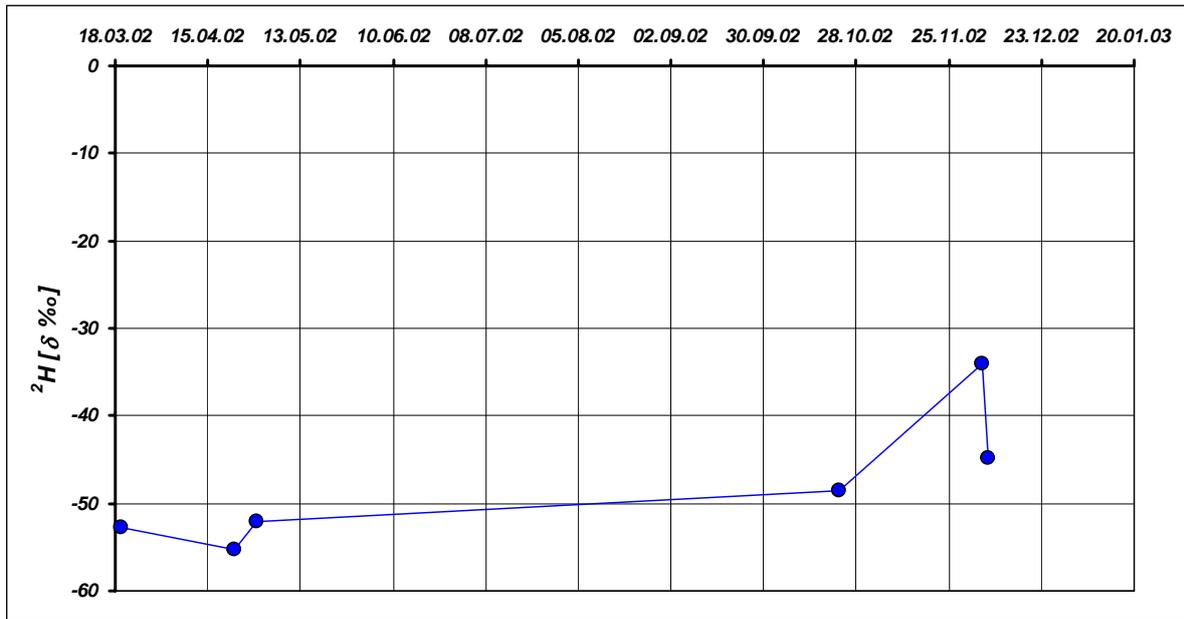


Abbildung 24: Deuterium -Analyseergebnisse an der Messstelle LSML11_A
(Monolithysimeter, FF,-1,10m)

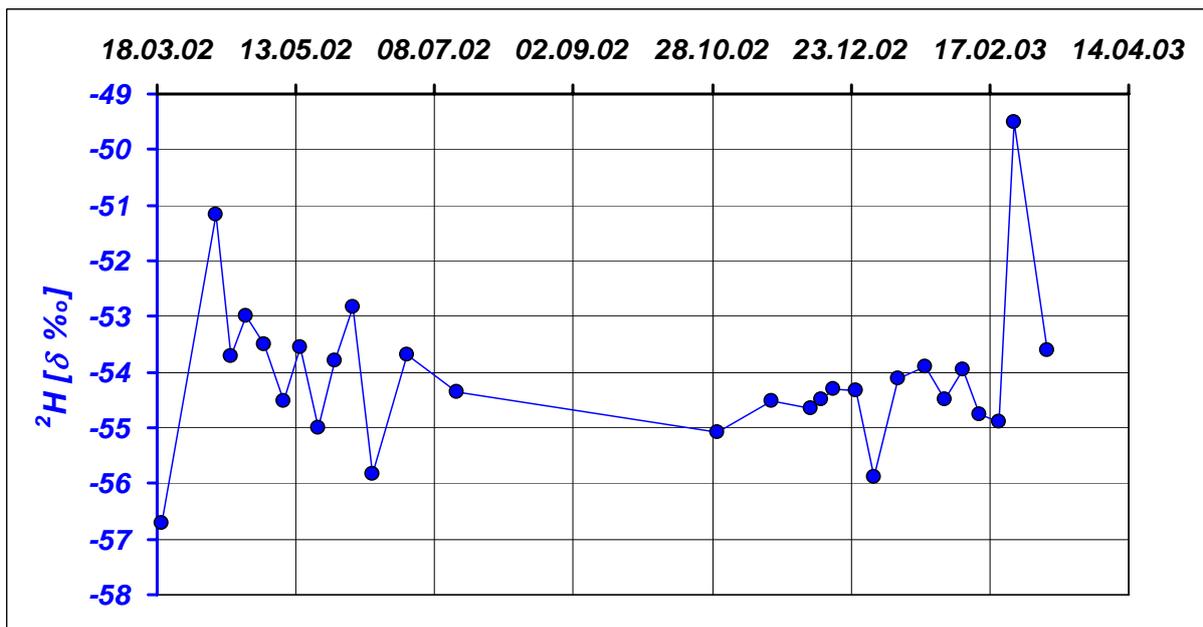


Abbildung 25: Deuterium-Analyseergebnisse an der Messstelle LSWL15
(Sickerwassersammler, FF, -1,50 m)

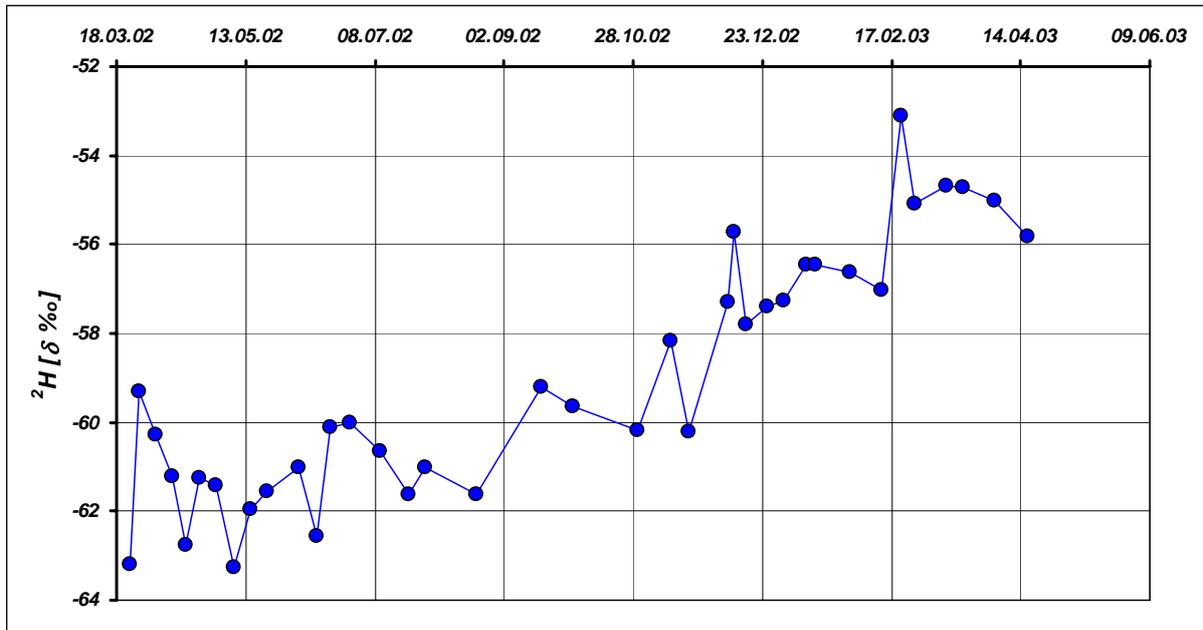


Abbildung 26: Deuterium -Analysergebnisse an der Messstelle LSWL30
(Sickerwassersammler, FF,-3,00m)

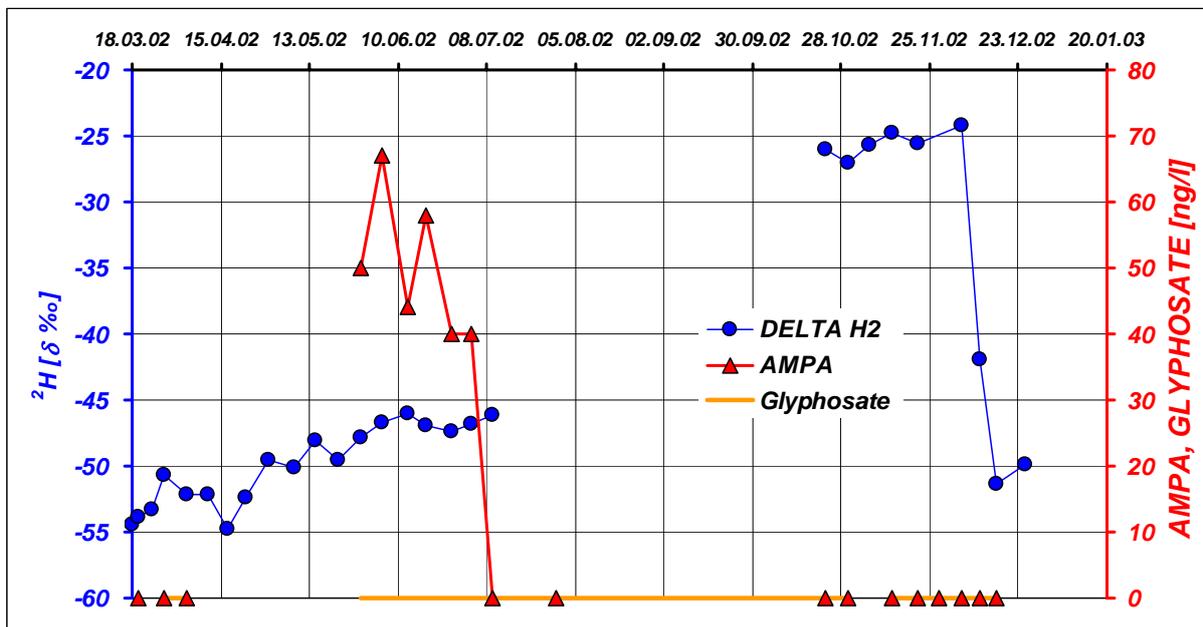


Abbildung 27: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysergebnisse an der Messstelle LSGVR
(Gefäßlysimeter, MM,-1,50m)

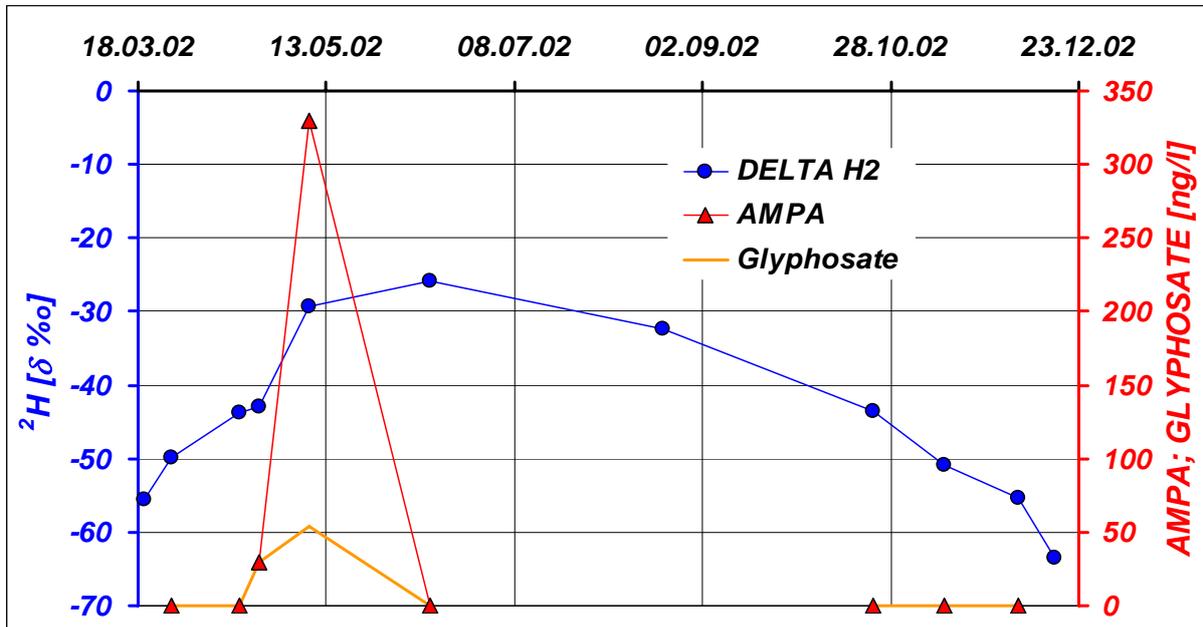


Abbildung 28: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle LSMR04 (Saugkerze, MM,-0,40m)

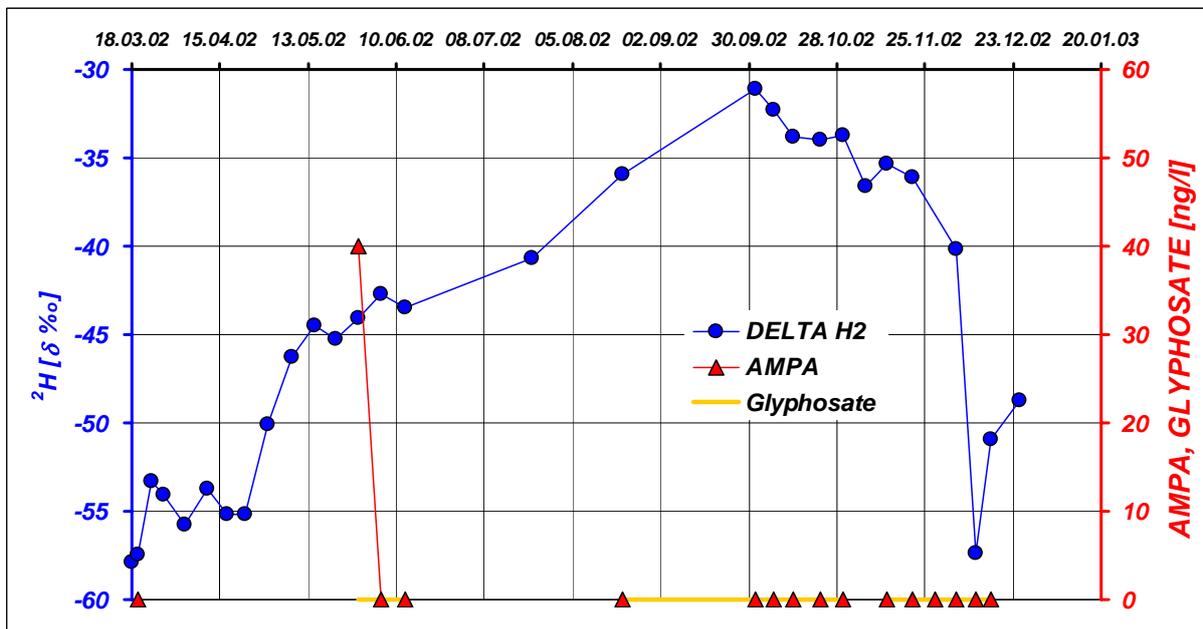


Abbildung 29: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle LSMR06 (Monolithlysimeter, MM,-0,60m)

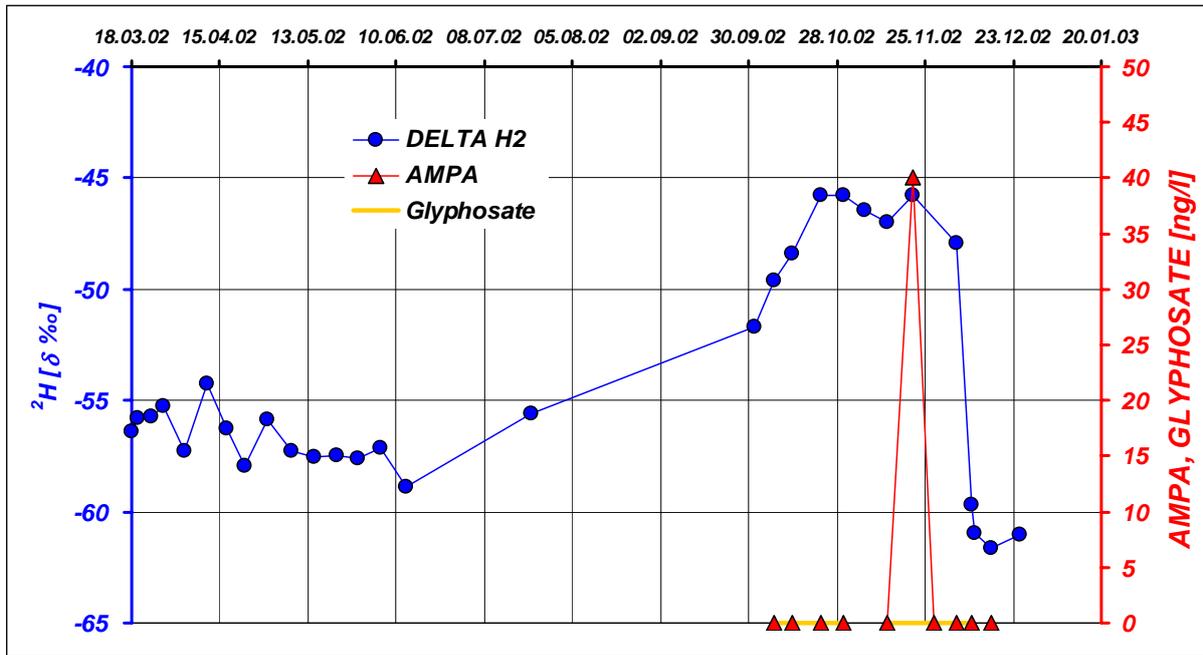


Abbildung 30: Deuterium-, Glyphosate- und AMPA-Analysenergebnisse an der Messstelle LSMR07 (Monolithysimeter, MM,-0,70m)

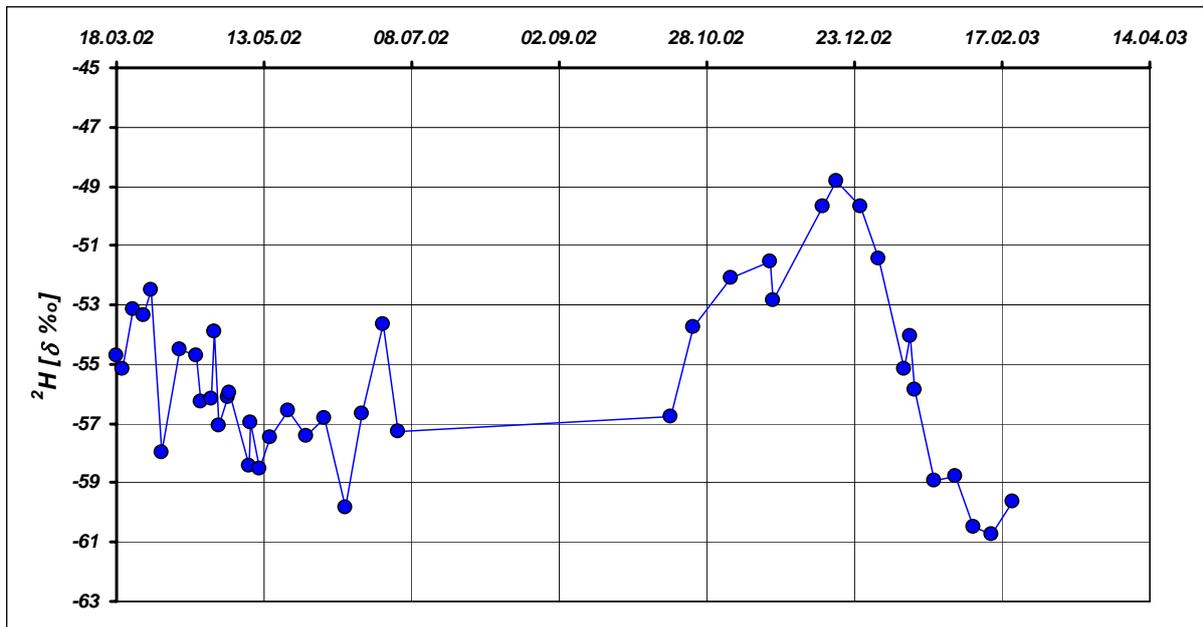


Abbildung 31: Deuterium -Analysenergebnisse an der Messstelle LSWR15 (Sickerwassersammler, MM,-1,50m)

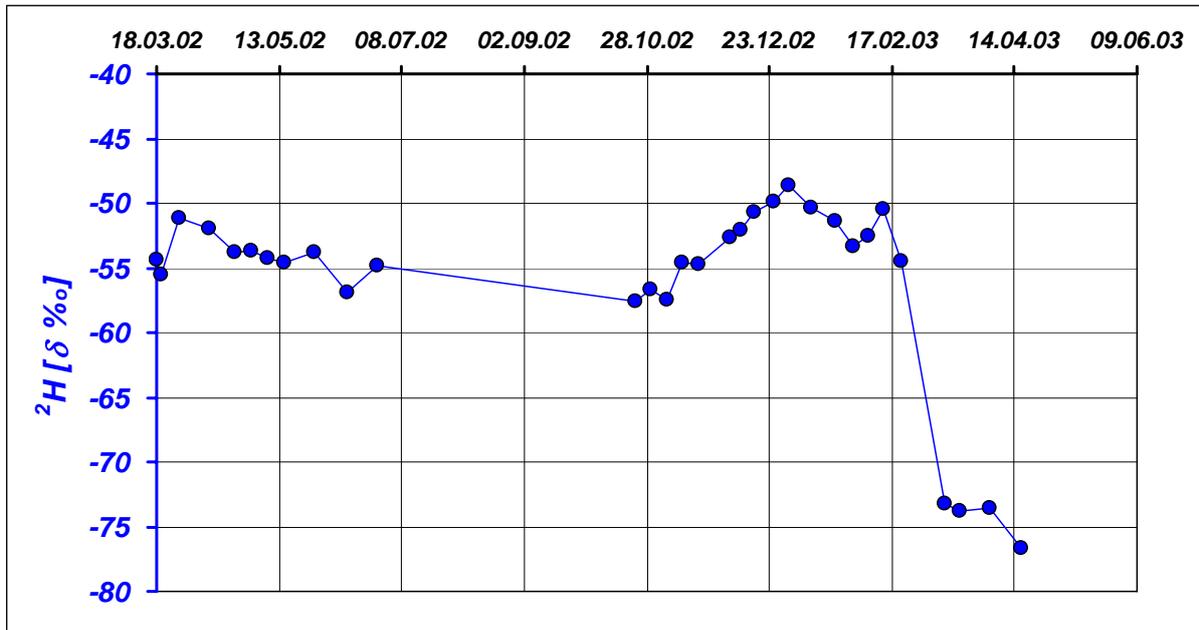


Abbildung 32: Deuterium -Analyseergebnisse an der Messstelle LSRR15
(Sickerwassersammler, MM, -1,50m)

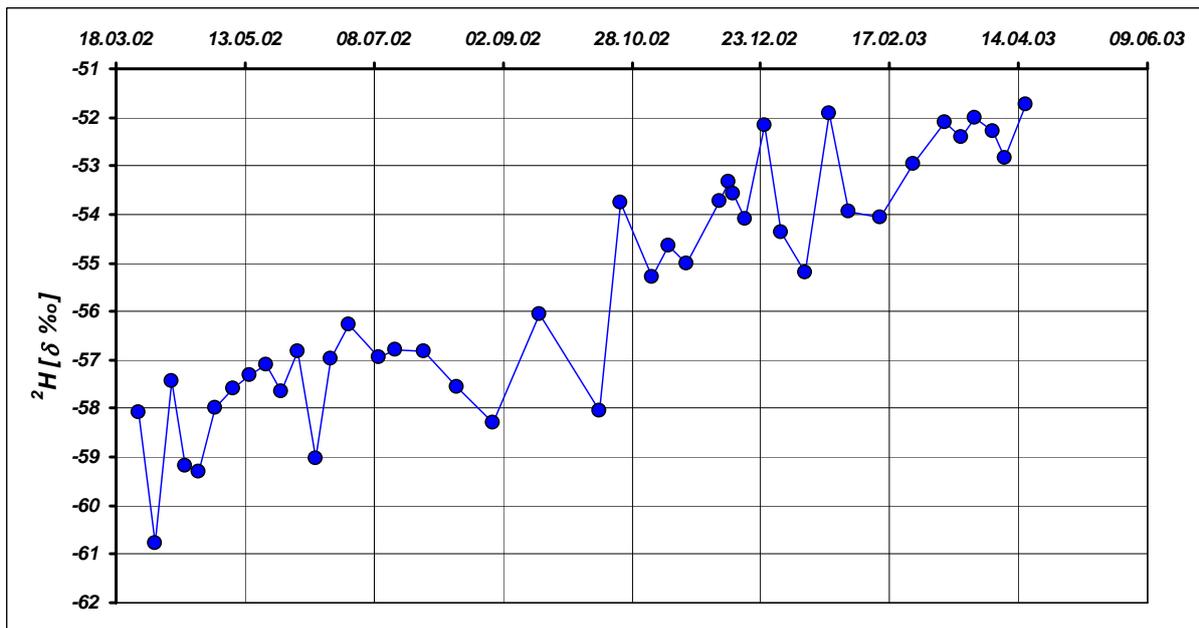


Abbildung 33: Deuterium -Analyseergebnisse an der Messstelle LSWR30
(Sickerwassersammler, MM, -3,00m)

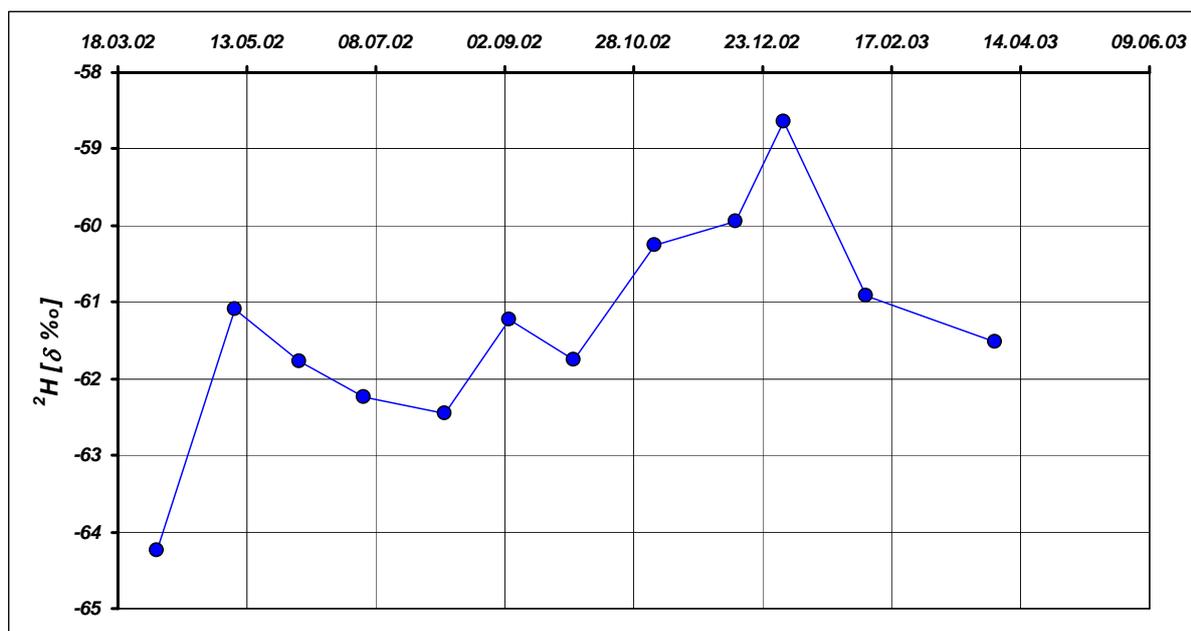


Abbildung 34: Deuterium -Analyseergebnisse an der Messstelle Grundwasser (Sonde)

14.3.2 Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Boden-Mischproben aus den Lysimeterparzellen des Versuchsfeldes Wagna sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Sie zeigen einerseits das Fehlen der untersuchten 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.

Tabelle 7: 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	AMPA	Glyphosate	TM 105 °C	P 14 FF	AMPA	Glyphosate	TM 105 °C
Tiefe / Datum	µg/kg TM	µg/kg TM	%	Tiefe / Datum	µg/kg TM	µg/kg TM	%
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

15. Boden- und grundwasserhydrologische Bewertung

Die im Jahr 2002 durchgeführten Untersuchungen brachten hinsichtlich der Fragestellung derartige Ergebnisse, die es erlauben, eine erste zusammenfassende Beurteilung des Einsatzes von Glyphosate zur Beseitigung einer winterharten Gründecke im Bereich der Forschungsstation Wagna im Hinblick auf eine potentielle Grundwassergefährdung durchzuführen. Diese Beurteilung kann jedoch ausschließlich unter Bedachtnahme auf die hydro-meteorologischen Verhältnisse während des Untersuchungszeitraumes gemacht werden.

15.1. Niederschlag, Sickerwassermenge und Grundwasserneubildung

Die Niederschlagssumme des Jahres 2002 entsprach mit 945 mm ziemlich genau dem 10jährigen Mittel der Periode 1992 bis 2001 (961 mm). Berücksichtigt man dazu noch die Beregnungswassermenge im März 2002 (40 mm) im Rahmen der Durchführung des Deuterium-Versuches, so standen im Jahr 2002 insgesamt 985 l/m² an Wasser für die Infiltration in den Untergrund zur Verfügung. Etwas spezifischer gestaltete sich die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge (vgl. Abbildung 5, Seite 34). Einem eher normalen Winter und frühen Frühjahr (Jänner bis April) folgte ein extrem trockenes Spät-Frühjahr, wobei in den Monaten Mai und Juni die seit 1992 niedersten Monatssummen des Niederschlages gemessen wurden. Die eher im 10jährigen Mittel gelegenen Monatssummen von Juli bis Oktober wurden von einem sehr trockenen November gefolgt (niederste Monatssumme seit 1992). Der Dezember 2002 war dahingegen durch sehr hohe Niederschläge (125 mm) gekennzeichnet, wobei von 5. bis 8. Dezember 2002 120 mm Niederschlag fielen. Diese spezifische Niederschlagsverteilung des Jahres 2002 wirkt sich auch auf die Sickerwassermengen an den beiden Gefäßlysimetern und deren jahreszeitlicher Verteilung entsprechend aus (vgl. Tabelle 4 und 5): In beiden Gefäßlysimetern wurden sehr gut vergleichbare Sickerwassermengen (Maismonokultur 277 mm, Fruchtfolge 292 mm) gemessen. Auch die jahreszeitliche Verteilung der Sickerwassermengen ist sehr gut miteinander vergleichbar – was aufgrund der in diesem Jahr gleichen Bewirtschaftung und dem identen Aufbau der Lysimeter auch zu erwarten ist. In der mittleren zehnjährigen Jahressumme (1992 bis 2001) wies der

Lysimeter in Maismonokultur – Bewirtschaftung mit 372 mm eine deutlich höhere Sickerleistung auf als der Lysimeter mit Fruchtfolge – Bewirtschaftung (283 mm). Diese Unterschiede waren eine Folge der unterschiedlichen Bewirtschaftung im mehrjährigen Zyklus. In beiden Fällen waren die Sickerwasserraten des März 2002 als Folge der Beregnung zu sehen: 30 mm Niederschlag und 40 mm Beregnung führten zu einer Sickerwassermenge von 35 mm. In den Monaten März, April und Mai lag die Sickerwasserrate bei etwa 50 % des Niederschlags. Mit Beginn der Vegetationsentwicklung (Mais) im Juni gingen die Sickerwassermengen drastisch zurück, um in den Monaten August und September vollkommen auszubleiben. Die Niederschläge in diesem Zeitraum wurden vollständig zur Versorgung der Pflanzen benötigt. Nach der Ernte im September wurden die Niederschläge bis Mitte Oktober zum Auffüllen des Defizits im Bodenwasservorrat aufgebraucht – in der zweiten Oktoberhälfte setzte die Sickerwasserbildung wieder ein. Aufgrund der geringen Niederschläge im November war auch die Sickerwassermenge mit 11 mm sehr niedrig. Die Niederschläge Anfang Dezember 2002 führten aufgrund fehlender Verdunstung zu einem Sickerwasseranfall zwischen 110 und 130 mm (bei 120 mm Niederschlag).

Betrachtet man den Verlauf der Grundwasserstandsganglinie während des Jahres 2002 (Tabelle 6) so zeigt sich im gesamten Jahresverlauf von Jänner bis Mitte Oktober praktisch kein Grundwasserspiegelanstieg aufgrund von Neubildungsereignissen. Die geringfügigen Spiegelanstiege im Mai und im August waren auf bedeutsame Wasserspiegelschwankungen der Mur zurückzuführen (dies ist aus der Auswertung der Sickerwassersammler in 3 m unter Gelände an der Forschungsstation Wagna ableitbar). In der zweiten Oktoberhälfte war eine geringfügige Grundwasserneubildungsphase erkennbar – der Grundwasserspiegel stieg um etwa 20 cm an, was einer Grundwasserneubildungsmenge von etwa 35 mm entsprach. Die Niederschlagsereignisse im Dezember 2002 führten bei aufgefüllten Bodenwasservorräten zu einer bedeutenden flächenhaften Grundwassererneuerung, was sich in einem Anstieg des Grundwasserspiegels um 0.76 m zwischen dem 5. und 17. Dezember widerspiegelte. Mit einem nutzbaren Porenvolumen von etwa 17 %, wie es aus diversen Untersuchungen an der Forschungsstation Wagna bekannt ist, errechnete sich aus diesem Grundwasseranstieg eine

Grundwasserneubildung von ca. 130 mm. Die Jahresgrundwasserneubildung 2002 aus infiltrierenden Niederschlägen kann mit etwa 200 mm beziffert werden. In der Auswertung der Grundwasserneubildung aus der Grundwasserstandsganglinie war die Auswirkung der Beregnung im März naturgemäß nicht erkennbar. Im Bereich des Versuchsfeldes war die Grundwasserneubildung 2002 demnach mit etwa 230 mm anzusetzen.

15.2. Die Verlagerung des Sickerwassers und des Herbizids Glyphosate

Die Verlagerung des Sickerwassers aus der Beregnung am 18. März 2002 war anhand der Ganglinien der Deuterium-Untersuchungen im Sickerwasser durch einen Anstieg der ^2H -Konzentration, der auf dem natürlichen Schwankungsverhalten aufgesetzt ist, erkennbar. Als Beispiel dafür kann die Messstelle A6, eine Saugkerze in der Fruchtfolgeparzelle an der Feinboden – Kiesgrenze 1.05 m unter der Geländeoberfläche (Tabelle 2) dienen (vgl. Abbildung 13): Das natürliche Schwankungsverhalten der ^2H -Konzentration im Sickerwasser an dieser Messstelle lag im Untersuchungszeitraum zwischen -60 und -55 ‰ (März bis Juli 2002). In dieser Zeit wurde an dieser Messstelle Wasser gesammelt, das bereits vor der Beregnung im Boden gespeichert war und aufgrund des Nachschubs an Wasser und wegen der Beregnung und des natürlichen Niederschlagsgeschehens tiefer verlagert wurde. Im Zuge der Niederschlagsereignisse im Oktober 2002 wurde das Beregnungswasser vom März 2002 (angereichert mit dem künstlich beigefügten Deuterium) bis in die Messtiefe (1.05 m) verlagert, was sich in einem Anstieg der ^2H -Gehalt des Sickerwassers auf -40 ‰ zeigte. Ende November 2002 ist die Hauptmasse des Beregnungswassers bereits in größere Tiefen vorgedrungen – erkennbar an einem Rückgang der Deuteriumkonzentration.

Vergleicht man die Ganglinien der Deuterium-Gehalte an den unterschiedlichen Messstellen (Abbildung 10 bis Abbildung 34) 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 (LSWR15, LSRR15 und LSWL30) bis zu diesem Zeitpunkt durch das Wasser aus der Beregnung im März 2002 noch nicht erreicht. In den Gefäßlysometern (LSGVL [Abbildung 21] und LSGVR [Abbildung 27]) sind erste geringe Anteile des

Beregnungswassers bereits in den Monaten Mai und Juni erkennbar, die Hauptmasse des aufgebrauchten Deuteriums erreichte den Ausfluss dieser beiden Lysimeter im Spätherbst mit der Neubildungsphase aufgrund der Niederschläge im Oktober 2002. Mitte Dezember 2002 war der Durchgang des Beregnungswassers an den beiden Gefäßlysimetern praktisch abgeschlossen – die ^2H -Konzentration ging auf etwa -50 ‰ zurück.

Das Herbizid Glyphosate wurde am 20.3.2002 (vgl. Kapitel 10), also 2 Tage nach der Aufbringung des Deuteriums, aufgebracht. Die Verlagerung des Wirkstoffes Glyphosate und des Metaboliten AMPA kann anhand der Ergebnisse der Analysen in den Ganglinien der einzelnen Messstellen (Abbildung 10 bis Abbildung 34) verfolgt werden. Gesamtheitlich betrachtet zeigt sich ein sehr heterogenes Bild: Während der Wirkstoff Glyphosate nur in 40 cm Tiefe – aber auch hier bis Anfang Juni 2002 (vgl. Abbildung 22) detektierbar war, fand 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 (Messstellen A und B) zeigte sich die Heterogenität besonders deutlich: In einigen Messstellen ist AMPA zu keinem Zeitpunkt nachweisbar (Messstelle B8 Abbildung 20 – hier ist auch ein deutlicher Makroporenfluss durch einen ersten sehr raschen Anstieg der Deuterium-Konzentration erkennbar, der aber keinerlei Wirkstoffnachweis bewirkt), 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) auf. Dies wurde auch durch die Messungen an den Monolithlysimetern in 70 cm Tiefe auf beiden Versuchsparzellen (LSMR07 [Abbildung 30] und LSML07 [Abbildung 23]) bestätigt.

In den Gefäßlysimetern LSGVL und LSGVR wurde Glyphosate in etwa doppelter Konzentration wie im Feld aufgebracht. Glyphosate war im Sickerwasserausfluss dieser Lysimeter zu keinem Zeitpunkt nachweisbar. Der Metabolit AMPA zeigte an der Messstelle LSGVR (Abbildung 27) im Juni 2002 einen deutlichen Konzentrationsdurchgang mit Maximalwerten von 70 ng/l, der mit dem ersten Sickerwasserdurchbruch aus der Beregnung korreliert. Auch an der Messstelle

LSGVL war AMPA im Juni 2002 mit dem ersten Durchbruch von Beregnungswasser in einer Analyse nachweisbar (Abbildung 21).

In den Untersuchungsergebnissen des Jahres 2003 (zweites Versuchsjahr) konnte der Fluss des Sickerwassers in größere Tiefen anhand der Messungen des Deuteriums gut verfolgt werden. Aufgrund der anschließenden Aufbringung von Glyphosate in „üblicher“ Art und Menge bei natürlichen hydrometeorologischen Verhältnissen – allerdings in einem sehr niederschlagsarmen Jahr (Grundwasserneubildungsrate des Jahres 2003 weniger als 30 % eines mittleren Jahres der Reihe 1992 – 2001) – 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 (siehe Abbildung 22). In allen sonstigen analysierten Proben konnten Glyphosate und AMPA nicht nachgewiesen werden.

16. Beurteilung der Ergebnisse hinsichtlich einer potentiellen Grundwassergefährdung

Das Herbizid mit dem Wirkstoff Glyphosate wird in der Landwirtschaft teilweise intensiv eingesetzt. Wie die Produktbeschreibung für „Roundup-Ultra“ zeigt, wird im Kontakt mit dem Boden eine rasche Inaktivierung und ein rascher Abbau angenommen. In der internationalen Literatur werden diese Produkthinweise auch vielfach bestätigt. Es wird dem Wirkstoff eine hohe Adsorption an den meisten Böden zugesprochen, allerdings weist die Halbwertszeit aus unterschiedlichen Untersuchungen einen Bereich zwischen 1 und 174 Tagen aus. Die Verlagerungsfähigkeit und das Auswaschungsrisiko werden üblicherweise als gering eingestuft.

Auch seitens der Herstellerfirma wurden Unterlagen über „Roundup-Ultra“ und des Verlagerungsverhaltens der Wirkstoffe zur Verfügung gestellt. Modellrechnungen mit dem Modell „PELMO“ und Boden- und Wetterdaten aus dem Umgebungsbereich, die von der Herstellerfirma beigelegt wurden, bestätigen die obige Annahme. Im Auftrag des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung wurde im Frühjahr 2002 ein Feldversuch mit Glyphosate an der Forschungsstation Wagna durchgeführt (Ergebnisse an den einzelnen Probenahmestellen siehe Kapitel 14.3).

Die Ergebnisse der Untersuchungen im Jahr 2002 zeigen ein sehr heterogenes Verhalten:

- Durch die wendende Bodenbearbeitung des Pfluges wurden Wirkstoff und den Wirkstoff enthaltendes Pflanzenmaterial in tiefere Bodenschichten mechanisch verlagert.
- Da jedoch der Wirkstoff Glyphosate und der Metabolit AMPA bereits vor dieser Bodenbewirtschaftung im Sickerwasser in 40 cm Tiefe nachgewiesen wurde, muss auch eine Verlagerung über Makroporenfluss in Erwägung gezogen werden.
- Eine biologische Verlagerung durch die systemische Verteilung bis in das tiefer liegende Feinwurzelsystem ist nicht auszuschließen.
- In 40 cm Tiefe ist der Wirkstoff Glyphosate auch noch mehrere Monate nach der Aufbringung nachweisbar, der Metabolit AMPA findet sich auch noch ein halbes Jahr nach der Aufbringung in dieser Messtiefe in praktisch immer gleichen Konzentrationen. Der Konzentrationsrückgang ist in erster Linie durch Abbau zu erklären. Auch sogenannte nicht extrahierbare Rückstände können zu einer Konzentrationsabnahme beitragen.
- In einigen Messstellen in unmittelbarer Nachbarschaft an der Boden – Kies Grenze (80 bis 105 cm unter Gelände) wird AMPA auch ein halbes Jahr nach der Aufbringung in einigen Messstellen gefunden, in anderen nicht.
- Das Verlagerungsverhalten von AMPA kann an vielen Messstellen mit der Verlagerung von Sickerwasser in der ungesättigten Zone korreliert werden (detektiert durch einen parallel durchgeführten Deuterium – Tracerversuch).
- Die Konzentration der Aufbringung an der Oberfläche scheint keinen signifikanten Einfluss auf die Auswaschkonzentrationen zu haben.
- In Tiefen größer 110 cm unter der Geländeoberfläche ist das Sickerwasser aus der Beregnung vom März 2002 bis Mitte Dezember 2002 noch nicht angelangt – demnach wurde in diesem Bereich das Sickerwasser auch noch nicht auf Glyphosate und AMPA untersucht.

In den untersuchten Proben nach der Aufbringung von Glyphosate im März 2003 (zweites Versuchsjahr) konnte AMPA ausschließlich an einer Messstelle in 40 cm Tiefe etwa ein Monat nach „üblicher“ Aufbringung in Spuren nachgewiesen werden.

-
- Unter den Realbedingungen im Ackerbau des Versuchsfeldes Wagna zeigt die Verlagerung des Wirkstoffes Glyphosate 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 Pflanzenwurzalgänge, Tiergänge etc.), der im Rahmen von intensiven Untersuchungen am Versuchsfeld Wagna nachgewiesen wurde, können geringe Anteile der Wirkstoffe relativ rasch in tiefere Horizonte des Bodens verlagert werden. In diesen Horizonten ist die Humusausstattung noch deutlich geringer als im Oberboden – dadurch bedingt sind auch Adsorption und Abbau als 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. Unter diesen hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen wäre daher eher ein geringes Verlagerungsrisiko in Richtung Grundwasser zu erwarten. Bei der Aufbringung 2002 war der Boden jedoch wenige Tage vor der Wirkstoffanwendung künstlich beregnet worden (Durchführung des Markierungsversuches).

Die Versuche beim Lysimeter in Wagna zeigten, dass unter den hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen, die dem langjährigen Mittel entsprechen (Sättigung des Bodens über die Wintermonate; intensive Frühjahrsniederschläge in April und Mai), eine noch raschere Verlagerung von Glyphosate und AMPA in höheren Konzentrationen bis in den Kiesbereich nicht ausgeschlossen werden kann. Dies vor allem dann, wenn der Wirkstoff kurz nach, oder noch schlechter, weil nicht vorhersehbar, kurz vor einem intensiven Niederschlagsereignis ausgebracht wird.

Zur Beurteilung der Verlagerungsneigung und zur Absicherung der Ergebnisse wären sicherlich noch weitere langfristige Untersuchungen erforderlich, wobei seitens der Herstellerfirma durchgeführte langfristige Modellrechnungen jedoch bereits zeigen konnten, dass ein Verlagerungspotenzial für den Wirkstoff Glyphosate oder AMPA nicht besteht.

Trotz der bisweilen extremen hydro-meteorologischen Rahmenbedingungen und großflächiger Anwendung von Glyphosate zur Beseitigung der winterharten Gründecke mit anschließender Pflugbodenbearbeitung kann jedoch eine potentielle Grundwassergefährdung im Murtal - Grundwasser auf Basis der bisherigen Untersuchungsergebnisse nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Dennoch sollte als Konsequenz dieser zweijährigen Versuchsserie die Landwirtschaft durch gezielte Umweltberatung der mit in den Versuch eingebundenen Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft auf die Besonderheiten bei der Anwendung des Pflanzenschutzmittelwirkstoffs Glyphosate zur Beseitigung der Gründecken vor allem in Grundwasser-Schongebieten hingewiesen werden, um einen Einsatz nur im unbedingt erforderlichen Ausmaß zu gewährleisten. Dazu werden zur nächsten Vegetationsperiode die bereits eingesetzten landwirtschaftlichen Beratungskonzepte weiterentwickelt.

17. Anhang:

17.1 Literatur

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG (1990):
Grundwasserschongebiete

FANK, J., (1999): Die Bedeutung der ungesättigten Zone für Grundwasserneubildung und Nitratbefruchtung des Grundwassers in quartären Lockersediment-Aquiferen am Beispiel des Leibnitzerfeldes (Steiermark, Österreich). Beiträge zur Hydrogeologie, 49/50, 101-388, Graz.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT [HRSG.] (1974a):
Österreichische Bodenkartierung – Bodenkarte 1:25.000 – Kartierungsbereich Leibnitz, Steiermark, Wien.

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT [HRSG.] (1974b):
Österreichische Bodenkartierung – Erläuterungen zur Bodenkarte 1:25.000 – Kartierungsbereich Leibnitz, Steiermark, 231 S., Wien.

17.2 Lageplan

Lysimeteranlage Wagna



0 4 Kilometer

Datengrundlage: FA 17C, Referat Gewässeraufsicht
 Kartengrundlage: GIS Steiermark
 Kartenbearbeitung: Podesser
 Bearbeitungsstand: 2005

Lageplan

