

Nitratbewegung in der ungesättigten Zone: „Erkenntnisse aus dem Vergleich von Isotopenuntersuchungen und hydrochemischen Untersuchungen“

P. RAMSPACHER, W. PAPESCH und D. RANK

Abstract

From percolation water, sampled by ceramic suction cups from different depths of different crops (permanent grassland, maize), hydrochemical analyses were carried out as well as analyses of the isotope ^{18}O . In hydrological investigations ^{18}O is very often used because, basing on the temperature effect, ^{18}O composition of precipitation has a significant seasonal variation. For this reason ^{18}O is an excellent natural tracer in order to follow infiltrating water. In comparison with isotopic composition of precipitation, isotopic curve of percolation water is characterized in a delay of the appearance of the peaks. From this delay it is possible to get an idea of the flow velocity of percolation water. Comparing these results from isotopic investigations with the behaviour of nitrate in percolation water, it is possible to explain seasonal fluctuations of the nitrate curve.

1. Einleitung

Im Rahmen eines EU Forschungsprojektes wurde die nitrifizierungshemmende Wirkung von ATS (Ammoniumthiosulfat) an zwei unterschiedlichen Versuchsstandorten über einen Zeitraum von 3 Jahren (1995 - 1997) getestet. Die Applikation von ATS erfolgte als Beigabe zu Gülle bzw. zu Mineraldünger einerseits auf Dauergrünland auf dem Versuchsstandort Gumpenstein, andererseits im Maisanbau auf einer Versuchsfläche nahe der Lysimeterstation Wagna.

Zur Klärung der Nitratbewegung bzw. der Nitratverlagerung wurden unter anderem Sickerwasserproben aus verschiedenen Tiefen für Analysenzwecke entnommen. Die Sickerwasserprobennahme erfolgte an beiden Standorten mit-

tels Saugkerzen unter Anlegung eines bestimmten Unterdruckes. Die Probenahme selbst wurde in wöchentlichen Abständen nahezu über das gesamte Jahr durchgeführt. Witterungsbedingt mußte die Probenahme für jeweils einige Wochen im Winter eingestellt werden, im Sommer kam der Sickerwasserfluß infolge Trockenheit bzw. des Pflanzenentzuges in beiden Versuchen teilweise zum Stillstand.

Die Sickerwasserentnahme erfolgte an beiden Standorten aus der Bodenzone mit Entnahmetiefen von 0,2 m und 0,5 m unter Dauergrünland bzw. 0,4 m und 0,7 m in den Maisparzellen.

Die wöchentlichen Sickerwasserproben des Grünlandversuches wurden im Labor auf die Parameter NO_3 , NH_4 sowie NO_2 untersucht, beim Maisversuch in Wagna sind dieselben Parameter unmittelbar nach der Probenahme im Gelände ermittelt worden. Neben Wasserproben für hydrochemische Analysen sind auch Proben für isopenhydrologische Analysen gezogen worden. Zur Kenntnis der Inputverhältnisse sind an beiden Versuchsstandorten auch die Tagesniederschläge für isopenhydrologische Laboranalysen beprobt worden. Die ^{18}O -Analysen wurden vom Österreichischen Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Ges.m.H. in Wien durchgeführt.

Die Auswertung der Nitratanalysen hat gezeigt, daß die Nitratgänge teilweise durch starke Schwankungen gekennzeichnet sind, wobei diese Schwankungen nicht immer eindeutigen Ursachen zugeordnet werden können. Unter Zuhilfenahme von Isotopenanalysen - im speziellen ^{18}O -Untersuchungen (^{18}O stellt einen natürlichen Tracer dar) -, soll in der folgenden Arbeit versucht werden, die Ursachen dieser Nitratschwankungen zu klären.

2. Grünlandversuche Gumpenstein

Die Grünlandversuche in Gumpenstein wurden auf mittel- bis tiefgründigen kalkfreien Lockersedimentbraunerden durchgeführt, die Böden sind aufgrund ihres Sand - Schluff - Ton - Verhältnisses als eher leichtere Böden einzustufen. Zum Unterschied des Versuchsstandortes Wagna, wo sich die beiden Probennehrehorizonte in ihrem Bodenaufbau teilweise deutlich unterscheiden, sind die Böden in Gumpenstein über die gesamte Beprobungstiefe durch eine Gleichmäßigkeit des Bodenaufbaues gekennzeichnet.

Im Rahmen der isopenhydrologischen Laboranalysen wurde ausschließlich der Sauerstoff-18 (^{18}O)-Gehalt bestimmt, ein Parameter, der sich sehr gut für hydrologische Interpretationen eignet. Die natürlichen Schwankungen des ^{18}O -Gehaltes der Niederschläge erlauben es, über Isotopenmessungen am Sickerwasser aus unterschiedlichen Beprobungstiefen die Wasserbewegung in der ungesättigten Zone zeitlich zu verfolgen (PAPESCH & RANK, 1995). Auf dem Fließweg in der ungesättigten Zone kommt es je nach Sickergeschwindigkeit zu zeitlichen Verschiebungen von Peaks, weiters zu einer mehr oder weniger großen Dämpfung der Amplitude. Eine ausführliche Darstellung der methodischen Grundlagen dieser Untersuchungen ist dem Bericht der 2. Lysimetertagung 1992 (RANK, 1992) zu entnehmen.

In *Abbildung 1* ist die Ganglinie des ^{18}O -Gehaltes der Tagesniederschläge der Wetterstation Gumpenstein im Vergleich zu zwei Sickerwasserganglinien (0,2 m Tiefe bzw. 0,5 m Tiefe) einer Güllevariante (90 kg N) für die gesamte Versuchsdauer (April 1995 bis Oktober 1997) dargestellt. Zusätzlich sind in dieser *Abbildung* die täglichen Niederschlagsmengen

Autoren: Dr. Peter RAMSPACHER, Joanneum Research, Institut für Hydrogeologie und Geothermie, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ, Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang PAPESCH und Dipl.-Ing. Dr. Dieter RANK, Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal, A-1031 WIEN

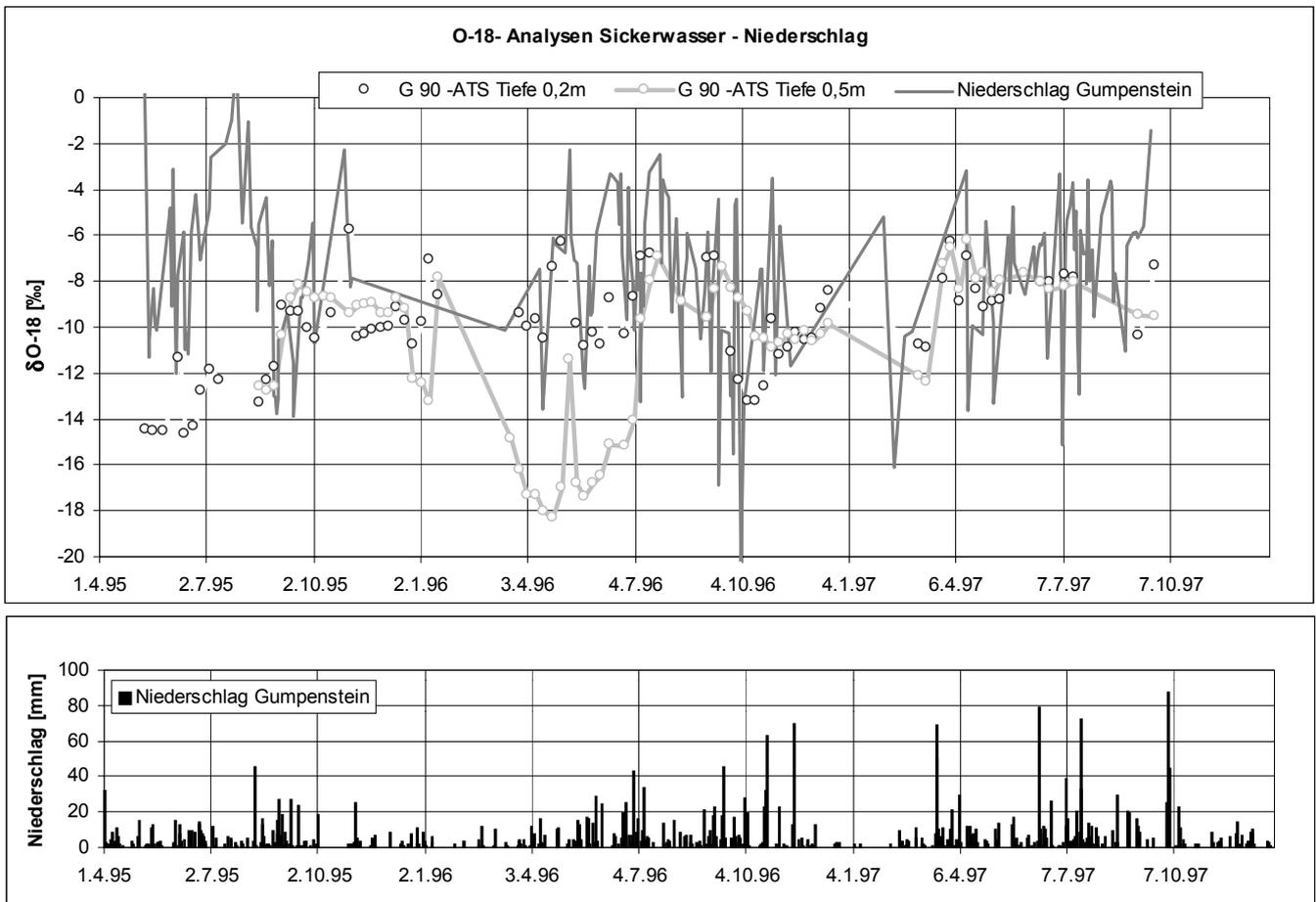


Abbildung 1: ^{18}O -Gehalte von Sickerwässern einer Güllevariante (90kg N) und des Niederschlags sowie tägliche Niederschlagssummen vom Zeitraum April 1995 bis Oktober 1997

für den selben Zeitraum aufgetragen. Der Jahresgang des ^{18}O -Gehaltes der Niederschläge ist im allgemeinen durch ein Sommermaximum und ein Winterminimum gekennzeichnet. Mit Ausnahme des Sommers 1997 ist ein Maximum im Sommer deutlich ausgebildet, durch das Ausbleiben ergiebiger Winterniederschläge ist das Winterminimum anscheinend lediglich in schwach ausgeprägter Form erkennbar. Wie aus dieser *Abbildung 1* noch zu entnehmen ist, zeichnet sich die ^{18}O -Ganglinie der Niederschläge durch ein extrem starkes Schwanungsverhalten aus, bedingt durch den jeweiligen klimatischen Zustand während des Niederschlagsereignisses. Im Vergleich dazu weisen die ^{18}O -Ganglinien der Sickerwässer deutlich ausgeglichene Verläufe auf, wobei die Dämpfung von der Verweildauer der Wässer im Untergrund abhängt.

Aus der zeitlichen Verschiebung der Isotopenganglinie von Sickerwasser und Niederschlag kann auf die Verweildauer der Wässer im Untergrund geschlossen

werden. Wie aus *Abbildung 1* ersichtlich ist, geht die Ganglinie der Sickerwässer des oberen Beprobungshorizontes zeitweise konform mit der Niederschlagsganglinie - ein Zeichen dafür, daß zu diesen Zeiten der Niederschlag ohne Verzögerung infiltriert. Dies ist vor allem während intensiver Niederschlagsereignisse wie etwa im Mai 1996 bzw. im Herbst 1996 deutlich zu beobachten. Die Ganglinie der Wässer aus dem tieferen Horizont weist zumeist eine größere Dämpfung sowie einen verzögerten Verlauf auf.

Da im Rahmen dieses Projektes lediglich die oberste Bodenzone untersucht wurde, ist der Vertikalunterschied zwischen den beiden beprobten Horizonten relativ gering. Dies kann vor allem bei raschen Infiltrationsvorgängen dazu führen, daß sich die beiden Beprobungstiefen in ihren Werten nur unmerklich unterscheiden.

In den folgenden *Abbildungen* ausgewählter Versuche sowohl von Gumpenstein als auch von Wagna wird anhand des Vergleiches der Nitrat- mit den dazugehörigen ^{18}O -Ganglinien versucht,

das Schwankungsverhalten zu klären bzw. die Ursachen eines bestimmten Verlaufes herauszufinden.

Wie aus *Abbildung 2* (Güllevariante, 90 kg N) zu entnehmen, ist das zeitige Frühjahr in beiden Tiefen durch einen steilen Anstieg der Nitratwerte infolge der beginnenden Frühjahrsmineralisation gekennzeichnet.

Durch die Erwärmung des Bodens werden die für die Mineralisierung verantwortlichen Mikroorganismen wieder aktiv (LEIS, 1998) und führen zu einer verstärkten Mineralisierung von Rückständen im Boden. Infolge der wesentlich höheren Nitrifikationsrate sind die Konzentrationsanstiege im Oberboden deutlich höher als in den tieferen Bodenschichten. Daß dieser Anstieg nicht auf die erste Güllegabe der Frühjahrsdüngung zurückzuführen ist, beweist die Tatsache, daß die Aufbringung der Gülle erst zu einem Zeitpunkt erfolgte, zu dem das Konzentrationsmaximum beinahe erreicht war. Die Nitratkonzentration im tieferen Horizont steigt mit Jahresbeginn

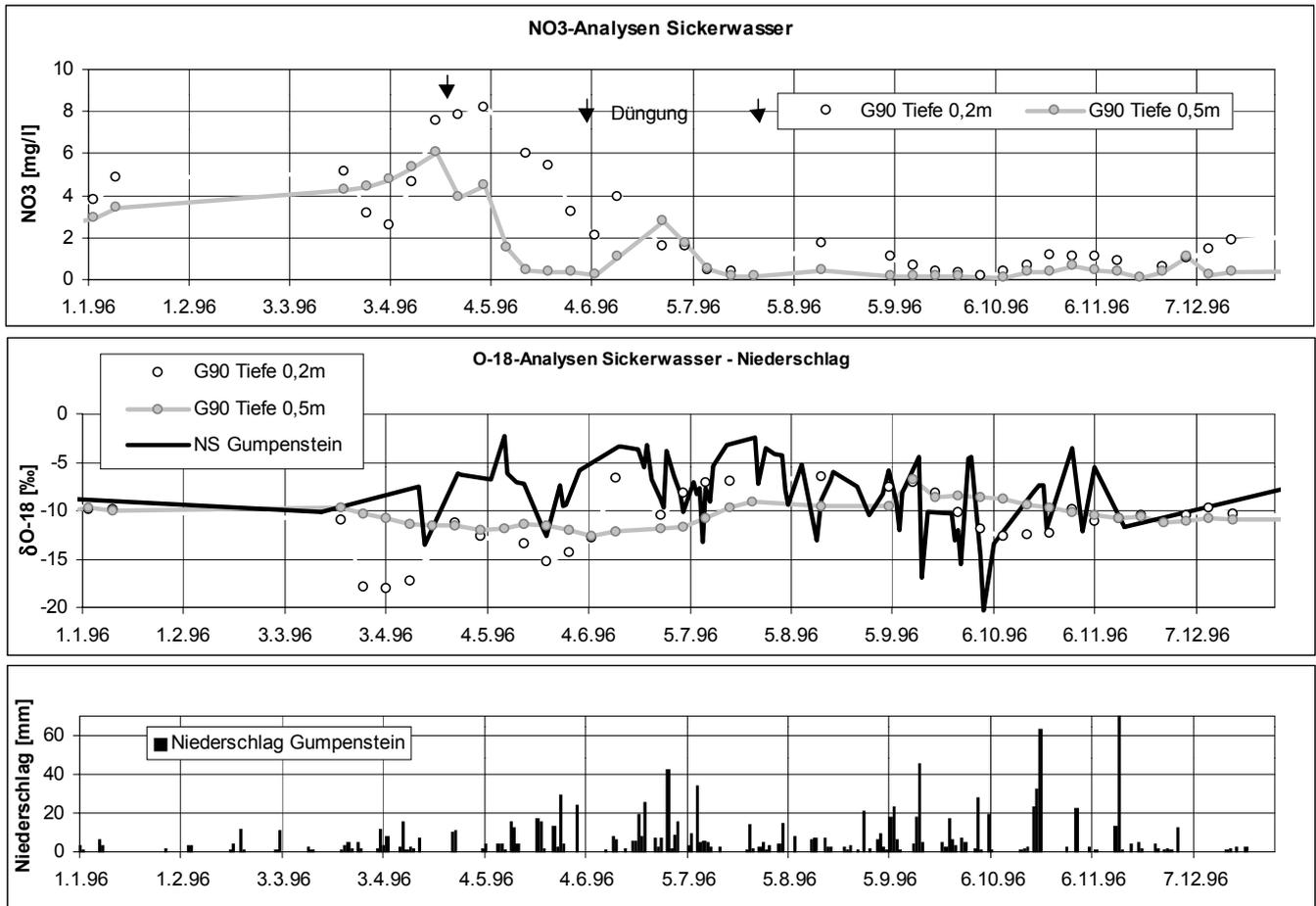


Abbildung 2: Nitratkonzentrationen und ¹⁸O-Gehalte von Sickerwässern einer Güllevariante (90 kg N) und des Niederschlags sowie tägliche Niederschlagssummen vom Zeitraum Jänner 1996 bis Dezember 1996

kontinuierlich an, ein verstärkter Mineralisationsschub setzt etwa Mitte März bis Mitte April ein. Der Konzentrationsanstieg im oberen Horizont ist hingegen durch einen markanten Konzentrationsabfall in der zweiten Märzhälfte gekennzeichnet. Unter Zuhilfenahme der ¹⁸O-Gehalte der Sickerwässer des oberen Horizontes läßt sich dieser Konzentrationsabfall schlüssig erklären. Die ¹⁸O-Ganglinie weist nämlich einen nahezu identen Verlauf auf wie die Nitratganglinie. Der markante Konzentrationsabfall in der ¹⁸O-Ganglinie ist auf den einsetzenden Schneeschmelzabfluß zurückzuführen. Das Absinken der Nitratganglinie dürfte daher einen Verdünnungseffekt durch verstärkte Infiltration darstellen. Im unteren Horizont wirkt sich die Schneeschmelze nur ansatzweise aus, wie dem gleichmäßigen Verlauf der ¹⁸O-Ganglinie zu entnehmen ist. Im Anschluß an die Schneeschmelze kann man sehen, daß die ¹⁸O-Gehalte des oberen Horizontes mit der dementsprechenden Dämpfung den Inputschwankungen fol-

gen. Der untere Horizont reagiert mit einer Verzögerung, die sowohl im ¹⁸O-Verlauf als auch im Nitratgang erkennbar ist. Als Folge des Verbrauchs durch die Pflanze weisen beide Nitratganglinien im Herbst relativ geringe Werte auf, sie unterscheiden sich auch kaum in ihrem Schwankungsverhalten. Die ¹⁸O-Ganglinien klaffen hingegen ab Mitte September stark auseinander. Ein Vergleich mit den Niederschlägen zeigt, daß im oberen Horizont rezentes Niederschlagswasser abfließt, jedoch in dieser Zeit nicht bis in den tieferen Horizont vordringt. Erst das ergiebige Niederschlagsereignis Ende Oktober bewirkt eine Tieferverlagerung in den unteren Horizont. Ab diesem Zeitpunkt decken sich die beiden ¹⁸O-Ganglinien nahezu. In *Abbildung 3* sind die Verhältnisse einer hohen Mineraldüngervariante auf Dauergrünland (210 kg N) aus dem ersten Versuchsjahr (1995) dargestellt. Im Sickerwasser-Nitratgang des seichten Beobachtungshorizontes sind auffallende Anstiege nach den Düngungen zu se-

hen. Für diese Erscheinung dürften einerseits die hohen Düngegaben sowie die starken Niederschläge unmittelbar nach der Düngeraufbringung verantwortlich sein. Mit einer deutlichen Zeitverschiebung sind diese Nitratanstiege auch im tieferen Horizont zu sehen. Die ¹⁸O-Analysen liefern bis Ende August keine zusätzlichen Informationen, erst im Herbst lassen unterschiedliche Verläufe und Absolutwerte schlüssige Interpretationen zu. Die intensiven Sommerniederschläge führen neben der Aufnahme durch die Pflanzen ab Septemberbeginn zu einem markanten Absinken der Nitratgehalte im seichten Bodenbereich. Die gesamten Nitratvorräte sind in diesem Horizont aufgebraucht. In der Tiefe von 0,5 m erfolgt dieser Nitrat- abfall erst wesentlich später. Anhand der ¹⁸O-Ganglinie sieht man, daß das Nitrat mit den Sommerniederschlägen erst viel später tiefenverlagert wird. Der ¹⁸O-Peak in der Ganglinie des unteren Horizontes, als Signal der Sommerniederschläge, tritt in diesem Horizont mit einer Verzögerung von nahezu zwei Monaten auf.

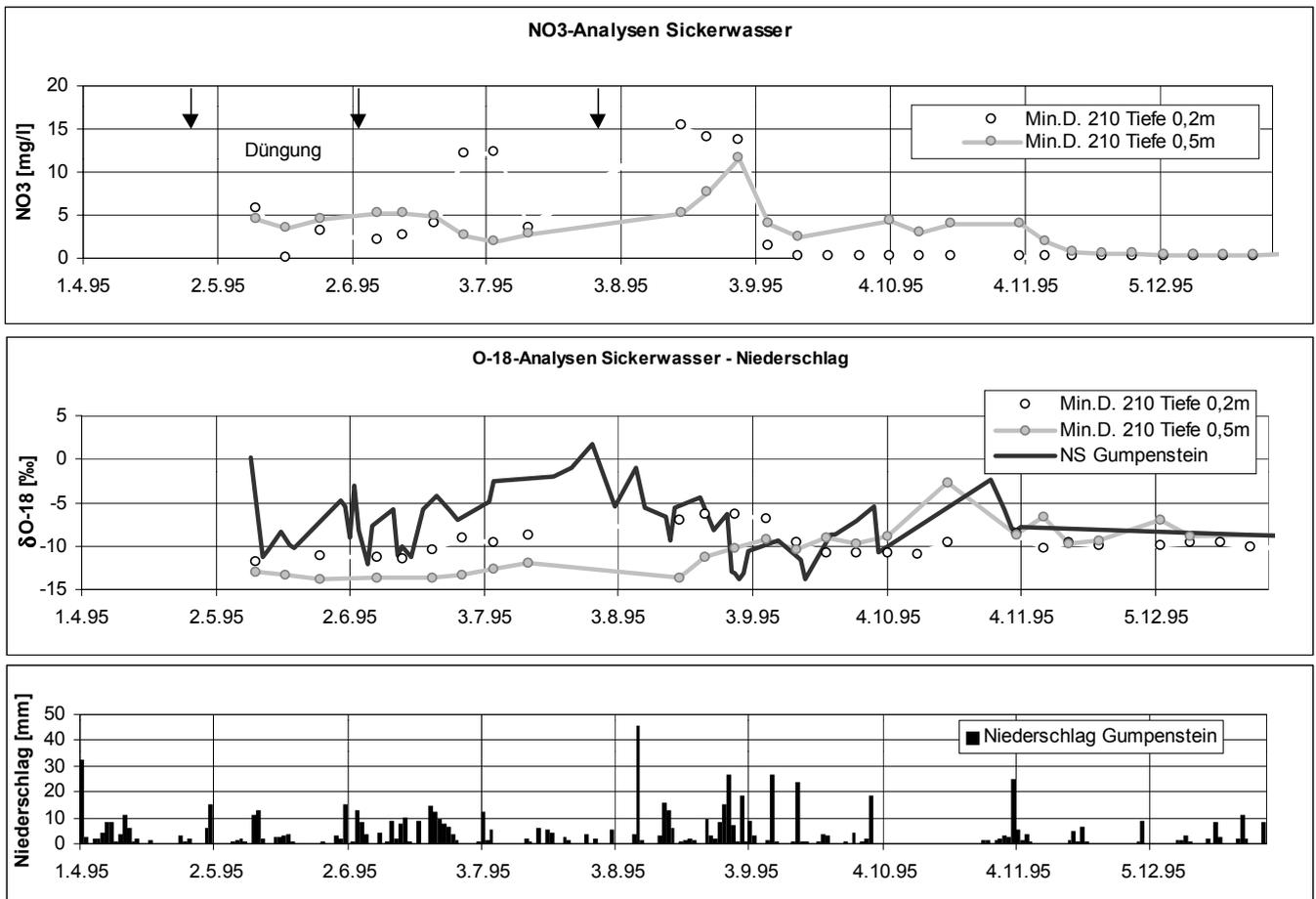


Abbildung 3: Nitratkonzentrationen und ^{18}O -Gehalte von Sickerwässern einer Mineraldüngervariante (210 kg N) und des Niederschlags sowie tägliche Niederschlagssummen vom Zeitraum April 1995 bis Dezember 1995

Das Jahr 1996 derselben Variante (210 kg Mineraldünger) ist in *Abbildung 4* dargestellt. Die Frühjahrsmineralisierung ist anhand der beiden Nitratganglinien deutlich erkennbar. Wie schon erwähnt, setzt die Frühjahrsmineralisierung mit zunehmender Bodenerwärmung ein, gleichzeitig aber auch die Schneeschmelze infolge der Lufttemperaturzunahme. Beide Vorgänge sind zeitgleich ab Mitte März 1996 in *Abbildung 4* beispielhaft zu erkennen. Der Schneeschmelzabfluß im tieferen Horizont setzt erst mit einer Verzögerung von ca. einem halben Monat ein. Durch die ergiebigen Niederschläge in den Monaten April bis Juni scheint der Boden gleichmäßig gesättigt zu sein, die ^{18}O -Ganglinien gehen nahezu konform, mit der dementsprechenden Verzögerung auch die beiden Nitratganglinien. Im Herbst ist wieder deutlich ein verspäteter Nitrataustrag in 0,5 m Tiefe als Folge des verzögerten Sommerniederschlagsabflusses zu sehen.

3. Maisversuch in Wagna

Die Böden in Wagna stellen mittel- bis seichtgründige silikatische Braunerden dar, wobei eine engräumige Schwankung der Gründigkeit charakteristisch ist.

Bezüglich der Wasserverhältnisse können die Böden in Wagna als gut durchlässig mit geringem (mäßigem) Speichervermögen angesehen werden. Der seichtere Probenahmehorizont von 0,4 m befindet sich durchwegs in einer sandigen Lehmschicht mit geringem Kies- und Schotteranteil. Der tiefere Probenahmehorizont stellt im Bereich der Versuchsfelder einen Übergangshorizont zu Grobsand mit sehr hohem Kies- und Schottergehalt dar.

Als Beispiel für den Vergleich des Verlaufes von ^{18}O -Gehalt und Nitratkonzentration unter Mais wurde eine hohe Mineraldüngervariante (210 kg N) des ATS Versuches ausgewählt. In *Abbildung 5* ist der Zeitraum von Anfang Oktober 1995 bis einschließlich September 1996 dargestellt.

Die Winterniederschläge von Dezember 1995 bis Februar 1996 fielen größtenteils in Form von Schnee, die ^{18}O -Gehalte des Niederschlags zeigen die für Winterniederschläge typische Abnahme mit einem deutlich ausgeprägten Minimum Anfang Jänner 1996. Die ^{18}O -Gehalte der Sickerwässer unterscheiden sich von denen der Niederschläge in diesem Zeitraum grundlegend. In beiden Beprobungshorizonten sind die Sickerwässer isotopisch wesentlich schwerer und stellen demnach eindeutig einen verspäteten Abfluß der Sommerniederschläge dar. Durch die über mehrere Monate ausgebildete Schneedecke kommt es zu keiner Infiltration rezenten Wassers. Die Sickerwässer weisen über die Wintermonate äußerst geringe Nitratkonzentrationen auf, die Nitratvorräte im Boden dürften größtenteils aufgebraucht sein. Etwa Mitte Februar 1996 deutet sich in 0,4 m Tiefe durch das Abnehmen der ^{18}O -Gehalte der Beginn der Schneeschmelze an. Anfang April wird die Schneeschmelze durch ergiebige Niederschläge überla-

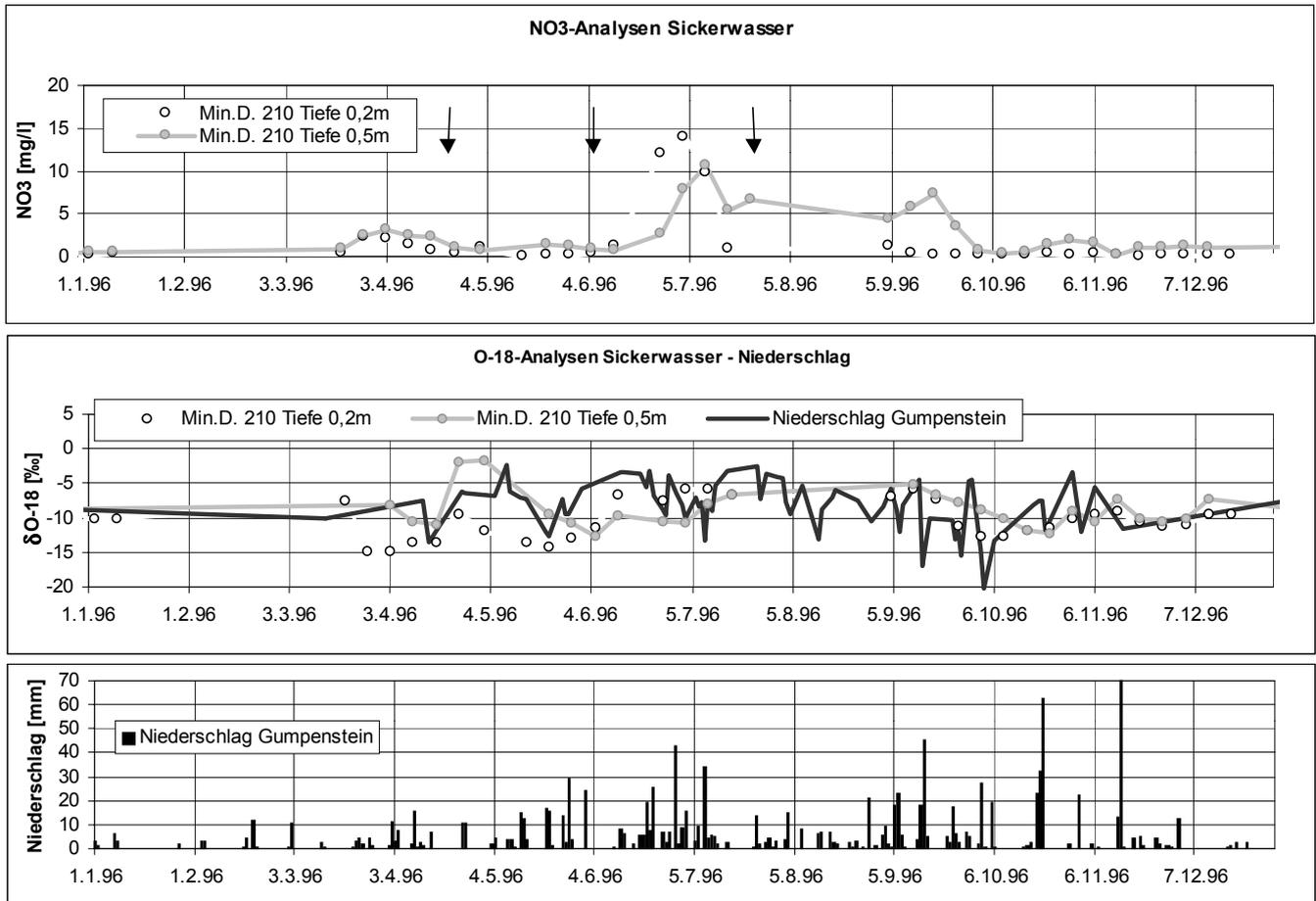


Abbildung 4: Nitratkonzentrationen und ^{18}O -Gehalte von Sickerwässern einer Mineraldüngervariante (210 kg N) und des Niederschlags sowie tägliche Niederschlagssummen vom Zeitraum Jänner 1996 bis Dezember 1996

gert. Diese Niederschläge zeigen in ihrer isotopischen Zusammensetzung nur ein schwaches Signal, sehr wohl aber steigen ab Mitte März die ^{18}O -Gehalte des Sickerwassers deutlich an. Es dürfte sich dabei um einen letzten kräftigen Schub von Sommerniederschlägen aus dem Vorjahr handeln. Ab Mitte April sinken die ^{18}O -Gehalte rasch ab, anscheinend als Folge der Verlagerung größerer Schneeschmelzwassermengen, die durch die vorangegangenen ergiebigen Niederschläge ausgelöst wurden. Bei den nächstfolgenden, ebenfalls ergiebigen Niederschlagsereignissen Mitte Mai sieht man, daß noch immer Reste des Winterwassers abfließen, da die ^{18}O -Gehalte noch relativ gering sind. Ein Einfluß der Düngung, die Ende April in einer einzigen Düngegabe erfolgte, ist im Nitratgang ebenfalls nicht ersichtlich. Infolge des vermehrten Schmelzwasserabflusses kommt es sogar zu einer Verdünnung der Sickerwässer, die sich in einem markanten Konzentrationsabfall dokumentiert. Erst in der letzten Maiwo-

che gibt es Hinweise auf den Abfluß von Niederschlägen die Wochen zuvor gefallen waren, gleichzeitig werden ungenutzte Nitratvorräte aus der Düngung von diesen Niederschlägen ausgeschwemmt. Deutliches Zeichen dafür ist ein markanter Anstieg der Nitratkonzentrationen vor allem im unteren Horizont.

4. Schlußfolgerung

Im Rahmen eines mehrjährigen Düngerversuches an zwei Versuchsstandorten (Dauergrünland in Gumpenstein, Maismonokultur in Wagna) wurden Sickerwasserproben mittels Saugkerzen aus unterschiedlichen Tiefen entnommen und hydrochemischer bzw. isotopehydrologischer Laboranalysen unterzogen. Schwerpunkt der gegenständlichen Auswertung stellte ein Vergleich der Nitratjahresgänge zweier unterschiedlicher Beprobungshorizonte mit den jahreszeitlichen Verläufen der ^{18}O -Gehalte der dementsprechenden Sickerwässer sowie des Niederschlages dar. Das Umweltisotop Sauerstoff 18 fungiert als idealer

natürlicher Tracer und kann daher zur Untersuchung der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone eingesetzt werden. Besonders gut lassen sich Sickerfronten infolge bestimmter meteorologischer Ereignisse wie etwa der Schneeschmelze oder Starkregen verfolgen, wenn sich der infiltrierende Niederschlag in seinem Isotopenverhältnis deutlich von dem im Bodenwasser vorherrschenden Isotopenverhältnis unterscheidet. So konnten aufgrund der ^{18}O -Analysen an beiden Versuchsstandorten (Gumpenstein und Wagna) deutliche Zeitverschiebungen im Sickerwasserabfluß in Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen detektiert werden, als auch deutliche Verzögerungen zwischen den beiden Beobachtungshorizonten, obwohl zwischen diesen lediglich ein geringer vertikaler Abstand von nur wenigen dm vorlag. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß erst durch die Kombination von Isotopenuntersuchungen und Nitratanalysen im Sickerwasser eine Trennung zwischen Umsetzungs- und Transportprozessen möglich ist.

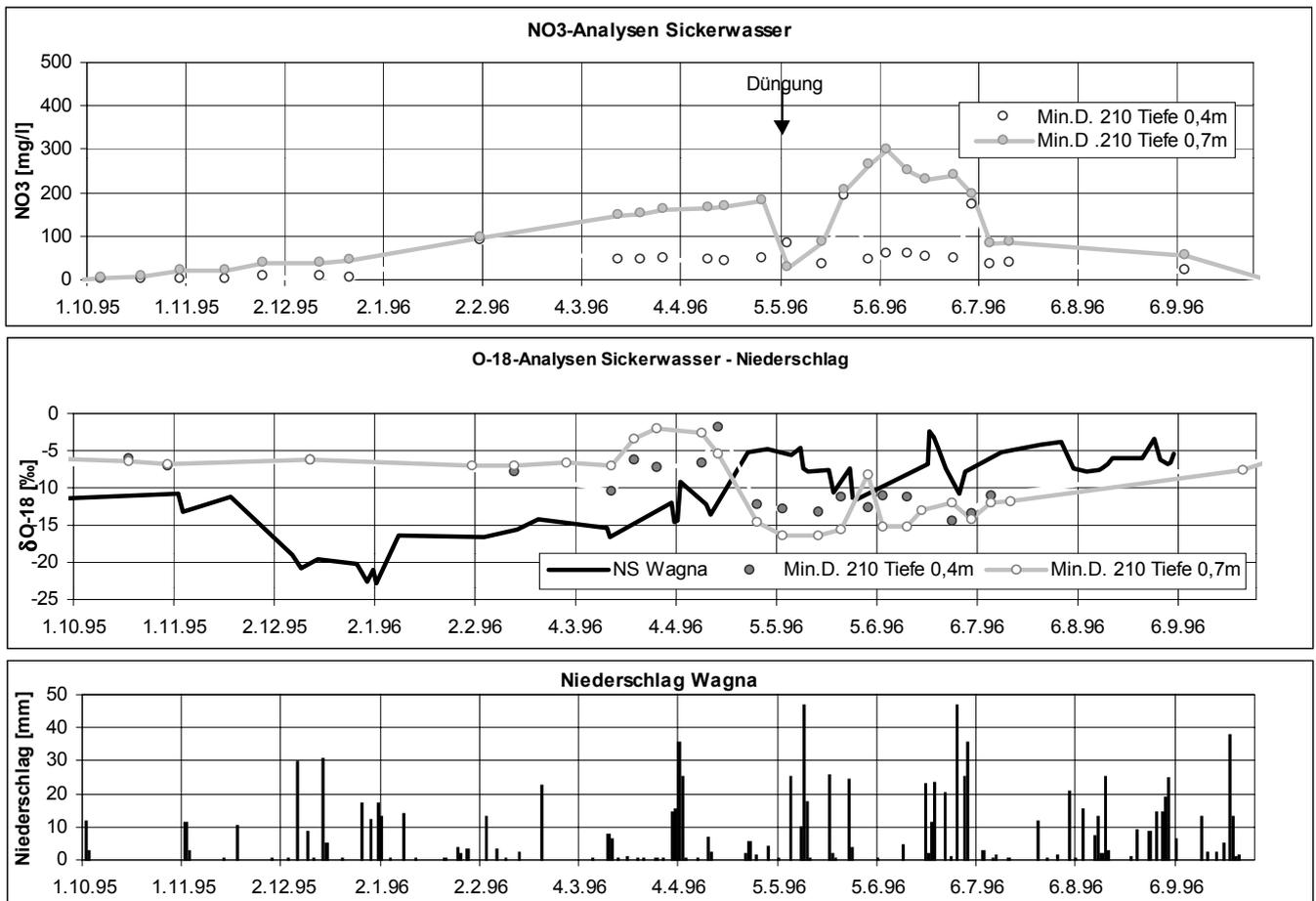


Abbildung 5: Nitratkonzentrationen und ¹⁸O-Gehalte von Sickerwässern einer Mineraldüngervariante (210 kg N) und des Niederschlags sowie tägliche Niederschlagssummen vom Zeitraum Oktober 1995 bis September 1996

5. Literatur

LEIS, A., 1998: Mikrobiologische und chemische Untersuchungen in der ungesättigten Zone von sechs verschiedenen Bodenstandorten des Leibnitzer Feldes. In: Modelle für die gesättigte und ungesättigte Bodenzone, Schriftenreihe des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Band 7, Wien.

RANK, D., 1992: Isotopenuntersuchungen in der ungesättigten Bodenzone. Bericht über die 2. Gumpensteiner Lysimetertagung, 39-44, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irdning.

PAPESCH, W. und D. RANK, 1995: Isotopen-

untersuchungen zur Erfassung der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone (Lysimeteranlage Wagner). Bericht über die 5. Lysimetertagung "Stofftransport und Stoffbilanz in der ungesättigten Zone", 131-133, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irdning.