

# Isotopenuntersuchungen an den Feldlysimetern und Sickerwassersammlern in Gumpenstein als mögliche Grundlage für Sickerwasserprognosen

W. STICHLER, G. EDER, E. STENITZER und J. FANK

## Abstract

In den Jahren 2002 bis 2004 wurden in Gumpenstein mit monolithischen Feldlysimetern und Sickerwassersammlern in den selben pflanzenbaulichen Versuchspartellen Sickerwasser gewonnen. An den Niederschlägen aus der nahe gelegenen meteorologischen Station und den Sickerwässern wurden Isotopenmessungen durchgeführt. Gleichzeitig wurde die Niederschlags-Sickerwasserbilanz erhoben. Die in den Niederschlagsproben gemessenen Schwankungen der Isotopenkonzentration treten in den Sickerwässern der unterschiedlichen Lysime-

tertypen zeitlich verzögert und in ihrer Amplitude gedämpft auf. Die monolithischen Feldlysimeter lassen die einzelnen Sickerwasserfronten, welche an den Lysimeterböden auftreten, klarer differenzieren als die Sickerwassersammler.

At the agricultural test fields in Gumpenstein (Austria) seepage water has been sampled using monolithic field lysimeters and seepage water samplers from 2002 to 2004. Nearby daily sum of precipitation is being measured at a meteorological station. Isotope investigations has been done on seepage water and precipitation samples as well. The results

of water balance calculations showed differences between the different balancing systems. The time series of  $^{18}\text{O}$  concentration may be used to explain the different water transport processes in the test fields.

## Material und Methoden

### Versuchsbeschreibung

In Gumpenstein läuft seit 1992 ein ackerbaulicher Feldversuch mit fünf Versuchsgliedern in vierfacher Wiederholung. Die Versuchspartellen haben eine Größe von  $8 \times 2,5$  m. Die Versuchsanordnung ist in

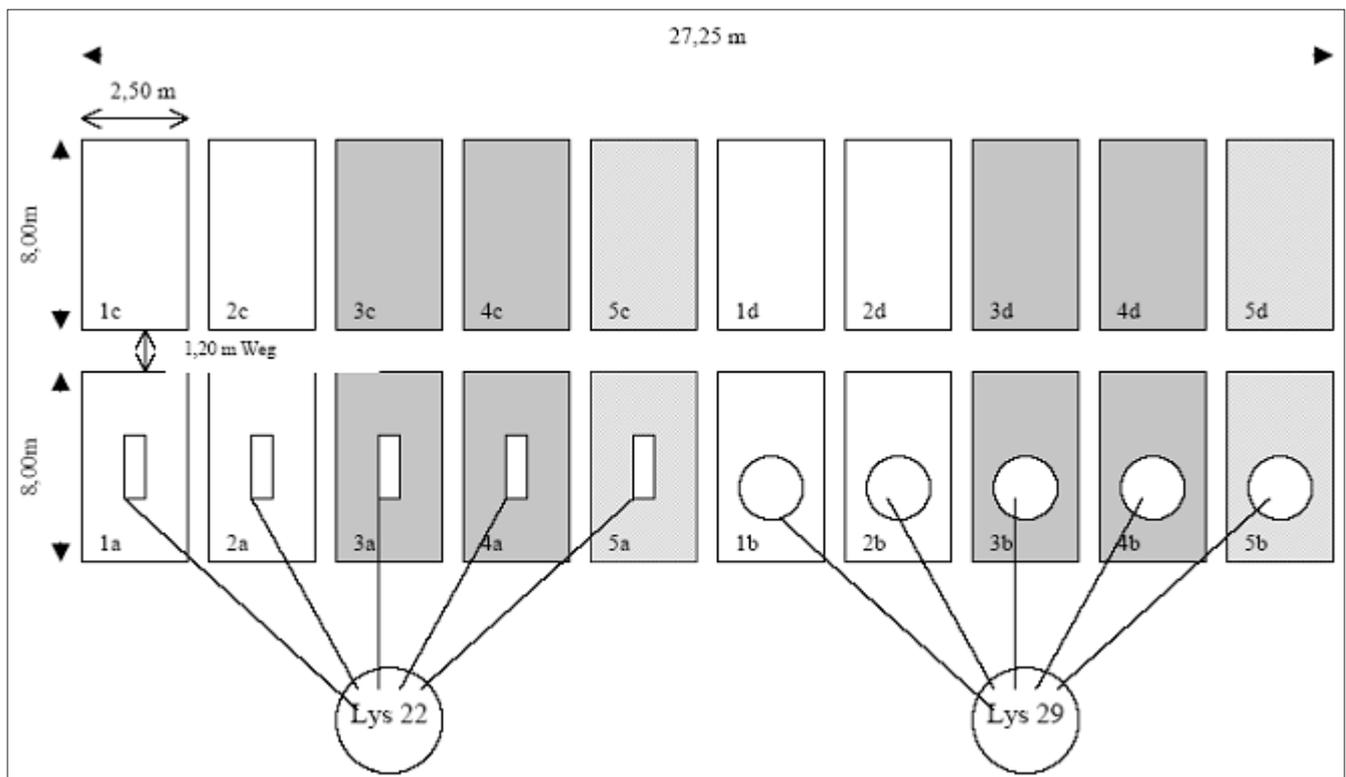


Abbildung 1: Dimensionierung der Versuchspartellen und des Versuchsfeldes in Gumpenstein; Lage der Sickerwassersammler (Rechtecke in den Partellen 1a bis 5a) und der Feldlysimeter (Kreise in den Partellen 1b bis 5b) sowie der Sammelschächte für die Sickerwasserleitungen (Lys 22 und Lys 29).

**Autoren:** Dipl.-Phys. Willibald STICHLER, GSF-Institut für Grundwasserökologie, Ingolstädterstraße 1, D-85764 MÜNCHEN-NEUHERBERG; Dr. Gerfried EDER, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für alpenländische Landwirtschaft Raumberg - Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING; Dr. Elmar STENITZER, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt, Pollnbergstraße 1, A-3252 PETZENKIRCHEN und Univ.-Doz. Dr. Johann FANK, JOANNEUM RESEARCH Forschungsgesellschaft mbH, Institut für WasserRessourcenManagement, Hydrogeologie und Geophysik, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

**Tabelle 1: Kulturführung und Düngung auf den Versuchparzellen des Versuchsfeldes Gumpenstein. Die Kulturartennummer ist äquivalent zu den Parzellennummern in Abbildung 1.**

Kulturarten	Düngung
1 Silomais	Gülle zum Anbau 115 kg N/ha, als Kopfdüngung 55 kg N/ha (2,7 GVE)
2 Silomais	Stallmistkompost zum Anbau 170 kg N/ha (2,7 GVE)
3 Winterroggen	Gülle zum Anbau 120 kg N/ha (2,0 GVE)
4 Winterroggen	Stallmistkompost zum Anbau 120 kg N (2,0 GVE)
5 Klee gras	PK 90 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha und 200 kg K <sub>2</sub> O/ha (3 Schnitte)

Abbildung 1 dargestellt. Die zugehörigen Kulturarten und deren Düngegaben sind Tabelle 1 zu entnehmen. Die Bodenverhältnisse am Versuchsfeld können als kalkfreie Lockersedimentbraunerde aus fluvioglazialen Sedimenten mit einem pH-Wert von 5,8 und einem Humusgehalt von 3,4 % beschrieben werden. Die Kornzusammensetzung von 30 % Sand, 63 % Schluff und 7 % Ton weist die Bodenart als sandigen Schluff aus. Die Geländeoberfläche weist ein geringes Gefälle von 5 % auf.

In der ersten Wiederholung des Feldversuches wurde in jeder der fünf Versuchparzellen ein Sickerwassersammler eingebaut. Die Saugplatte mit einem Innendurchmesser von 25 cm, die sich am Boden eines Kunststoffringes mit einer Höhe von 30 cm befindet, liegt 1 m unter der Geländeoberkante. Der Sickerwassersammler wurde mit Bodenmaterial der Aushubstelle befüllt. Von jeder dieser Keramikplatten führt eine Saugleitung zu einem Sammelgefäß, dem ein Vakuumgefäß vorgeschaltet ist. An jede Keramikplatte wird eine konstante Saugspannung von 300 Hektopascal mittels Membranpumpe angelegt. Die Sammelgefäße sind im Schacht Lys 22 (vgl. Abbildung 1) für alle Sickerwassersammler konzentriert.

In der zweiten Wiederholung des Feldversuches wurde in jedem Versuchsglied ein monolithisches Feldlysimeter in Zylinderform mit einem Freiauslauf eingebaut. Die Monolithe wurden im Jahre 1999 mittels Zylindern aus rostfreiem Stahlblech mit einer Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> und 1,50 m Länge am Ort des Einbaus gestochen. Nach dem Eindringen wurden die befüllten Zylinder am unteren Ende mittels einer Stahlplatte vom Boden abgeschert, herausgehoben und mit einer Bodenplatte, die den Freiauslauf enthält, versehen. Die Schläuche für die Freiausläufe und die Kabel für die Messsonden werden zu einem eigenen begeh-

baren Sammelschacht (Lys 29 in Abbildung 1) geführt, in dem sich die Auffanggefäße für das Sickerwasser und die Datensammler für begleitende "on-line" Messungen (Wassergehalt) befinden. Die anfallenden Sickerwassermengen werden durch Wiegung bestimmt. Von allen Sickerwassersammlern und Feldlysimetern werden die anfallenden Sickerwässer auf Wochenbasis beprobt und die <sup>18</sup>O - Isotopen - Konzentration analysiert.

An einer nahe gelegenen meteorologischen Station werden neben relevanten Wetterdaten zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration auch die täglichen Niederschlagssummen gemessen und die aufgefangenen Niederschlagswässer hinsichtlich ihrer Isotopenkonzentration (<sup>18</sup>O) analysiert.

### Isotope (Messung und Interpretation)

Im natürlichen Wasserkreislauf treten neben der normalen Isotopenzusammensetzung im Wassermolekül auch solche mit schweren Isotopen des Wasserstoffs (<sup>2</sup>H: Deuterium) und des Sauerstoffs (<sup>18</sup>O: Sauerstoff-18) auf. Die Variationen werden durch Isotopenfraktionierungen bei allen Phasenübergängen wie z.B. Kondensations- und Verdunstungsvorgängen verursacht. Die schweren Isotope reichern sich bei der Verdampfung an, während bei der Kondensation die schweren Isotope im Wasserdampf angereichert werden. Weiterhin ist die Isotopenfraktionierung unter sonst gleichen Bedingungen von der vorherrschenden Temperatur abhängig. Dies hat zur Folge, dass in den Niederschlägen ein jahreszeitlicher Gang des Isotopengehalts auftritt. In den Niederschlägen sind die Deuterium- und Sauerstoff-18 - Gehalte mit einer linearen Beziehung korreliert. Unterschiede in dieser Korrelation ergeben sich, wenn Verdunstungseffekte auftreten. In den folgenden Ausführungen

werden nur die Variationen des Sauerstoff-18 verwendet.

Die jahreszeitlichen Variationen in den Isotopengehalten der Niederschläge können als ideales Signal auf die Lysimeter verwendet werden. Durch Dispersions- und Austauschvorgänge werden die Isotopenvariationen gedämpft, sowie in ihren zeitlichen Verläufen verschoben. Ein Vergleich von Input (Niederschläge) zu Output (Lysimeterauslauf) ermöglicht es, Aussagen über die Durchsickerungsmechanismen der Lysimeterkörper vorzunehmen. Unter Berücksichtigung des Transportweges von der Geländeoberfläche bis zur Sammelstelle kann aufgrund der Ganglinienverschiebung auf die Verweilzeit des Wassers in der ungesättigten Zone geschlossen werden. Zusätzlich zeigen scharfe Spitzen in den Sickerwasser-Konzentrationsganglinien das Vorhandensein von Makroporenflüssen an (z.B. FANK et al., 1999). Die Isotopengehalte werden international üblich als Abweichungen von einem festgesetzten Standard (VSMOW) in einer Promille-Skala [‰] angegeben. Die Messgenauigkeit beträgt für δ<sup>18</sup>O = ± 0.2 ‰ und für δ<sup>2</sup>H = ± 1 ‰.

## Wasserbilanz

### Methodik

Die Wasserbilanz basiert auf den von der BAL zur Verfügung gestellten Entleerungstabellen für die Feldlysimeter und die Sickerwassersammler im Zeitraum vom 1.5.2002 bis 05.11.2004. Die zu den einzelnen Probeterminen in Gramm angegebenen Sickerwassermengen wurden bei den Lysimetern mit dem Faktor 0.001, bei den Sickerwassersammlern mit dem Faktor 0.020372 in l/m<sup>2</sup> bzw. mm umgerechnet und fortlaufend akkumuliert. Die so entstandenen Summenkurven der im Mittel wöchentlich vorgenommenen Messwerte wurden grafisch zu Tageswerten interpoliert und mit den täglichen Niederschlägen der Wetterstation Gumpenstein bilanziert. Dabei zeigte sich insbesondere im Winter 2002/2003, dass die so abgeschätzte aktuelle Verdunstung beim Eintritt von Tauwetterperioden bei allen außer dem mit Gras bewachsenen Lysimeter (LYSIMETER 05) negative Werte aufwies, was auf einen Fremdwasserzufluss hindeutet. Deshalb wurden die Sickerwassermessungen

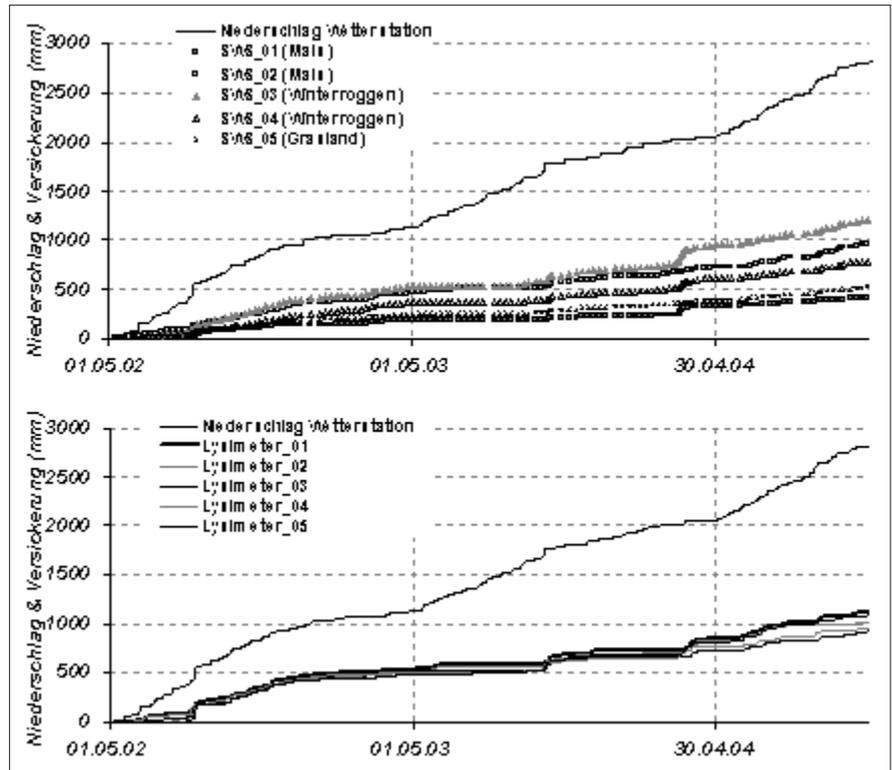
dieser Lysimeter zu den besagten Terminen in Anlehnung an den Sickerwasser- verlauf des Graslysimeters korrigiert. Die sich aus der vereinfachten Wasser- bilanz ergebenden Verdunstungskurven weisen wegen der bei der Bilanz nicht berücksichtigten Bodenfeuchteänderungen sowie wegen der Zwischenspeicherung des Niederschlages als Schnee einen irregulären Verlauf auf, der durch grafische Anpassung ausgeglichen wurde, um eine bessere Vergleichbarkeit des so geschätzten Verdunstungsverlaufes unter den verschiedenen Messeinheiten bzw. mit der potentiellen Verdunstung zu ermöglichen. Die potentielle Verdunstung wurde aus den Daten der Wetter- station Gumpenstein nach dem Penman- Monteith-Ansatz für eine Referenzvege- tation entsprechend den Empfehlungen der FAO (ALLEN et al., 1998) berechnet.

### Ergebnisse

Die Summenlinien des Niederschlags und der gemessenen Versickerungsmen- gen an den Sickerwassersammlern sowie die Summenlinien der korrigierten Si- ckerwassermengen der Feldlysimeter werden in *Abbildung 2* in Form zusam- menfassender Übersichten dargestellt. Auffällig ist die sehr breite Streuung der Ergebnisse an den Sickerwassersam- lern (Sickerwassersumme im Gesamt- zeitraum 01.05.2002 bis 05.11.2004 zwischen 418 und 1213 mm) im Ver- gleich zu den Resultaten der Lysimeter (953 - 1095 mm Gesamt-Sickerwasser- summe in den einzelnen Lysimetern).

Für den gesamten Untersuchungszeit- raum beträgt die berechnete potentielle Evapotranspiration 1848 mm. Die Plau- sibilitäts-Untersuchung anhand der mit der vereinfachten Wasserbilanz ermittel- ten aktuellen im Vergleich zur potentiellen Verdunstung zeigt, dass die (korri- gierten) Lysimetermessungen im zeitli- chen Verlauf eine realistische und vergleichsweise einheitliche Verdunstung ergeben, während bei den Sicker- wassersammlern lediglich die Sammler SWS\_02 (Mais) und SWS\_04 (Roggen) akzeptable Werte liefern.

Vom 01.10.2003 bis 30.09.2004 - ein Zeitraum für den an den Lysimeterab- flüssen keine Korrekturen aufgrund von Fremdwasserzuflüssen vorgenommen werden mussten - wurden an der meteo- rologischen Station Irnding/Gumpen-



**Abbildung 2: Summenlinien des Niederschlags und der gemessenen Versickerungsmenge an den Sickerwassersammlern (oben) sowie Summenlinien der korrigierten Versickerung an den Lysimetern (unten).**

**Tabelle 2: Jahreswerte der Sickerwassermenge (SW), deren Anteil an der Jahresniederschlagssumme und die aus der Wasserbilanz berechnete aktuelle Verdunstung (inklusive Oberflächenabfluss) der unterschiedlichen Messstellentypen und Bewirtschaftungsarten im Vergleich (01.10.2003 - 30.09.2004).**

Messstelle	SW Lysimeter (mm)		SW Sickerwasser- sammler (mm)		ETa	
	(mm)	SW in % von N	(mm)	SW in % von N	Lysimeter (mm)	Sickerwasser- sammler (mm)
01 Mais	504	44.91 %	215	19.13 %	619	908
02 Mais	433	38.59 %	416	37.03 %	690	707
03 Roggen	346	30.82 %	587	52.25 %	777	536
04 Roggen	414	36.82 %	373	33.18 %	709	750
05 Grünland	525	46.74 %	237	21.13 %	598	886

stein 1123 mm Niederschlag gemessen. Die potentielle Evapotranspiration wurde zu 648 mm berechnet. In *Tabelle 2* sind die Jahreswerte der Sickerwasser- menge, deren Anteil an der Jahresnieder- schlagssumme und die aus der Wasser- bilanz berechnete aktuelle Verdunstung der unterschiedlichen Messstellentypen und Bewirtschaftungsarten im Vergleich dargestellt. Dieser Vergleich zeigt, dass die mit den Sickerwassersammlern er- fassten Sickerwassermengen zu den Ly- simeterergebnissen deutlich differieren, wobei üblicherweise geringere Summen auftreten. Eine Ausnahme stellt der Si- ckerwassersammler "03 Roggen" dar, dessen Sickerwassermenge 169 % des entsprechenden Lysimeters beträgt. Die

Ergebnisse der Messstellen "02 Mais" und mit Einschränkungen auch "04 Rog- gen" sind gut vergleichbar. Die aus der Wasserbilanzgleichung  $ETa = N - SW$  be- rechneten aktuellen Verdunstungswerte liegen teilweise deutlich über der potentiellen Evapotranspiration

## Isotopenbilanz

### Input

In *Abbildung 3* sind die  $\delta^{18}O$  - Werte der Niederschläge von März 2002 bis Okto- ber 2004 aufgetragen.

Als Stufenfunktion sind die mit der Nie- derschlagsmenge gewichteten Wochen- proben zusammen mit den Monatswer- ten eingetragen. Es zeigt sich der typi-

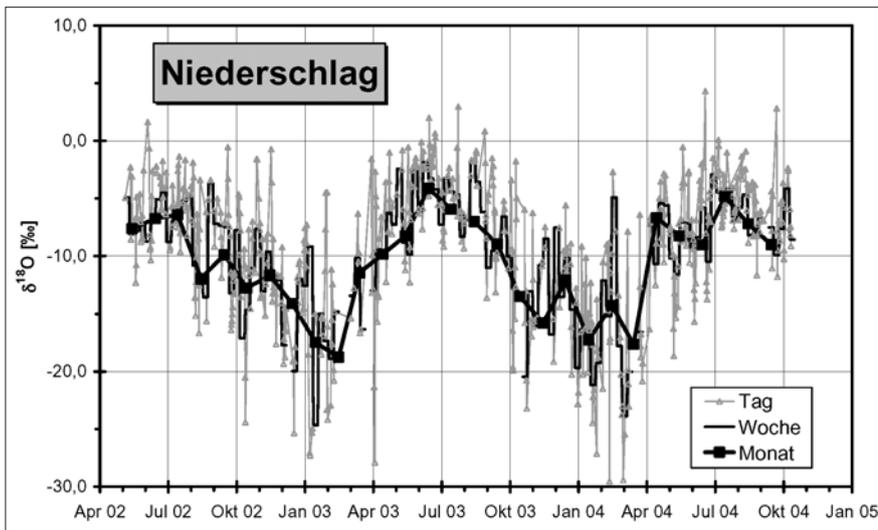


Abbildung 3: Jahresgang der  $\delta^{18}\text{O}$  - Gehalte in den Tagesniederschlägen und den mit der Niederschlagsmenge gewichteten Wochen- bzw. Monatsproben.

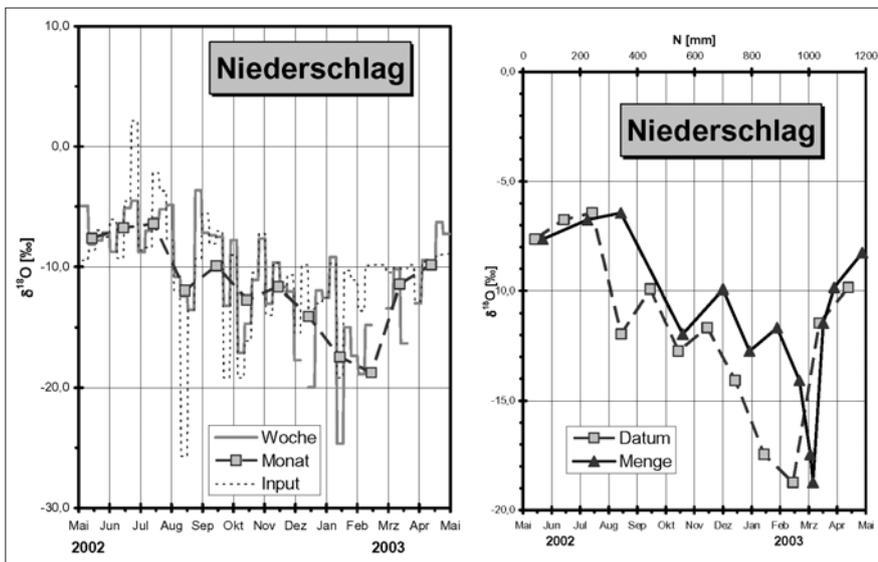


Abbildung 4: a) Ganglinie der  $\delta^{18}\text{O}$  - Werte in Wochen- bzw. Monatsproben sowie einer berechneten Inputfunktion bei der die relative Niederschlagsmenge gegenüber der mittleren Wochenniederschlagsmenge über die Untersuchungsperiode berücksichtigt wurde. b)  $\delta^{18}\text{O}$  - Werte der mit der Niederschlagsmenge gewichteten Monatsproben gegen das Datum bzw. gegen die aufsummierte Niederschlagsmenge aufgetragen.

sche Jahresgang mit höheren Werten in den Sommermonaten und niedrigen Werten während der Winterzeit. Bedingt durch die alpine Lage liegt eine Amplitude in der Größenordnung von 15 ‰ vor. Eine Auswertung der Niederschlagsdaten im bisherigen Untersuchungszeitraum zeigt, dass auch die Niederschlagsmenge einen typischen Jahresgang besitzt, der deutlich höhere Werte in den Sommermonaten besitzt. Für eine modellhafte Auswertung muss eine Gewichtung der Isotopengehalte mit der Niederschlagsmenge vorgenommen werden. In

Abbildung 4a ist für das erste Untersuchungsyear die so berechnete wöchentliche Isotopengangleinie der gemessenen Kurve gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass der allgemeine Verlauf wiedergegeben wird. In einzelnen Wochen ergeben sich doch größere Diskrepanzen, die für eine Modellierung berücksichtigt werden müssen. So wirkt sich vor allem der starke Niederschlag im August 2002 mit einem ausgeprägten Ausschlag aus. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass die Isotopenwerte gegen die aufsummierten Niederschlagsmengen aufgetra-

gen werden (Abbildung 4b). Hier zeigt sich ein ähnliches Bild, allerdings mit einem relativ geringeren Einfluss des winterlichen Minimums, bedingt durch die unterschiedlichen Mengenverteilungen.

### Output

In Abbildung 5 sind die  $\delta^{18}\text{O}$  - Ganglinien der Abflüsse aus den Lysimetern 01 bis 05 zusammengestellt. Dabei wurde auf der x-Achse nicht das Datum sondern die aufsummierte Auslaufmenge verwendet, um den Durchsickerungsvorgang durch die Lysimeterkörper besser wiederzugeben. Ein Vergleich mit der  $\delta^{18}\text{O}$  - Ganglinie in den Niederschlägen (Abbildung 3 bzw. Abbildung 4b) zeigt eine Dämpfung in der Amplitude der jahreszeitlichen Variationen etwa um einen Faktor 5. Legt man dieser Dämpfung rein theoretisch eine exponentielle Verteilung zu Grunde, so lässt sich daraus eine mittlere Aufenthaltsdauer ableiten, die sich grob abgeschätzt zu etwa 0.8 Jahre ergibt. Bei einer Mächtigkeit der Lysimeter von 1.5 m bedeutet dies eine Sickergeschwindigkeit von 1.9 m/Jahr. Ein Vergleich der Isotopengangleinien der einzelnen Lysimeter untereinander zeigt, dass das "Graslysimeter" (Lysimeter 05) gegenüber der übrigen Lysimeter einen ausgeglichenen Verlauf zeigt. Der Einfluss der Schneeschmelze, der bei den mit Mais bzw. Roggen bewirtschafteten Lysimetern eine Veränderung im Isotopengehalt zu negativeren Werten bewirkt, ist beim Lysimeter 05 wesentlich geringer ausgebildet. Die Einsickerung von direktem Schneeschmelzwasser, wie sie bei den Lysimetern 01 bis 04 vermutet werden muss, ist am Lysimeter 05 geringer oder nicht existent. Eine Quantifizierung dieser Zusickerungsmengen wird zu einem späteren Zeitpunkt, nach Vorliegen weiterer Analysedaten noch durchgeführt.

In Abbildung 6 ist die Isotopengangleinie der Auslaufwässer des Lysimeters 05 einerseits gegen das Sammeldatum und andererseits gegen die aufsummierte Auslaufmenge aufgetragen. Die zweite Darstellungsart gibt den Durchsickerungsvorgang besser wieder. So sind die sprunghaften Änderungen im Isotopengehalt der Ganglinie zwar enthalten, zeigen aber, dass diese Vorgänge bei geringen Auslaufmengen auftreten. Es han-

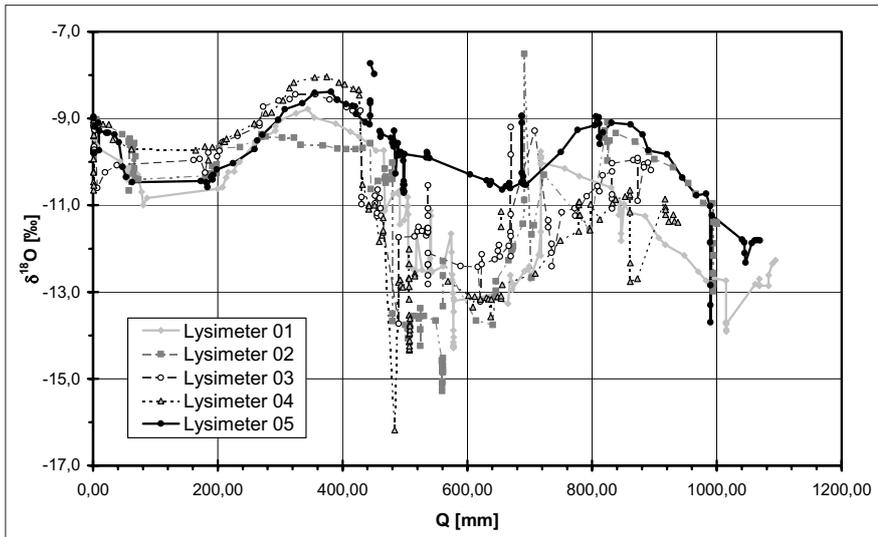


Abbildung 5: Jahreszeitliche Variation der  $\delta^{18}\text{O}$  - Werte in den Abflüsse aus der Lysimeter 01 bis 05 jeweils gegen ihre aufsummierte Auslaufmenge (Q) aufgetragen.

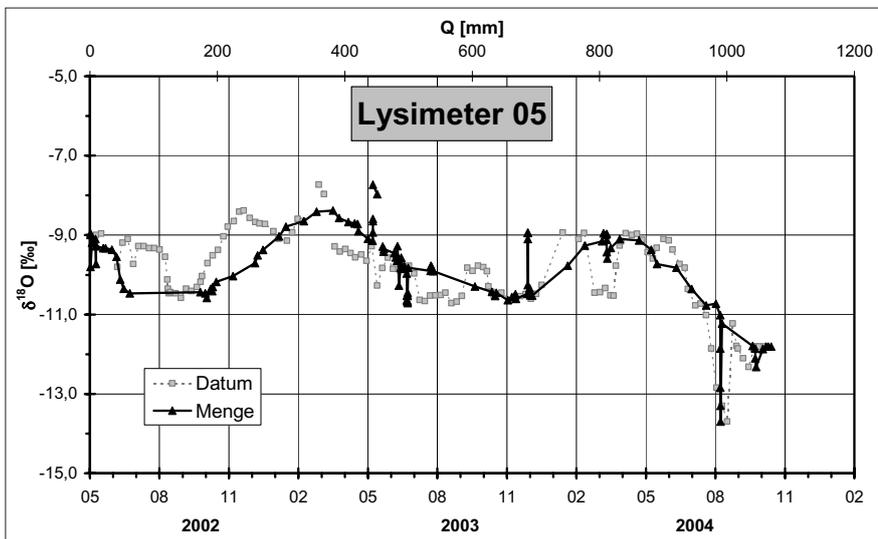


Abbildung 6:  $\delta^{18}\text{O}$  - Ganglinie der Abflüsse aus dem Lysimeter 05 (Grasland) gegen das Datum bzw. die aufsummierte Auslaufmenge (Q) aufgetragen.

delt sich dabei um ein mengenmäßig untergeordnetes präferentielles Durchsickern des Lysimeterkörpers. Eine bis jetzt noch nicht durchgeführte genauere Analyse der Niederschlags- bzw. Abflussganglinie sollte eine Abschätzung der beteiligten Wassermengen ermöglichen.

Eine erste Abschätzung der Sickerwassergeschwindigkeit durch das Lysimeter 05 lässt sich durch die Verschiebung des winterlichen Minimumisotopengehaltes ermitteln. Der Vergleich mit der Isotopenganglinie der Niederschläge ergibt ein Auftreten im Auslaufwasser um etwa 8 Monate verschoben. Bei einer Sickerwasserstrecke von 1.5 m bedeutet dies

eine Sickerwassergeschwindigkeit von 2.2 m/Jahr.

### Vergleich der Lysimeter mit den Sickerwassersammlern (SWS)

Als Beispiel für das Durchsickerungsverhalten der Lysimeter im Vergleich zu den Sickerwassersammlern sind in *Abbildung 7* die  $\delta^{18}\text{O}$  - Ganglinien des Lysimeters 02 und des SWS 02 gegen die aufsummierte Auslaufmenge dargestellt. Der wesentliche Unterschied der Isotopenganglinien der beiden Abflüsse besteht in ihren Verläufen. Während die Ganglinie des Lysimeters einen unruhigen Isotopenverlauf mit sprunghaften Änderungen aufweist, reihen sich die Isotopenwerte des SWS auf einer steten

Kurve auf. Es ist zu vermuten, dass sich über der Saugplatte im vorhandenen Sammelgefäß eine gewisse Stauhaltung des Sickerwassers ausbildet und so zu einer Homogenisierung der Isotopenwerte führt.

Andererseits spiegeln sich die jahreszeitlichen Isotopenvariationen in den Niederschlägen deutlich im Auslaufwasser wider und geben auch hier die Möglichkeit, eine Abschätzung der Sickerwassergeschwindigkeit vorzunehmen. Die Verschiebung der Maximalwerte in der Isotopenganglinie des SWS im Vergleich zur Lysimeterganglinie ist durch die kürzere Sickerwasserstrecke von 1 m im Vergleich zu 1.5 m der Lysimeter bedingt. Das Auftreten des Winterminimums im Auslauf erfolgt etwa 5 Monate später als in den Niederschlägen woraus sich eine Geschwindigkeit von 2.4 m/Jahr abschätzen lässt.

Die Unterschiede im Isotopenverlauf zwischen Lysimeter und Sickerwassersammler werden auch in einer Auswertung der Abflussmengen deutlich. Wie in *Abbildung 8* am Beispiel der Messeinrichtungen auf Parzelle 02 unter Mais zu erkennen ist, liefern beide Messsysteme über die gesamte Vegetationsperiode annähernd die gleiche Sickerwassermenge, die zeitlichen Verläufe sind aber außerordentlich unterschiedlich: während die Lysimeterabflussganglinie durch einen charakteristischen Wechsel zwischen Abfluss aufgrund von Niederschlagsereignissen und Trockenfallen aufgrund des Bodenwasserverbrauchs durch die Vegetation geprägt ist, zeigt die Summenlinie des Sickerwassersammlers praktisch über die gesamte Vegetationsperiode einen kontinuierlichen Anstieg. Ein Vergleich mit den Niederschlagswerten im gewählten Zeitraum zeigt, dass in der Anfangsphase die Sickerwassersumme des Lysimeters deutlich über der Niederschlagssumme liegt - hier ist der Einfluss der Schneedecke als Zwischenspeicher deutlich erkennbar. In den Daten des Sickerwassersammlers ist dies weitaus weniger deutlich, das Schneeschmelzwasser dürfte oberirdisch abgeflossen sein. In weiterer Folge reagiert andererseits der Sickerwassersammler wesentlich deutlicher auf intensive Niederschlagsereignisse, was auch im Zusammenhang mit der geringeren Einbautiefe gegenüber dem Lysimeter zu sehen ist.

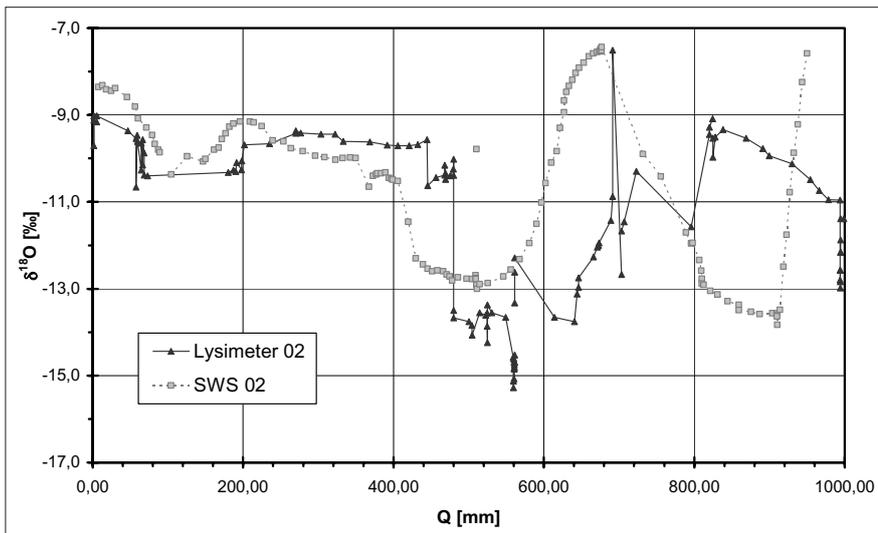


Abbildung 7: Vergleich der  $\delta^{18}\text{O}$  - Ganglinie der Abflüsse aus dem Lysimeter 02 mit der des SWS 02 beide gegen ihre aufsummierte Auslaufmenge (Q) aufgetragen.

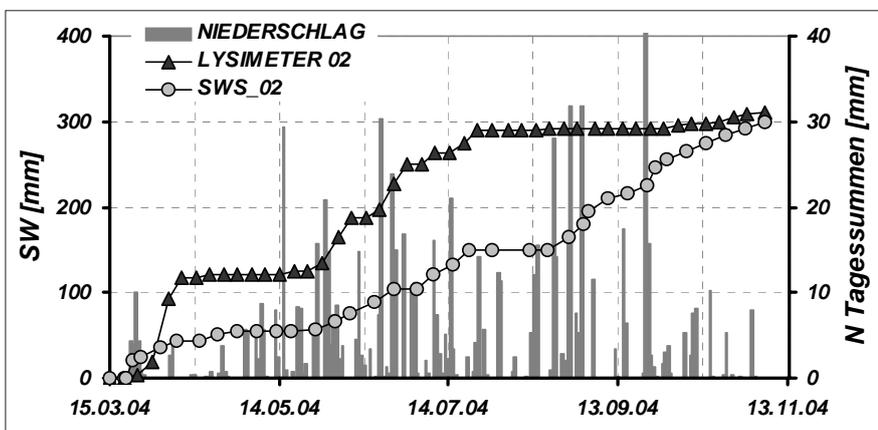


Abbildung 8: Vergleich der Summenkurven der Sickerwassermenge (SW) von Lysimeter 02 und Sickerwassersammler (SWS) 02 unter Mais in der Vegetationsperiode 2004.

## Diskussion der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

### Vergleich der Systeme

Die Ursachen für das unterschiedliche Verhalten der Messsysteme - neben den korrigierten Fremdwasserzutritten - sind bis dato unklar, könnten aber beispielsweise folgende sein:

- Die Durchlässigkeit der Keramikplatten ist nicht ausreichend groß, dass das Sickerwasser nach Anfall sofort abtransportiert wird. Diese Problematik sollte durch Laborversuche geprüft werden. Bei Bestätigung dieser Vermutung sind die Konsequenzen für die Frage der Erfassung von reaktiven Stofftransportprozessen mit Hilfe von Sickerwassersammlern weitreichend: Sollte eine Sammlung des anfallenden Sickerwassers im Sickerwassersammler über der Keramikplatte über einen

längeren Zeitraum erfolgen, sind zeit- und sättigungsabhängige Umwandlungsprozesse (z.B. Nitrat) vom Freiland deutlich unterschiedlich.

- Der an die Sickerwassersammler angelegte Unterdruck ist zu Zeiten geringen Sickerwasseranfalls zu hoch, sodass über den gesamten Zeitraum betrachtet Bodenwasser zum Abfluss kommt, das hydraulisch nicht mobil ist. Abhilfe kann in diesem Fall nur eine Anpassung des Unterdrucks an das im natürlichen System herrschende Matrixpotential schaffen.
- Der spezifische Einfluss der Schneeschmelzvorgänge am Standort Gumpenstein ist jedenfalls in eine Bilanzierung einzubeziehen. Diesbezüglich wären allerdings intensive Beobachtungen und Messungen der zeitlichen Entwicklung der Schneedecke einerseits und des Oberflächenabflusses aus

den nicht ganz ebenen Versuchspartellen andererseits erforderlich.

### Relevanz der Isotopenuntersuchungen für die Sickerwasserprognose

Nach Abschluss des geplanten 3-jährigen Untersuchungszeitraums ist vorgesehen, die Isotopendaten aller 5 Lysimeter und 5 SWS zur Validierung eines Durchflussmodells heranzuziehen. Als Basis der Modellierung dienen die Wasserbilanzen und die Wassergehalte bzw. deren Änderungen in den einzelnen Lysimeter bzw. Lysimetertypen. Ziel sollen Aussagen über eine Möglichkeit der Sickerwasserprognose speziell unter verschiedenen landwirtschaftlich genutzten Anbauflächen sein.

Bereits aus den bisher vorliegenden Untersuchungsergebnissen ist die Bedeutung von Isotopenuntersuchungen - hier das stabile Isotop Sauerstoff-18 - augenscheinlich:

- Durch die Messungen konnten Lysimeterfehler, die bereits aus der Erstellung der Wasserbilanz ersichtlich waren (lateraler Zustrom von Schneeschmelzwasser in die Lysimeter), bestätigt werden. Damit konnten diese mit zwei völlig unterschiedlichen Verfahren aufgezeigt werden.
- Aus der Dämpfung der  $\delta^{18}\text{O}$  - Werte im Sickerwasser gegenüber den Niederschlagswerten, sowie aus der zeitlichen Verschiebung von Extremwerten können Rückschlüsse auf die Sickerwasserverweilzeit in der ungesättigten Zone getroffen werden.
- Die Unterschiede im zeitlichen Verlauf der  $\delta^{18}\text{O}$  - Werte bei den unterschiedlichen Messsystemen haben Fragen hinsichtlich der Verwendbarkeit der Messeinrichtungen zur Kalibration von Modellen aufgeworfen. Zur Abklärung dieser Fragen sind jedenfalls noch weitere Untersuchungen auf verschiedenen Skalenebenen (Labor, Sickerwassersammler und Freiland) notwendig.

### Literatur

- ALLEN, R.G., L.S. PEREIRA, D. RAES and M. SMITH, 1998: Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome.
- FANK, J., H. ZOJER und W. STICHLER, 1999: Die Schneeschmelze 1996 als  $^{18}\text{O}$ -Tracerversuch an der Lysimeteranlage in Wagna. - GSF-Bericht, 1/99, 11-17, München.