

# Die Bedeutung der korrekten Nachbildung der oberen und unteren Randbedingung für die Interpretation von Präzisions-Feldlysimeterdaten

Johann Fank<sup>1\*</sup>

## Zusammenfassung

Im Jahre 2004 bzw. 2006 wurden am Versuchsfeld Wagna (Steiermark, Österreich) drei monolithische Präzisions-Feldlysimeter eingebaut, in denen die Parameter des Wasserkreislaufs unter realen Bewirtschaftungsbedingungen genau erfasst werden können. Werden Präzisionslysimeter in das Versuchsfeld integriert und können diese ortsüblich bewirtschaftet werden, können Oaseneffekte de facto ausgeschlossen werden. Das Auftreten von präferentiellen Fließwegen an der Lysimeterwandung kann durch Doppel-Tracerversuche erkundet werden.

Die Ausbildung von geschlossenen Schneedecken über dem Lysimeter führt zu nicht erkläraren Auswirkungen auf die Wiegedaten des Lysimeters. Eine mechanische Entkopplung des Lysimeters von seiner Umgebung ist zwingend notwendig, automatisierte Systeme würden zu einer deutlich besseren Lösung des Problems führen.

Das Überlaufwasser vom Lysimeter bei Überschreiten der Infiltrationskapazität liegt in Wagna in der Größenordnung von etwa 1 % des Niederschlags. Bei Böden mit geringerer Infiltrationskapazität dürfte dieser Anteil wesentlich höher sein, sodass eine detaillierte Messung zu empfehlen ist.

Eine fehlende oder nicht korrekte Nachbildung der Druckverhältnisse am unteren Lysimeterrand und deren Dynamik zeigt Auswirkungen auf den Lysimeterabfluss, die zeitlich nachhaltig sind. Hier sind noch Untersuchungen notwendig, um die erfassten Auswirkungen in der Wasserbilanz erklären zu können.

*Schlagwörter:* Präzisions-Feldlysimeter, Obere Randbedingung, Untere Randbedingung

## Summary

Three monolithic, precise weighing field lysimeters had been implemented at the agricultural test field in Wagna (Styria, Austria) in 2004, and 2006 respectively. Accurate data to solve the water balance equation at different time steps can be gathered at normal agricultural management conditions. Oasis-effects can be excluded due to the implementation in the test field itself. Preferential flow paths at the lysimeter wall have been excluded using double tracer experiments.

The progression of a snow cover at the lysimeter surface in direct connection with the snow cover in the surroundings leads to unexpected and unexplainable data for the measured mass of the lysimeter. A mechanical isolation of the lysimeter core is indispensable; an automated system would be more effective.

The water flowing from the lysimeters surface in Wagna, appearing if the infiltration capacity of the soil is exceeded, can be quantified to about 1 % of precipitation in a long term scale. At soil monoliths with lower infiltration capacity this part is assumed to be larger. A detailed measurement of the lysimeter overflow is recommended.

A missing system to realize natural conditions and dynamics at the lower boundary condition of a lysimeter influences the Lysimeter outflow.

*Keywords:* precise weighing field lysimeters, upper boundary condition, lower boundary condition

## Einleitung

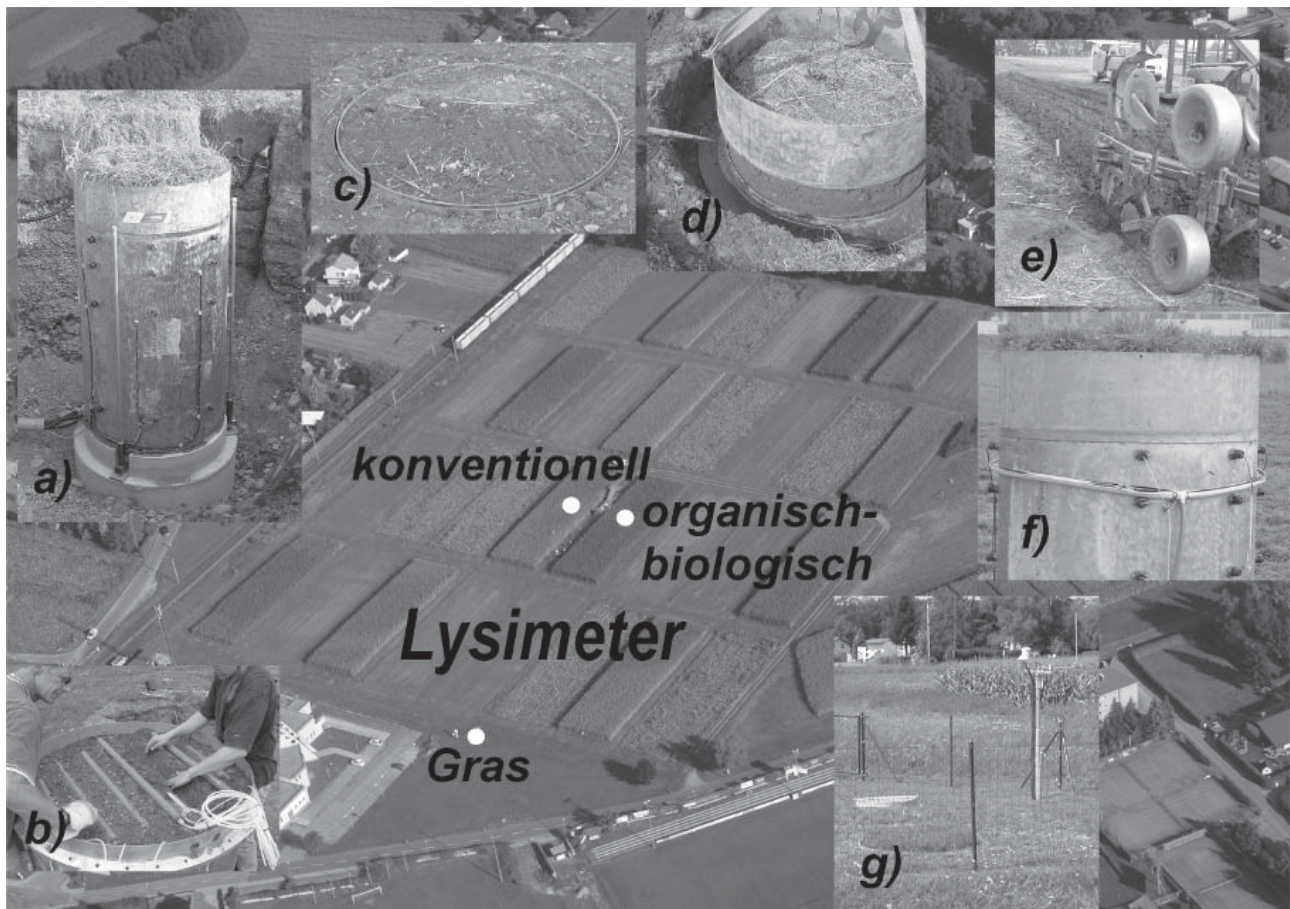
Basierend auf den Entwicklungen der Lysimetertechnik in den letzten Jahren (siehe beispielsweise FANK 2009b) – dabei ist vor allem die heutige Verfügbarkeit leistbarer hoch präziser wägbarer Lysimeter hervorzuheben – verfügen wir heute über punktuell exakt erfasste Daten zur Wasserbilanz und zum Stofftransport in abgegrenzten Bodenmonolithen. Wie MEISSNER et al. (2007) zeigten, können mit hochpräzisen wägbaren Schwerkraftlysimetern neben den Standard-Lysimeterauswertungen sehr genaue Messungen von Tau-, Nebel- und Reifniederschlag durchgeführt werden. Moderne Lysimeter sind ein ausgezeichnetes Werkzeug zur

Validierung von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen (WRIEDT 2004), die meist anhand von Laborexperimenten entwickelt und auf der Feldskala angewandt werden. Monolithische Feldlysimeter decken heute einen Bereich der wissenschaftlichen und angewandten Forschung ab, der zwischen der Laborskala und der Feldskala liegt. Sie kombinieren die Vorteile von wahren Feldbedingungen mit den Möglichkeiten zur Variation von Parametern, dem Betrieb und der Wartung von Laborgeräten.

Sowohl die Bedeutung des Wasserqualitäts- und Nährstoffmanagements als auch die Notwendigkeit eines besseren Verständnisses von Wasserfluss und des Transportes von

<sup>1</sup> Joanneum Research, Resources - Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit - Wasser Ressourcen Management, Elisabethstraße 16/II, A-8010 GRAZ

\* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Johann Fank, [johann.fank@joanneum.at](mailto:johann.fank@joanneum.at)



**Abbildung 1:** Das ackerbauliche Versuchsfeld Wagna mit der Lage der drei monolithischen Präzisions-Feldlysimeter unter unterschiedlichen Nutzungen (konventionell, organisch-biologisch, Gras); a) Lysimetermonolith mit Messsensoren und bodenhydrologisches Messprofil; b) Saugkerzenrechen zur Realisierung der unteren Randbedingung; c) Lysimereinbau direkt im Feld; d) abnehmbarer Bewirtschaftungsring; e) ortsübliche maschinelle Bewirtschaftung des Lysimeters; f) Einrichtung zur Erfassung des Überlaufwassers des Lysimeters; g) Gras – Referenzlysimeter mit meteorologischer Station

chemischen Inhaltsstoffen durch die ungesättigte Zone ist im Steigen begriffen. Deshalb sind Beobachtungssysteme und Messtechniken, die den Wasserfluss aus ungestörten Bodenprofilen erfassen können von besonderer Bedeutung für die Erarbeitung von Nährstoffbilanzen und die Bewertung von unterschiedlichen Landnutzungspraktiken für die Wasserqualität (MASARIK et al. 2004).

Zur Quantifizierung des Stofftransportes in der ungesättigten Zone sind genaue Daten über die Bodenwasserbilanz erforderlich. Große ( $\geq 1 \text{ m}^2$  Oberfläche) wägbare Lysimeter sind heute die beste Methode zur Erfassung glaubwürdiger Daten über Sickerwassermenge und -qualität. Allerdings sind für die Installation derartiger Lysimeter nicht unerhebliche Investitionen und zusätzliche Kosten für die Wartung notwendig (MEISSNER et al. 2007).

Trotz der technischen Entwicklung der letzten Jahre werden Lysimetermessungen auch heute noch verschiedene Nachteile und Mängel zugeordnet, wie beispielsweise der schon lange diskutierte Oaseneffekt, bevorzugte Fließwege entlang der Innenwand des Lysimeterzylinders aufgrund eines unzureichenden Anschlusses des Bodens an der Lysimeterwand oder der Einfluss der unteren Randbedingung auf die Fließmengen aus dem Lysimeter.

Ausgehend von den am Versuchsfeld in Wagna (Steiermark, Österreich) installierten Präzisions-Feldlysimetern wird in dieser Arbeit die Bedeutung einer möglichst exakten Realisierung von natürlichen Randbedingungen in Präzisionslysimetern für die Interpretation von Boden-Pflanze-Atmosphäre Wechselwirkungen diskutiert. Dabei werden mögliche Fehlerquellen für die Erstellung der Wasserbilanz durch die Begrenzung des Lysimeters gegenüber der Atmosphäre und in Richtung Grundwasser besonders hervorgehoben.

## Material und Methoden

Bereits seit 1986 werden am Versuchsfeld Wagna (Abbildung 1) ackerbauliche Versuche durchgeführt, die unter genau bekannten Bedingungen die Auswirkung von landwirtschaftlichen Maßnahmen auf die Grundwassersituation untersuchen. Die 32 Versuchspartellen mit einer Größe von je etwa  $1000 \text{ m}^2$  werden in 8 Varianten ortsüblich maschinell bewirtschaftet.

Basierend auf den Erfordernissen für die Errichtung von Messeinrichtungen für die ungesättigte Zone (FANK et al. 2004) wurden am Versuchsfeld im Jahre 2004 zwei monolithische wägbare Präzisions-Feldlysimeter (FANK und v.

UNOLD 2005) eingebaut. Im Jahr 2006 wurde im Grünlandbereich ein weiteres monolithisches Präzisionslysimeter realisiert. Die Lysimeter entsprechen einem modularen Design (FANK und v. UNOLD 2007), in dem spezifische Notwendigkeiten schon im Aufbau der Messsysteme Berücksichtigung finden (v. UNOLD und FANK 2008).

Am Versuchsfeld Wagna wurden monolithisch gestochene wägbare Lysimeter (*Abbildung 1a*) in das Versuchsfeld direkt eingebaut (*Abbildung 1c*) um Oaseneffekte möglichst zu vermeiden. Um Messfehler aufgrund unterschiedlicher Bodenbearbeitungsart zu minimieren, wurden die Lysimeter mit einem abnehmbaren Bewirtschaftungsring ausgestattet (*Abbildung 1d*) wodurch die Bearbeitung mit ortsüblichen Geräten auf gewohnte Weise durchgeführt werden kann (*Abbildung 1e*). Aufgrund des nur etwa 0,5 cm breiten Ringspalts (*Abbildung 1c*) zwischen dem Lysimeterkörper und dem äußeren Lysimeterzylinder können atmosphärische Einflüsse auf die Bodentemperatur in den Lysimetern weitgehend vermieden werden. Üblicherweise verwendete Filterkörper an der Unterseite des Lysimeters verfälschen den natürlichen Wasserfluss in der ungesättigten Zone. Zur Vermeidung dieser Unsicherheiten wurde die Lysimeterunterseite in Form eines Saugkerzenrechs (*Abbildung 1b*) ausgebildet. An diese Saugkerzen wird der in einem ungestörten Bodenprofil gemessene Druck in seinem zeitlich variablen Verlauf als Saugspannung angelegt.

Die beiden im Versuchsfeld angelegten Lysimeter weisen bei einer Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> eine Tiefe von 2 m auf. Die Unterkante des Lysimeters liegt damit bei den am Versuchsfeld Wagna herrschenden Verhältnissen deutlich unterhalb der hydraulischen Wasserscheide. Dadurch ist gewährleistet, dass an dieser nur noch vertikale Flüsse in Richtung Grundwasser auftreten. Die Sickerwassermenge wird mit einer Wippe (Auflösung 0,1 mm) als 10-Minutensumme erfasst. Das Lysimeter im Grünlandbereich am Rande des Versuchsfeldes (*Abbildung 1g*) weist eine Tiefe von 1 m auf. Um die hier möglicherweise auch vertikal nach oben gerichteten Flüsse abbilden zu können wird die Steuerung des angelegten Unterdruckes mittels einer bidirektionalen Vakuumpumpe durchgeführt, die bei höheren Saugspannungen im Lysimeter (im Vergleich zum Freiland) auch Wasser in das Lysimeter zurück fördern kann. Die Laufzeit der Pumpen wird in s min<sup>-1</sup> differenziert nach Förderrichtung registriert. Die Sickerwassermenge wird durch Wiegen in einer zeitlichen Auflösung von 1 Minute gemessen. An allen drei Lysimetern wird das Gewicht der Monolithen in einer zeitlichen Auflösung von 1 Minute erfasst. Die Genauigkeit der Wiegedaten der beiden Lysimeter im Versuchsfeld liegt bei 0,035 kg, die des Grünlandlysimeters bei 0,01 kg. Die Wiegezellen sind am unteren Ende der Lysimeter im Boden montiert.

An der meteorologischen Station im Bereich des Gras – Lysimeters werden alle Parameter, die zur Berechnung der FAO – Penman-Monteith Gras-Referenzverdunstung erforderlich sind (Lufttemperatur, rel. Feuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung), im 10-Minuten Intervall in einer Messhöhe von 2 m über Gelände gemessen. Niederschlagsdaten stehen aus der Messstation der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), situiert am Versuchsfeld, in einer zeitlichen Auflösung von 1 Minute zur Verfügung.

Im Zuge eines für die Wartung erforderlichen Ausbaus des Lysimeters unter organisch-biologischer Nutzung wurde eine Einrichtung zur Erfassung des Oberflächenabflusses vom Lysimeter (*Abbildung 1f*) eingebaut. Der Abfluss wird dabei mittels einer Wippe in einer Auflösung von 0,1 mm als 10-Minutensumme erfasst.

Die Bewertung der Auswirkung einer geschlossenen Schneedecke über dem Lysimeter auf die Wiegedaten des Lysimeters erfolgt durch den Vergleich der gemessenen Wiegedaten mit den aus der Wasserbilanz abgeleiteten Gewichtsänderungen. Bei einer Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> lässt sich außerhalb der Vegetationszeit ausgehend von einem bekannten Ausgangsgewicht die Gewichtsänderung innerhalb eines Zeitschrittes nach der Formel  $LMc_i = LMc_{i-1} + P_i - SW_i - ET_{0i}$  berechnen, wobei  $LMc$  = berechnetes Gewicht (kg = mm),  $i$  = Zeitschritt (10 Minuten),  $P$  = Niederschlag (mm),  $SW$  = Sickerwasser (mm),  $ET_0$  = Gras-Referenzverdunstung (mm).

Die Bewertung der Bedeutung des Oberflächenabflusses der Lysimeter in Wagna erfolgt aufgrund der Messdaten aus dem Oberflächenabflussmesssystem (*Abbildung 1f*) im Zeitraum 01.04.2007 bis 31.01.2011.

Die Bedeutung der korrekten Anpassung der im Freiland herrschenden Saugspannung an der Lysimeterunterseite für den Sickerwasserfluss wird durch einen experimentell durchgeführten Ausfall der Unterdrucksteuerung im Oktober 2010 an einem der beiden Lysimeter im Versuchsfeld und die darauf folgende Reaktion des Sickerwasserflusses im Vergleich zum zweiten Lysimeter dargestellt.

## Ergebnisse

Durch den Einbau der Lysimeter direkt im Feld und der gleichartigen Bewirtschaftung wie die zugehörige Parzelle mit einer Größe von 1.000 m<sup>2</sup> sind Oaseneffekte de facto auszuschließen. Sowohl der optische Vergleich aus der Videoüberwachung der Lysimeter als auch der Vergleich der Ertragsdaten am Lysimeter mit dem Umland zeigen keinerlei Hinweise auf eventuelle Oaseneffekte an den Lysimetern.

Die Frage allenfalls vorhandener präferentieller Fließwege an der Innenwandung der Lysimeter wurde durch Doppel-Tracer-Markierungsversuche untersucht. Die Auswertung der Experimente mittels Bromid und Deuterium zeigten keine signifikanten Unterschiede des Transportverhaltens im Zentrum der Lysimeter im Vergleich zu den Randzonen (FANK 2009a).

Schwerpunkt der Auswertung in dieser Arbeit sind im Folgenden die Bewertung unterschiedlicher Effekte an der Schnittstelle Atmosphäre – Lysimeter und an der unteren Lysimeterandbedingung hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Wasser- und damit Stoffbilanz von Lysimetern.

## Obere Randbedingung

Ein spezifisches Problem für die Auswertung von Wiegedaten von Präzisionslysimetern stellt die Ausbildung von geschlossenen Schneedecken über dem Lysimeter dar. Bereits kurze Zeit nach Ausbildung einer geschlossenen Schneedecke zeigen sich Auswirkungen auf die Ganglinie

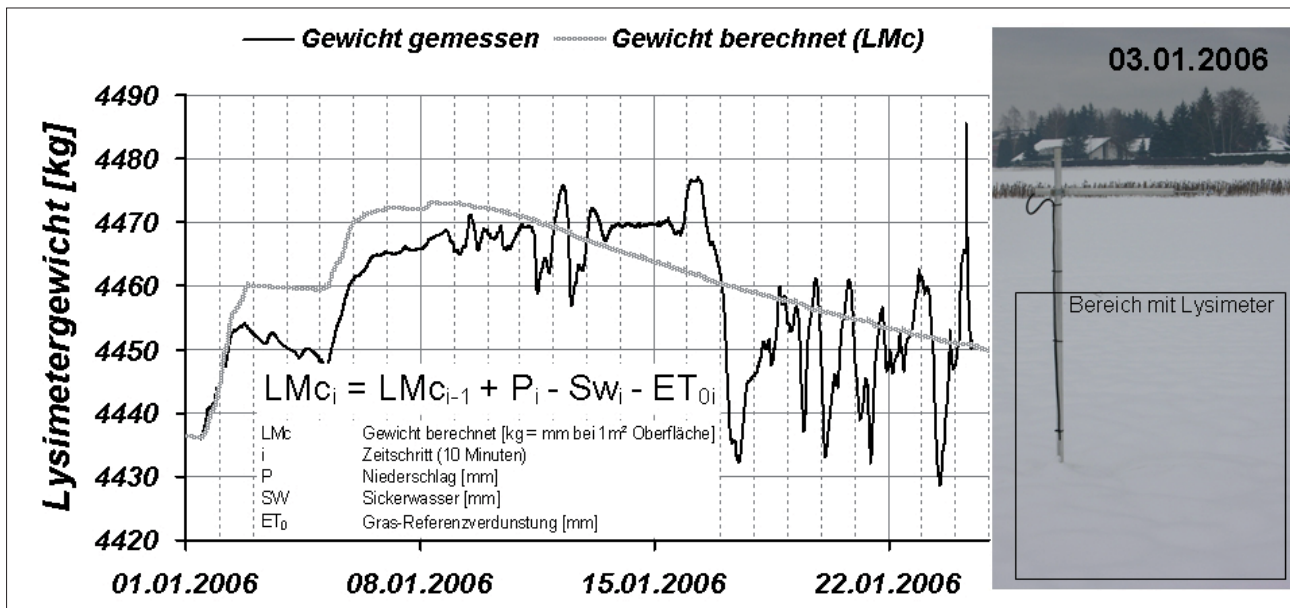


Abbildung 2: Geschlossene Schneedecke über dem Lysimeter nach einem Schneefallereignis von etwa 35 mm – Auswirkung auf das gemessene Lysimetergewicht

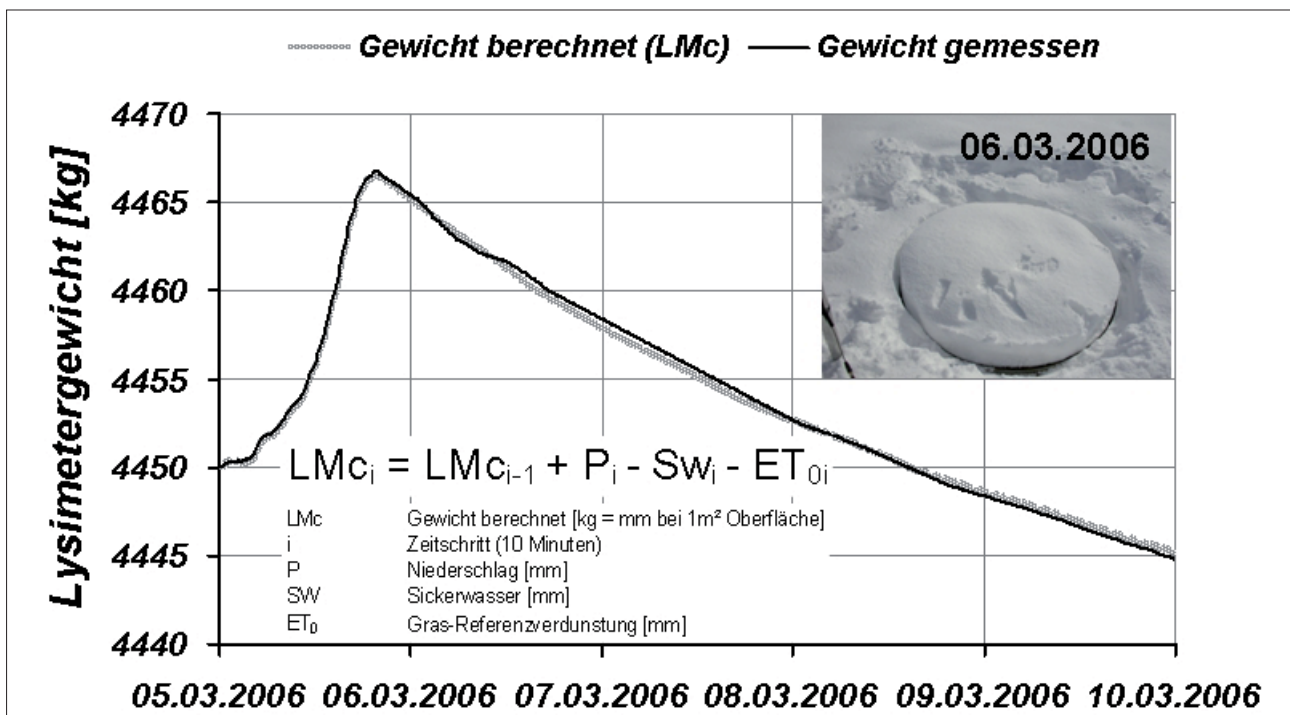


Abbildung 3: Schneedecke über dem Lysimeter nach einem Schneefallereignis von etwa 17 mm mechanisch ausgestochen – Auswirkung auf das gemessene Lysimetergewicht

des Lysimetergewichtes. In *Abbildung 2* ist die gemessene Gewichtsganglinie eines Lysimeters nach einem Schneefallereignis zwischen 01.01.2006 und 08.01.2006 und der Ausbildung einer geschlossenen Schneedecke dargestellt. Bereits ab dem 02.01.2006 und verstärkt ab dem 12.01.2006 zeigen sich unerklärliche starke Schwankungen, die nicht auf natürliche Ereignisse zurückgeführt werden können. Die maximalen Tagesschwankungen erreichen nahezu 40 kg. Vergleichend dazu wurde die zu erwartende Gewichtskurve

aus den Wasserbilanzdaten (Niederschlag, Sickerwasser und Verdunstung) ausgehend vom Ausgangsgewicht am 01.01.2006 berechnet und dargestellt.

Nach einem Schneefallereignis von etwa 17 mm am 05.03.2006 und der Ausbildung einer geschlossenen Schneedecke wurde diese mechanisch am Lysimeterabstand abgestochen, um den Lysimeter von seiner Umgebung vollständig zu entkoppeln. In *Abbildung 3* sind wieder die gemessene Gewichtsganglinie und die aus der Wasserbilanz

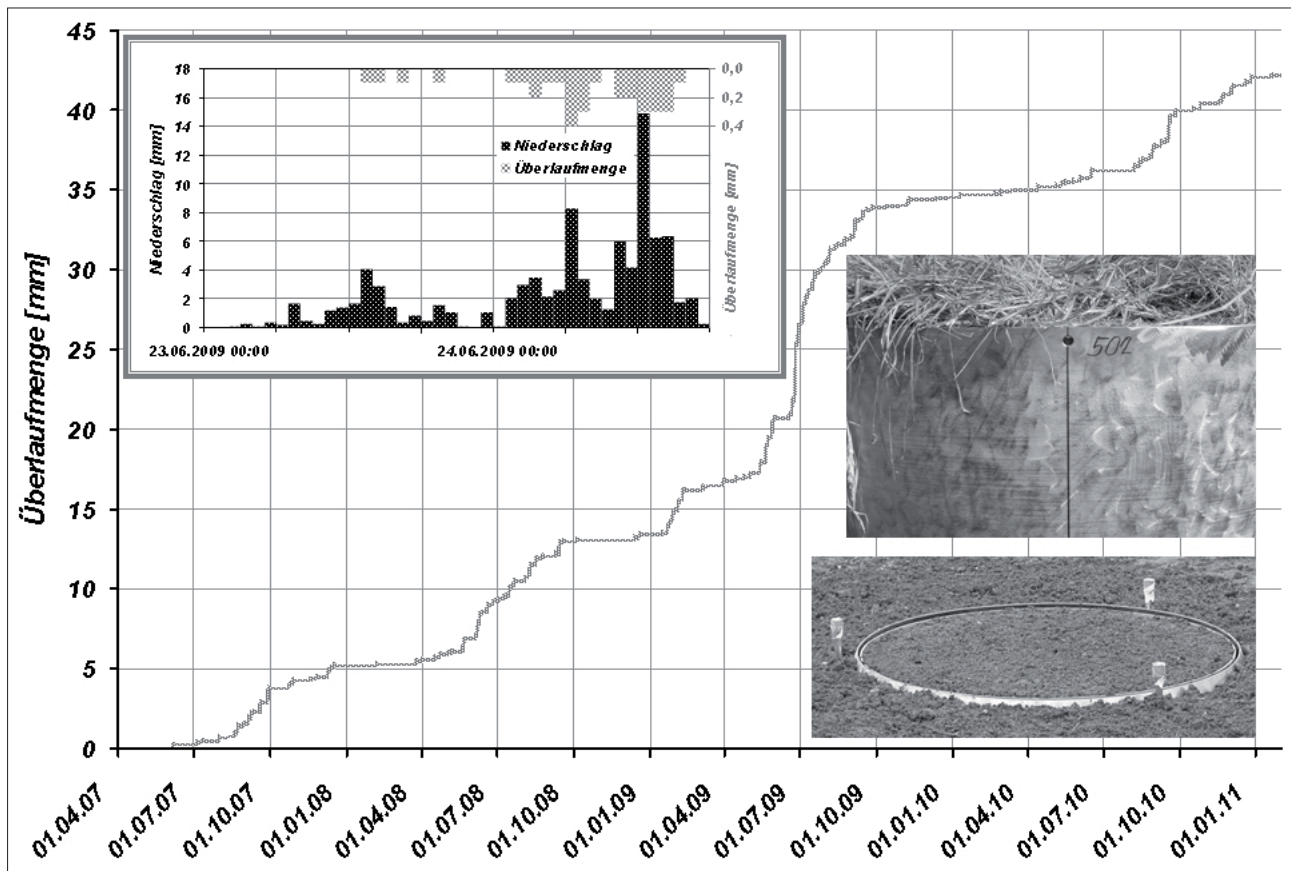


Abbildung 4: Summenlinie des Oberflächenabflusses (Überlaufmenge) des organisch-biologisch bewirtschafteten Lysimeters im Versuchszeitraum und ereignisbezogen

berechnete Gewichtsganglinie vergleichend dargestellt. Wie zu erkennen, liegen beide Zeitreihen nahezu deckungsgleich übereinander, die gemessene Gewichtsganglinie repräsentiert die Wechselwirkung zwischen dem Lysimeterkörper und der Atmosphäre.

Die Störungen der Wiegegangelinie in *Abbildung 2* müssen auf die fehlende Entkopplung des Lysimeters von seiner Umgebung zurückgeführt werden.

In *Abbildung 4* ist die Summenlinie des Oberflächenabflusses eines Lysimeters im Versuchszeitraum 01.04.2007 bis 01.02.2011 dargestellt. Daran gekoppelt ist die Darstellung der Relation zwischen Niederschlag und Überlaufmenge in Form von Stundensummen im Zuge eines Ereignisses am 23. und 24. Juni 2009. Wie das Foto in *Abbildung 4* zeigt, sind die Lysimeter des Versuchsfeldes Wagna nach der Bewirtschaftung bis zum oberen Rand mit Bodenmaterial befüllt. Im Zuge der Setzungen des Bodens nach den Bodenbearbeitungsmaßnahmen und dem Anbau der Kultur kommt es naturgemäß zu einem leichten Absinken des Bodens. Aus diesem Grund, und auch als Befestigungsösen zum Ziehen der Bewirtschaftungsringe, sind an drei Stellen der Lysimeterwandung in einer Tiefe mit Unterkante 3 cm unter der oberen Lysimeterberandung Löcher gebohrt (*Abbildung 4*), an denen allenfalls auftretendes Überstauwasser abfließen kann.

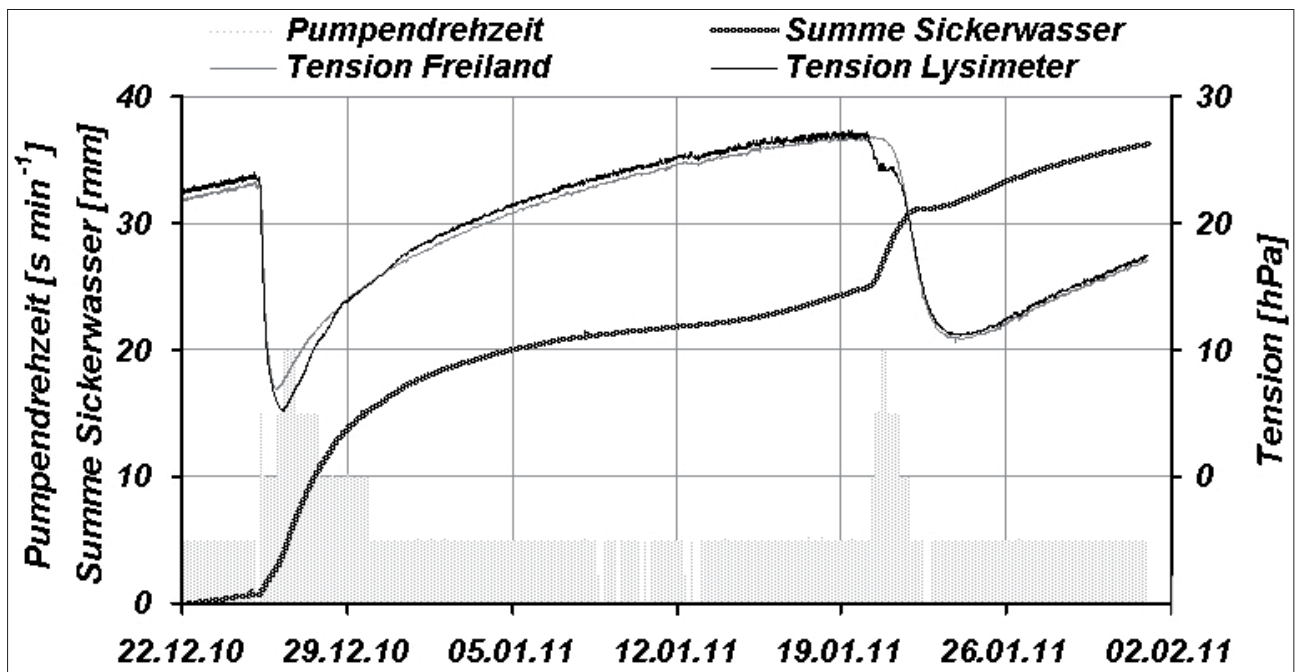
Überstauwasser, das aufgrund des Überschreitens der Infiltrationskapazität des Bodens nicht in den Boden einsickert

sondern über den oberen Lysimeterrand nach außen abfließt geht der Berechnung der Wasserbilanz eines Lysimeters verloren. Zur Quantifizierung dieser Flüsse wurde im Zuge von Wartungsarbeiten in einer Tiefe von 40 cm unter dem oberen Lysimeterrand eine Wasserrinne dicht an der Lysimeteraußenwand angebaut (*Abbildung 1f*), Überlaufwasser durch eine Schlauchleitung abgeführt und im Lysimeterkeller mittels einer Wippe kontinuierlich registriert. Der bisherige Auswertzeitraum vom 01.04.2007 bis 01.02.2011 zeigt eine Überlaufmenge von etwa 42 mm, entsprechend 1 % des Niederschlags (*Tabelle 1*). Die Auswertung eines Einzelereignisses vom 23.06.2009 bis 24.06.2009 in Form des Vergleiches von Stundensummen des Niederschlags in Relation zur Überlaufmenge (*Abbildung 4*) zeigt eine deutliche Abhängigkeit des Überlaufs von der Niederschlagsintensität: Überlaufwasser tritt erst auf, wenn die Niederschlagsintensität  $> 2 \text{ mm h}^{-1}$  wird.

In *Tabelle 1* sind die Summen des Oberflächenabflusses (Überlaufmenge) des organisch-biologisch bewirtschafteten Lysimeters, die Niederschlagssummen und der prozentuelle Anteil des Überlaufwassers am Niederschlag für unterschiedliche Zeiträume vergleichend dargestellt. Durch die Abhängigkeit des Auftretens von Überlaufwasser von der Niederschlagsintensität ist der Anteil des Überlaufs am Niederschlag für unterschiedliche Zeiträume naturgemäß einer recht hohen Variabilität ausgesetzt, es lassen sich aber keine signifikanten Unterschiede zwischen Sommer- und

**Tabelle 1: Summen des Oberflächenabflusses (Überlaufmenge) des organisch-biologisch bewirtschafteten Lysimeters und prozentueller Anteil am Niederschlag für unterschiedliche Zeiträume.**

Auswertezeitraum	Niederschlag [mm]	Überlauf [mm]	% des Niederschlags
Sommer 2007	590,0	3,8	0,64%
Winter 2007/2008	189,3	1,8	0,95%
Sommer 2008	652,6	7,4	1,13%
Winter 2008/2009	409,6	3,8	0,93%
Sommer 2009	956,3	17,1	1,79%
Winter 2009/2010	295,9	1,1	0,37%
Sommer 2010	752,7	5,4	0,72%
2008	893,3	8,2	0,92%
2009	1360,0	21,2	1,56%
2010	1013,6	7,5	0,74%
04/2007 - 01/2011	4004,4	42,2	1,05%
23.06.2009 - 24.06.2009	94	3,2	3,40%



**Abbildung 5: Heranführung der Tension im Lysimeter an die in gleicher Tiefe im Freiland gemessene Wasserspannung durch einen geregelten Pumpbetrieb und resultierende Sickerwasser-Summenlinie im Zeitraum 22.12.2010 bis 01.02.2011.**

Winterhalbjahr erkennen. Auch Abschmelzvorgänge nach Schneedeckenbildungen vom abgestochenen Lysimeterkörper (Abbildung 3) spielen für den Lysimeterüberlauf keine signifikante Rolle.

Unter den Bedingungen des Versuchsfeldes Wagna mit den sandig bis sandig-schluffigen Böden liegt der Anteil des Überlaufwassers vom Lysimeter am Niederschlag bei etwa 1 %, im Zuge von Einzelereignissen werden Größenordnungen von 3 % bis 4 % erreicht.

### Untere Randbedingung

Die Auswirkung der Störung des natürlichen Sickerwasserflusses durch die untere Randbedingung eines Gravitationslysimeters auf die Sickerwasserrate und vor allem auf deren Dynamik ist bis heute zu wenig untersucht. In weiterer Folge ist der Wissensstand über die Auswirkung

auf stoffliche (mikrobiell gesteuerte) Umsetzungsprozesse und deren Relevanz für den Stoffhaushalt im Detail nicht bekannt. STENITZER und FANK (2008) weisen über Modelluntersuchungen nach, dass die Auswirkung auf den Wasserhaushalt unter den Bedingungen des Versuchsfeldes Wagna in der Größenordnung von 10 % liegt, unter anderen Boden- und Klimabedingungen (Marchfeld) ist die Bedeutung einer möglichst naturnahen Ausgestaltung der unteren Randbedingung von Lysimetern von essentieller Bedeutung für die korrekte Erfassung des Sickerwasserflusses.

Aufgrund dieses Wissensdefizits wurden die Präzisions-Feldlysimeter des Versuchsfeldes Wagna an ihrer Unterseite mit einem Saugkerzenrechen ausgestattet, an dem das im Boden herrschende – und im Freiland in 10-Minuten-Intervall gemessene – hydraulische Potential über eine automatische Steueranlage zeitlich variabel als Unterdruck an die Saugkerzen angelegt wird.

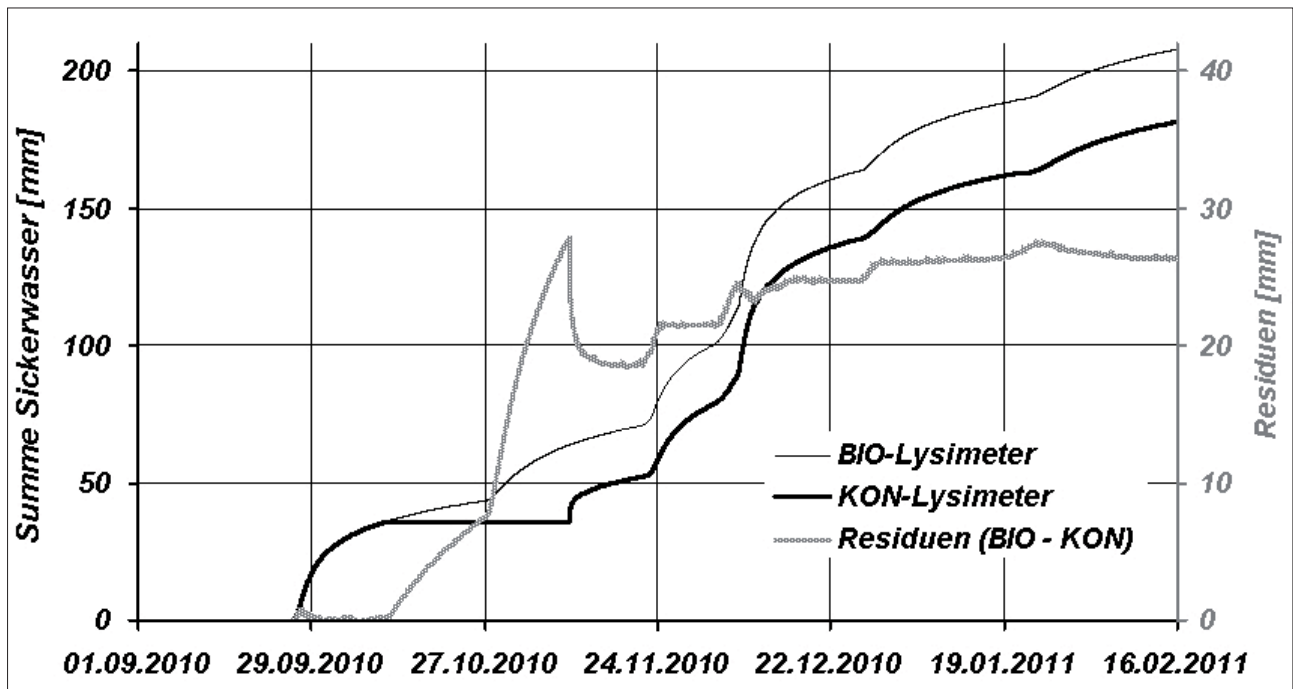


Abbildung 6: Vergleich der Summenlinie des Sickerwassers am organisch-biologisch geführten Lysimeter mit derjenigen des konventionell bewirtschafteten Lysimeters, an dem ein Steuerungsausfall von etwa 4 Wochen simuliert wurde, sowie die resultierenden Residuen.

Wie in *Abbildung 5* erkenntlich, ist es durch diese Steuerung möglich, die im Lysimeter oberhalb des Saugkerzenrechs herrschende Tension variabel an die im Freiland gemessene Tension heranzuführen. Dies geschieht durch Aktivierung einer Vakuumpumpe deren Betriebszeiten detailliert registriert werden. Aus diesen Pumpen-Betriebszeiten, zu denen frei verfügbares Sickerwasser aus den Saugkerzen in einen Vorratsbehälter abtransportiert wird – dieses wird im Minutenintervall gewogen - resultiert die ebenfalls in *Abbildung 5* dargestellte Summenlinie des Sickerwassers. Aufgrund der identen hydrostatischen Zustände im Lysimeter und im Freiland kann davon ausgegangen werden, dass die gewonnenen Sickerwassermengen dem natürlichen Sickerwasserfluss in der Tiefe der Unterkante des Lysimeters entsprechen.

Um die Auswirkung des Ausfalls der Unterdrucksteuerung auf die Fließmengen und deren Dynamik zu untersuchen wurde am Lysimeter unter konventioneller Bewirtschaftung die Unterdrucksteuerung zwischen Mitte Oktober und Mitte November 2010 ausgeschaltet (*Abbildung 6*). Nach der Maisernte Ende September 2010 zeigten beide baugleichen Lysimeter bis Mitte Oktober idente Sickerwassersummenlinien.

Obwohl das konventionell bewirtschaftete Lysimeter neben der Unterdrucksteuerung auch einen gestuften Kiesaufbau an seiner Unterseite mit einem Freiauslauf aufweist, konnte auch nach 4 Wochen noch kein frei auslaufendes Sickerwasser registriert werden. Nach Inbetriebnahme der Unterdrucksteuerung Mitte November 2010 zeigten die Linien der Sickerwassersummen eine Differenz von etwa 28 mm. Kurzfristig ist daraufhin ein verstärkter Sickerwasserausfluss aus dem konventionell bewirtschafteten Lysimeter erkennbar, aber schon nach wenigen Wochen

ist die Fließdynamik beider Lysimeter wieder ident. Die Residuen zwischen den beiden Summenlinien pendeln sich über den bisherigen Messzeitraum auf einen annähernd konstanten Wert von etwa 27 mm ein. Auch nach längerer Beobachtungsdauer sind die Volumina des Abflusses aus beiden Lysimetern deutlich unterschiedlich. Nach bisherigem Untersuchungsstand sind die Unterschiede in der Wasserbilanz nicht erklärbar. Zusätzliche Untersuchungen werden notwendig sein, um die Speicherung des Wasserdefizits des KON-Lysimeters erklären zu können. Dazu ist eine detaillierte Auflösung der Geometrie des Lysimeterkörpers und eine numerische Modellierung der relevanten Prozesse vorgesehen.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Große wägbare monolithische Präzisionslysimeter, die im Versuchsfeld integriert sind, liefern glaubwürdige Daten über Sickerwassermenge und -qualität und stellen daher ein unverzichtbares Werkzeug zur Validierung von numerischen Modellen dar. Trotz der technischen Entwicklung der letzten Jahre werden Lysimetermessungen auch heute noch verschiedene Nachteile und Mängel zugeordnet. Werden Präzisionslysimeter in das Versuchsfeld integriert und können diese ortsüblich bewirtschaftet werden, können Oaseneffekte de facto ausgeschlossen werden. Das Auftreten von präferentiellen Fließwegen an der Lysimeterwandung, sei es aufgrund von Fehlern im Zuge der Monolithentnahme oder hervorgerufen durch Quellen und Schrumpfen des Bodenmaterials kann durch Doppel-Tracerversuche erkundet werden.

Besondere Bedeutung kommt der Ausbildung von geschlossenen Schneedecken über dem Lysimeter und deren

Auswirkung auf die Gewichtsdaten des Lysimeters zu. Eine mechanische Entkopplung des Lysimeters von seiner Umgebung führt hier zu einer deutlichen Minimierung des Problems, allerdings wird dadurch der Ausaperungsprozess im näheren Umfeld des Lysimeters und damit auf dem Lysimeter selbst gestört. Automatische Systeme, die diese Entkopplung ohne Betreten des Lysimeterbereiches durchführen, wären vermutlich eine Lösung des Problems.

Überlaufwasser vom Lysimeter bei Überschreiten der Infiltrationskapazität bzw. dessen zwanghafter Rückhalt durch höhere Umrahmungen stören die Wasser- und damit die Stoffbilanz eines Lysimeters. Messungen des Überlaufwassers an den sandig bis sandig-schluffigen Böden des Versuchsfeldes Wagna ergaben zwar nur einen Anteil von etwa 1 % des Niederschlags, bei anderen Bodenverhältnissen wird dieser Prozess aber von deutlich größerer Bedeutung sein. Die Messung dieses Überlaufwassers sollte usus werden, dazu sind aber die technischen Entwicklungen noch zu verfeinern.

Die Bedeutung einer korrekten Nachbildung der Druckverhältnisse am unteren Lysimeterrand für die Fließ- und Transportprozesse im Lysimeter ist implizit klar. Auswertungen von Experimenten an Lysimetern des Versuchsfeldes Wagna zeigten, dass durch eine Änderung der unteren Randbedingung der Lysimeterabfluss zeitlich nachhaltig über mehrere Monate beeinflusst wird. Hier sind noch Untersuchungen notwendig, um die erfassten Auswirkungen in der Wasserbilanz erklären zu können.

## Literatur

- FANK, J., 2009a: Tracerhydrologie in der Lysimetrie. Bericht zur 13. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter – Perspektiven in Forschung und Anwendung“, 21.-22. April 2009, 63-68, Irdning.
- FANK, J., 2009b: Perspektiven in der Lysimetrie. Bericht zur 13. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimeter – Perspektiven in Forschung und Anwendung“, 21.-22. April 2009, 5-10, Irdning.
- FANK, J., E. STENITZER, F. FEICHTINGER und P. CEPUDER, 2004: Messdaten und Modellkalibration an der Forschungsstation Wagna und daraus abzuleitende Anforderungen an Messstellen zur Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen. In: Klotz, D. (Hrsg.): Untersuchungen zur Sickerwasserprognose in Lysimetern. GSF-Bericht 02/04, 79-86, München.
- FANK, J. und G. v. UNOLD, 2005: Wägbare monolithische Lysimeter unter maschineller Freilandbewirtschaftung (Wagna – Austria). 11. Gumpensteiner Lysimetertagung „Lysimetrie im Netzwerk der Dynamik von Ökosystemen“ vom 5. – 6. April 2005, 55-60, Gumpenstein.
- FANK, J. and G. v. UNOLD, 2007: High-precision weighable field Lysimeter – a tool to measure water and solute balance parameters. *International Water & Irrigation*, Vol. 27, No. 3, 28-32, Tel Aviv.
- MASARIK, K.C., J.M. NORMAN, K.R. BRYE and J.M. BAKER, 2004: Improvements to Measuring Water Flux in the Vadose Zone. *Journal of Environmental Quality*, 33:1152–1158.
- MEISSNER, R., J. SEEGER, H. RUPP, M. SEYFARTH and H. BORG, 2007: Measurement of dew, fog, and rime with a high-precision gravitation Lysimeter. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2007, 170, 335–344.
- STENITZER, E. und J. FANK, 2008: Lysimeter – ein Werkzeug zur genauen Erfassung von Wasser- und Stoffkreislaufparametern / 4.2. Schwerkraft- versus Unterdrucklysimeter – eine Simulationsstudie. – In: Fank, J. & Ch. Lanthaler (Hrsg., 2008): Diffuse Einträge in das Grundwasser: Monitoring – Modellierung – Management. Landwirtschaft und Wasserwirtschaft im Fokus zu erwartender Herausforderungen. – Beiträge z. Hydrogeologie, 56 (Jg. 2007/08), 114–118, Graz.
- UNOLD, G.v. and J. FANK, 2008: Modular Design of Field Lysimeters for Specific Application Needs. *Water Air Soil Pollut: Focus* (2008) 8:233–242.
- WRIEDT, G., 2004: Modelling of Nitrogen Transport and Turnover during Soil and Groundwater Passage in a Small Lowland Catchment of Northern Germany. Ph.D. thesis, University of Potsdam, Germany.