

# Wasserbilanzauswertung aus Präzisionslysimeterdaten

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

## Zusammenfassung

Die technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte hat eine neue Generation von Lysimetern hervorgebracht, mit denen die Gewichtsänderungen eines monolithischen Erdkernes in kurzen Zeitintervallen mit sehr hoher Genauigkeit erfasst werden können. Zusammen mit einer detaillierten Erfassung der Sickerwassermenge in hoher zeitlicher Auflösung können aus diesen Daten für frei definierte Zeitintervalle die Wasserbilanzglieder Niederschlag, Bodenwasservorratsänderung und Verdunstung ermittelt werden.

Ein Präzisionslysimeter ist ein hervorragendes Werkzeug zur Messung des Niederschlags. Durch die Auswertung der Gewichtserhöhung des Lysimeters können alle Formen des Niederschlags (Regen, Schnee, Tau, Reif etc.) abgeleitet werden. Durch externe Einflüsse (Wind, Vegetationsbedeckung, technisches Rauschen etc.) wird die Gewichtsganglinie beeinflusst, sodass ein Schwellenwert definiert werden muss, um ein Niederschlagsereignis vom Hintergrundrauschen abtrennen zu können bzw. ist dieses Rauschen durch entsprechende Mittelwertbildung auszugleichen.

Anhand der Messdaten des Hydro-Lysimeters der Forschungsstation Wagna aus dem Zeitraum Juni 2011 bis August 2012 wird die Problematik der Auswertung hinsichtlich einer geschlossenen Wasserbilanz für unterschiedliche Zeiträume beschrieben und die daraus gewonnenen Niederschlagsdaten mit externen Messdaten verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass für eine einheitliche Richtlinie zur Auswertung von Präzisionslysimeterdaten noch weitere interdisziplinäre Entwicklungsarbeit erforderlich sein wird.

*Schlagwörter:* Präzisionslysimeter, Datenkorrektur, Niederschlagsmessung, Wasserbilanz, Wagna

## Summary

Based on the developments of lysimeter techniques - high precision weighable monolithic lysimeters - we get accurately measured data about the mass change of the lysimeter. In combination with exact measurement of seepage water flux the water balance parameters precipitation, change of soil water stored and evapotranspiration may be determined for user-defined time steps.

A modern type lysimeter is an excellent tool to measure precipitation at a distinct point. Beside standard Lysimeter data evaluation - precise measurement of dew, fog, and rime is possible using a high-precision gravitation lysimeter. External effects (wind velocity, vegetation cover, and random noise) influence the mass time series. The use of mean values over longer periods or threshold values may help to derive a precipitation event from noisy mass data.

Based on the data of the "Hydro"-lysimeter at research station Wagna (Austria) for the period June 2011 to August 2012 the results of the computation of water balance parameters are shown. Evaluation results show that there is an intensive need for further interdisciplinary research on a guideline for the evaluation of precision lysimeter data.

*Keywords:* precise weighing field lysimeters, data management, precipitation measurement, water balance, Wagna

## Einleitung und Problemstellung

Die Anforderungen an die Wasserqualität und das Nährstoffmanagement im Bereich der Landwirtschaft werden immer höher. Daraus resultiert eine gesteigerte Notwendigkeit, die relevanten Prozesse der Wasserbewegung und des Stofftransportes durch die ungesättigte Zone zu erfassen und zu verstehen. Die Weiterentwicklung von Messtechniken und Monitoringmethoden zur Erfassung des Wasserflusses durch ungestörte Bodenprofile ist ein unabdingbares Erfordernis für die Ableitung von Stoffbilanzen und die Bewertung der Auswirkung unterschiedlicher Landnutzungssysteme auf die Wasserqualität (MASARIK et al. 2004).

Die technische Entwicklung der letzten Jahrzehnte hat eine neue Generation von Lysimetern hervorgebracht, mit denen die Gewichtsänderungen eines monolithischen Erdkernes in kurzen Zeitintervallen mit sehr hoher Genauigkeit erfasst werden können. Zusammen mit einer detaillierten Erfassung der Sickerwassermenge in hoher zeitlicher Auflösung können aus diesen Daten grundsätzlich für frei definierte Zeitintervalle die Wasserbilanzglieder Niederschlag, Sickerwassermenge, Bodenwasservorratsänderung und Verdunstung berechnet werden (FANK 2011).

Für die Bearbeitung des landwirtschaftlichen Wasserressourcenmanagements sind genaue Pflanzenverdunstungs-

<sup>1</sup> JOANNEUM RESEARCH, RESOURCES - Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit, Elisabethstraße 18/II, A-8010 GRAZ

\* Ansprechpartner: Univ.-Doz. Dr. Johann Fank, johann.fank@joanneum.at



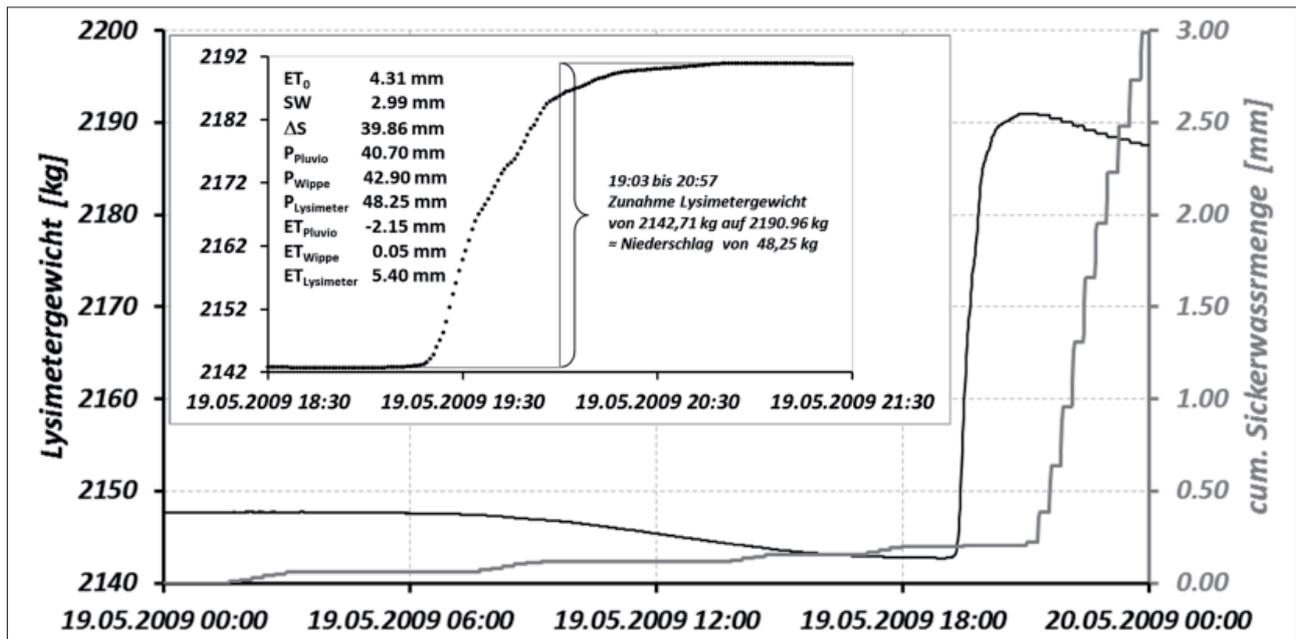


Abbildung 1: Auswertung der Parameter der Wasserbilanz des Grünland-Lysimeters der Forschungsstation Wagna für den 19.05.2009 und Vergleich der Berechnungsergebnisse aus unterschiedlichen Datengrundlagen

daten erforderlich. Lysimeter erlauben es, die Verdunstung direkt zu messen. Sind diese Lysimeter wägbare, kann die aktuelle Evapotranspiration von der Änderung des Gewichtes des Erdkerns abgeleitet werden (YOUNG et al. 1996). Dabei sind allerdings alle Massenänderungen, die auf andere Faktoren neben der Verdunstung zurückzuführen sind, wie z.B. Sickerwassermenge oder Wasser-Input an der Oberfläche in der Auswertung zu berücksichtigen (MALONE et al. 2000). Wie MEISSNER et al. (2007) zeigen konnten, kann mit modernen Präzisionslysimetern neben den Standard-Messgrößen auch eine präzise Erfassung von Tau-, Nebel- oder Reifniederschlag durchgeführt werden. Nicht zuletzt aus diesem Grund sind Lysimeter ausgezeichnete Werkzeuge zur Entwicklung bzw. als Grundlage der Kalibration von Bodenwasserhaushalts- und Stofftransportmodellen in der ungesättigten Zone (WRIEDT 2004). Lysimeter waren und sind ein wertvolles Tool um die Rolle der Pflanze in der lokalen hydrologischen Bilanz zu untersuchen. Dadurch konnten die Auswirkungen landwirtschaftlicher Nutzung auf die Grundwasserneubildung und die Grundwasserqualität untersucht und die Bedeutung von Management – Praktiken in der Landwirtschaft einer Bewertung unterzogen werden (GOSS and EHLERS 2009).

Die mathematische Grundlage für die Auswertung von Lysimeterdaten stellt die Wasserbilanzgleichung dar. Für wägbare Lysimeter ohne Berücksichtigung von lateralen Flüssen an der Oberfläche und im Bereich der ungesättigten Zone und ohne Grundwasseranschluss gilt diese in der Form  $P - ET - SW \pm \Delta S = 0$  für einen beliebigen Zeitschritt. Dabei wird der Niederschlag (P) üblicherweise an einer Niederschlagsmessstation in der Nähe des Lysimeters gemessen, die Sickerwassermenge (SW) aus dem Lysimeter gesammelt und deren Menge registriert und die Bodenwasservorratsänderung ( $\Delta S$ ) aus der Massenänderung des Lysimeters – und damit aus den Wiegedaten abgeleitet. Die reale Verdunstung

(ET) kann dann für den gewählten Zeitbereich aus obiger Wasserbilanzgleichung berechnet werden.

In *Abbildung 1* ist für einen Tag (19.05.2009) der Verlauf der Gewichtsganglinie des Grünland-Lysimeters der Forschungsstation Wagna sowie die Summenlinie der Sickerwassermenge aus diesem Lysimeter vergleichend dargestellt. Aus den meteorologischen Daten der Wetterstation im unmittelbaren Nahbereich des Lysimeters errechnet sich eine Gras-Referenzverdunstung nach Penman-Monteith (ALLEN et al. 1998) von 4.31 mm. An diesem Tag wurde eine Sickerwassermenge von 2.99 mm gemessen, die Änderung des Bodenwasservorrates errechnet sich für diesen Tag zu 39.86 mm. Der punktuelle Niederschlag wird im unmittelbaren Umfeld des Lysimeters mittels einer hydrologischen Wippe an der Wetterstation der ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) und mittels einer Pluvio - Niederschlagswaage der Fa. Ott, eingerichtet vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung - Hydrographischer Dienst registriert. Für den Auswertzeitraum wurden Niederschläge zwischen 40.7 mm (Pluvio) und 42.9 mm (Wippe) gemessen. Nach der Wasserbilanzgleichung errechnet sich demnach eine aktuelle Verdunstung von -2.15 mm (PPluvio) bzw. von 0.05 mm (PWippe).

Da negative Verdunstungswerte hydrologisch nicht sinnvoll erklärt werden können und die Verdunstungsberechnung zu 0.05 mm in Relation zur berechneten Gras-Referenzverdunstung sehr niedrig erscheint, lohnt sich ein detaillierter Blick auf die Ganglinie des Lysimetergewichtes. Diese zeigt für den 19.05.2009 nach einem praktisch geradlinigen Rückgang bis etwa 17:30 von etwa 5 kg, der auf die Verdunstung zurückzuführen ist. Ab 19:00 bis 21:00 zeigt sich ein ununterbrochener Anstieg des Lysimetergewichtes von etwa 48 kg, resultierend aus einem in sich sehr gut abgeschlossenen kurzfristigen Gewitterniederschlag hoher Intensität. Die

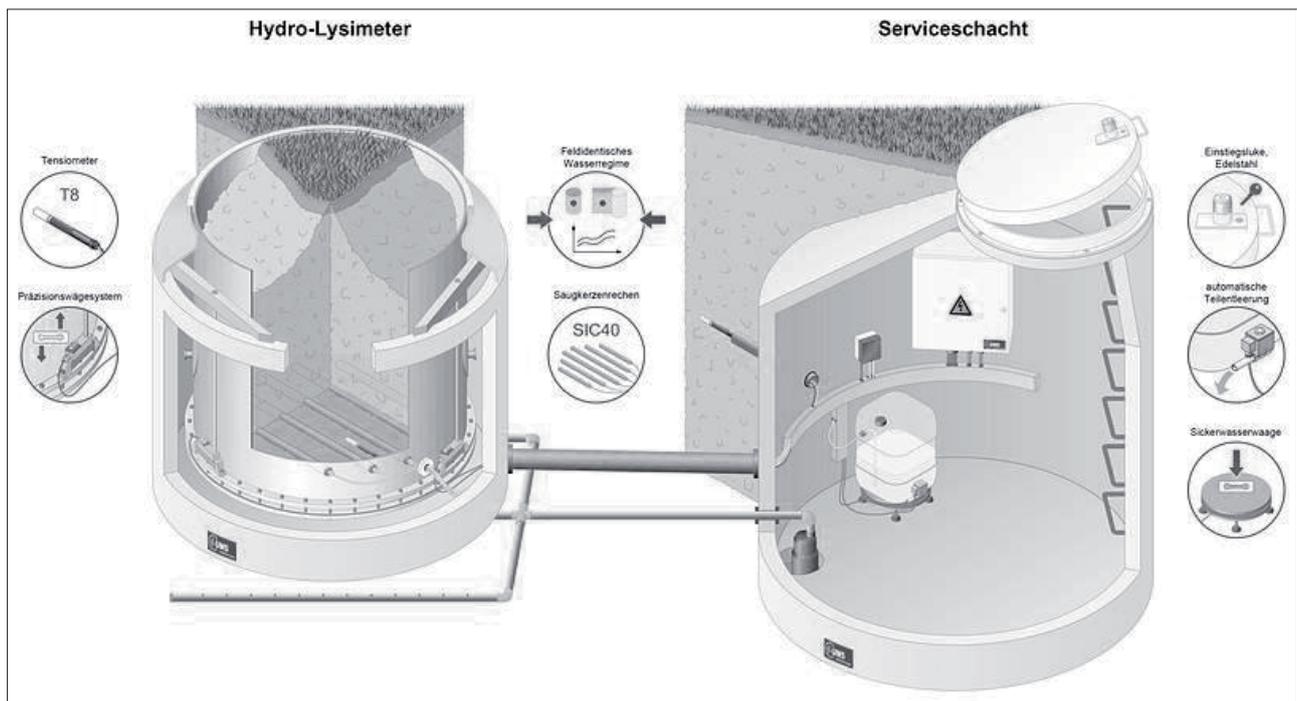


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Hydro-Lysimeter mit Serviceschacht zur Erfassung der wichtigsten Wasserbilanzparameter (Quelle: UMS GmbH München)

kumulierte Sickerwasserganglinie zeigt einen langsamen Anstieg von 0 auf etwa 0.17 mm bis 20:30 und danach einen kontinuierlichen Anstieg auf 2.99 mm bis Mitternacht. Eine Detailauswertung der Lysimeter-Gewichtskurve zeigt für den Zeitraum 19:03 bis 20:57 eine Massenzunahme von 48.25 kg bzw. bei der Oberfläche des Lysimeters von 1 m<sup>2</sup> eine Niederschlagssumme von 48.25 mm. Setzt man diesen Wert  $P_{\text{Lysimeter}}$  in die Wasserbilanzgleichung ein, so errechnet sich für den 19.05.2009 eine reale Evapotranspiration  $ET_{\text{Lysimeter}}$  von 5.40 mm.

Diese Auswertung belegt beispielhaft, dass die Verwendung von extern gemessenen Niederschlagssummen als Grundlage für die Berechnung der Verdunstung aus Lysimeterdaten den Fehler in der Niederschlagsmessung zur Gänze in das Verdunstungsberechnungsergebnis transferiert und die nach derartigen Lysimeterauswertungen ermittelten punktuellen Verdunstungsdaten jedenfalls zu geringe Werte ergeben. Da die Gewichtsganglinie eines Präzisionslysimeters bei gleichzeitiger Verfügbarkeit exakt gemessener Sickerwassermengen die Information über die Niederschlagsmenge inkludiert, sind Methoden zu finden, um alle Parameter der Wasserbilanzgleichung an einem Messgerät – einem Präzisionslysimeter – zu erfassen.

## Material und Methoden

In den letzten Jahren wurden Präzisionslysimeter-Typen für unterschiedliche Anwendungen entwickelt (VON UNOLD und FANK 2009). In *Abbildung 2* ist ein Hydro-Lysimeter zur präzisen und zuverlässigen Erfassung der wichtigsten Wasserhaushaltsgrößen schematisch skizziert. Damit können belastbare Daten für professionelles Wassermanagement, Langzeit-Monitoring und sichere Prognose an

einem definierten Standort gewonnen werden. Der Prototyp dieses Hydro-Lysimeters wurde im Mai 2006 am landwirtschaftlichen Versuchsfeld Wagna (Österreich) implementiert (FANK und VON UNOLD 2007) und liefert seither Messdaten des Lysimetergewichtes und des Sickerwassergewichtes. Dabei werden die Messgrößen im Sekundenintervall erfasst und als Minuten-Mittelwerte gespeichert. Das Präzisionslysimeter mit einer Oberfläche von exakt 1 m<sup>2</sup> ist aus einem langjährigen extensiv bewirtschafteten Grünlandbestand gewonnen und wird ohne Bewässerung im Mulchbetrieb (wöchentliches Schneiden des Grasbestandes auf eine Wuchshöhe von 12 cm) bewirtschaftet.

Die Minutenmittelwerte des Lysimetergewichtes und des Sickerwassergewichtes werden neben den Minutenwerten der von der ZAMG zur Verfügung gestellten Niederschlagssummen in einer relationalen Datenbank (DB Zeitreihen in *Abbildung 3*) gespeichert und verwaltet. Vor einer weiterführenden Auswertung werden alle identifizierbaren externen Einflüsse auf die Lysimetergewichtsganglinie (z.B. über das Lysimeter wechselnde Tiere) und die Sickerwassergewichtsganglinie (z.B. durch Wartungsarbeiten) korrigiert und die daraus resultierenden Zeitreihen für die weitere Auswertung zur Verfügung gestellt.

Unter der Annahme von fehlerfreien und absolut korrekten Messergebnissen kann eine Auswertung der Glieder der Wasserbilanzgleichung für einen Zeitschritt nach dem Ablaufschema in *Abbildung 3* durchgeführt werden: die Änderung des Bodenwasserspeicherungsinhaltes wird aus der Lysimetergewichtsänderung berechnet. Durch Subtraktion der Sickerwassermenge wird die reduzierte Gewichtsdivergenz (RGD) berechnet. Ist diese kleiner 0, so kann sie der aktuellen Evapotranspiration zugeordnet werden. Ist

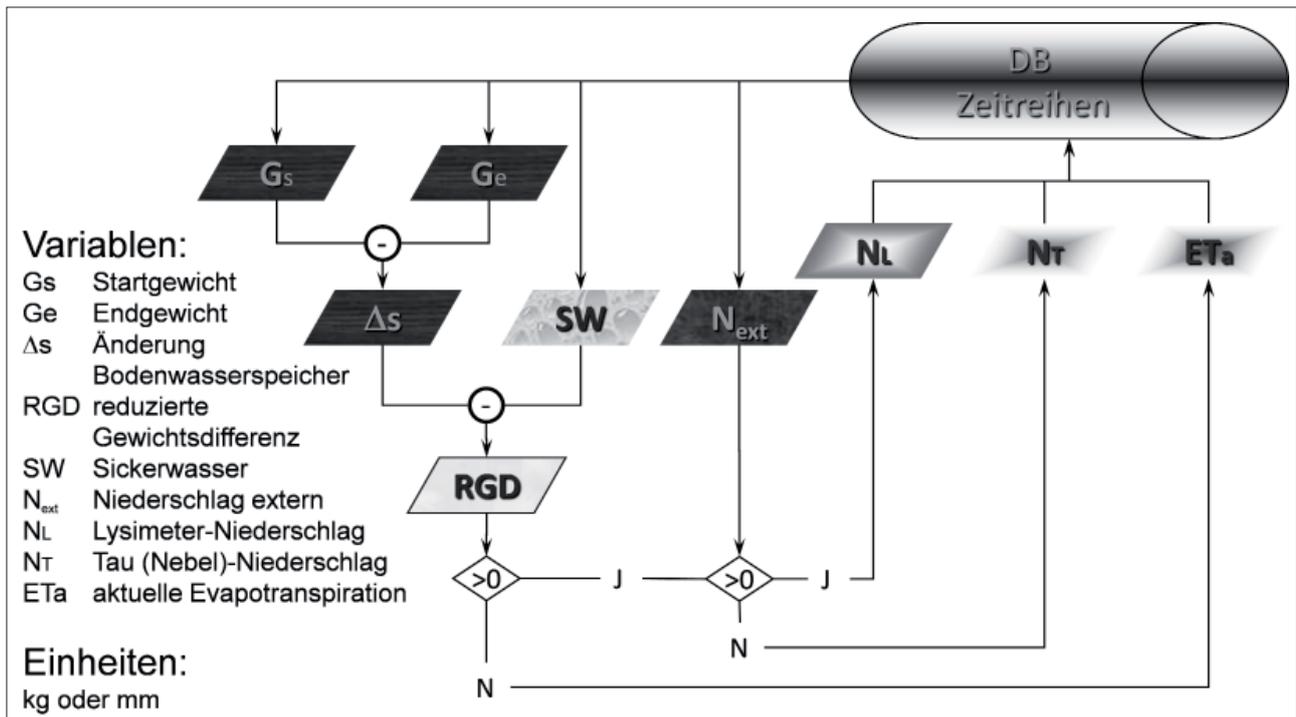


Abbildung 3: Ablauf der Auswertung der Lysimetermessungen zur Auswertung der Glieder der Wasserbilanzgleichung für einen Zeitschritt

die RGD größer 0 und wurde auch extern Niederschlag gemessen, kann der Wert als Lysimeterniederschlag gespeichert werden. Ist die RGD größer 0 und wurde kein externer Niederschlag gemessen, kann der Wert als Tau-, Reif- oder Nebelniederschlag interpretiert werden. Dieses Ablaufdiagramm impliziert, dass während eines Auswerteschrittes entweder nur Verdunstung oder nur Niederschlag oder keines von beiden auftritt – aus diesem Grund ist der Auswerteschritt möglichst kurz (in unserem Fall 1 Minute) zu wählen.

Dieses theoretische Auswerteverfahren ist aber jedenfalls zum Scheitern verurteilt, da die punktuelle Niederschlagsmessung (siehe *Abbildung 1*) grundsätzlich mit Messfehlern behaftet ist. Die wesentlichsten Fehler in der punktuellen Niederschlagsmessung resultieren aus dem Windfehler, dem Fehler durch Haftwasser das an den Wänden des Messgerätes haften bleibt, dem Verdunstungsfehler und durch Spritzer die von der Umgebung abprallen und in das Niederschlagsmessgerät gelangen oder umgekehrt (THALER 2004). Die wesentlichste Bedeutung hat dabei der Windfehler, da jeder Regennmesser das Windfeld beeinflusst. Die Messfehler des Niederschlags können minimiert werden, wenn das Messgerät bodeneben aufgestellt wird und die Sammelfläche eine möglichst große Oberfläche aufweist.

Moderne Präzisionslysimeter wiegen einen monolithischen Erdkern mit einer Auflösung von 0.01 kg entsprechend einem Wasseräquivalent von 0.01 mm, sind bodengleich mit der Umgebung eingebaut und weisen eine Oberfläche von 1 m<sup>2</sup> auf. Sie stellen aufgrund ihrer Konstruktion und der Genauigkeit der Messung nahezu ideale Niederschlagsmessgeräte dar, da die wesentlichsten Fehler der Niederschlagsmessung (Windeinfluss, Haft-

wasser, geringe Oberfläche und durch die Vegetationsbedeckung auch die Spritzwasserproblematik) vermieden werden können.

Allerdings ist die Gewichtsganglinie eines Lysimeters durch ein Hintergrundrauschen geprägt, das einerseits aus einem technischen Rauschen der Messung selbst und andererseits aus unterschiedlichen Umweltfaktoren resultiert. Während das technische Rauschen aus der Wiegung relativ genau bekannt und einschätzbar ist, ist der Einfluss der Umweltfaktoren und hier in erster Linie die in der Messumgebung herrschenden Windverhältnisse nur sehr schwer in die Auswertung einzubeziehen. Untersuchungen zeigen, dass v.a. die Windgeschwindigkeit über dem Lysimeter einen signifikanten Einfluss auf die Variabilität der Einzelwerte des Lysimetergewichtes hat, wobei keine klare Beziehung zwischen Windgeschwindigkeit und Einflussgröße hergestellt werden kann. Zusätzlich scheint der Einfluss der Windgeschwindigkeit auf die Messgröße Lysimetergewicht für jedes Lysimeter unterschiedlich zu sein. Dieses Rauschen der gemessenen Gewichtsganglinie kann nun entweder durch eine mathematische Filterung der Messdaten (z.B. VAUGHAN et al. 2007), durch eine weiterführende Mittelwertbildung oder durch die Einführung eines Schwellenwertes, ab dem eine eindeutige Gewichtsänderung erkennbar ist, geglättet werden.

In *Abbildung 4* sind die Messdaten, die 10-Minuten-Mittelwerte und die konsequent ansteigenden Daten eines 1-Stunden Ausschnittes der Lysimetergewichtsganglinie vom 19.05.2009 des Hydro-Lysimeters in Wagna dargestellt. Der Zeitraum zeigt den Übergang von der verdunstungsbeeinflussten Gewichtsganglinie auf den Beginn des Niederschlagsereignisses um 19:03.

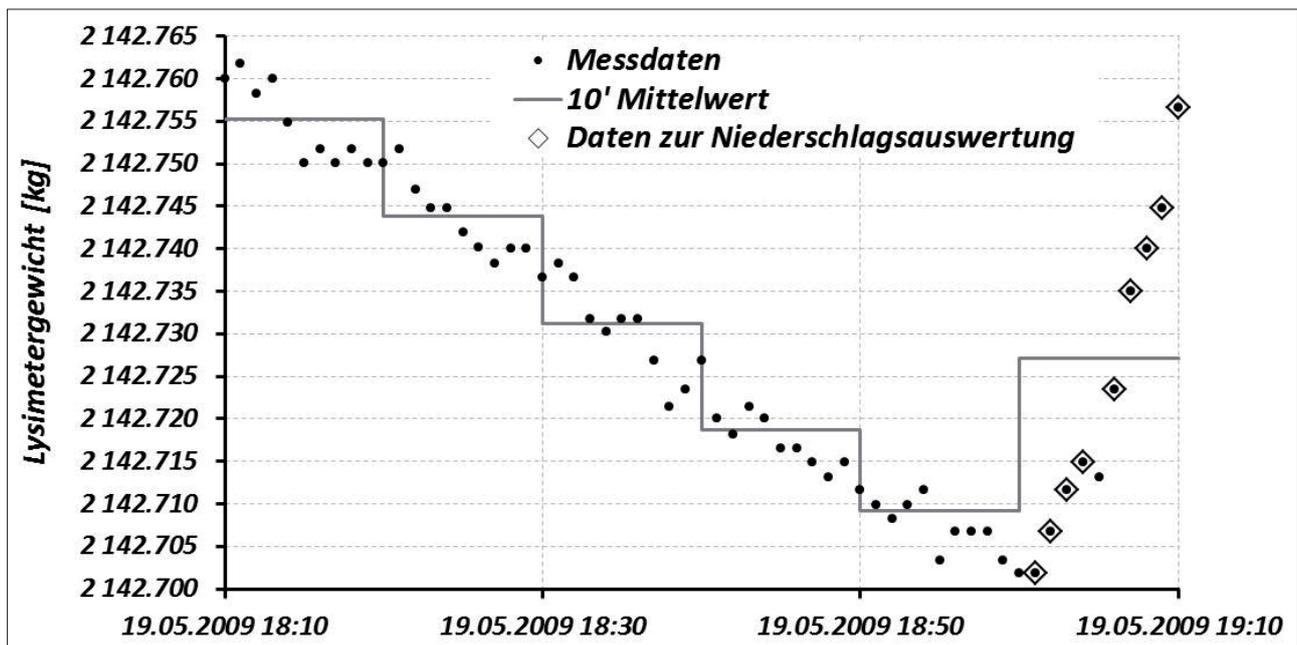


Abbildung 4: Messdaten, 10-Minuten-Mittelwerte und zur Niederschlagsauswertung herangezogene Daten eines 1-Stunden Ausschnittes der Lysimetergewichtsganglinie vom 19.05.2009 des Hydro-Lysimeters in Wagna

Die den im Folgenden dargestellten Ergebnissen zugrunde liegenden Auswertemethoden basieren auf der schon oben dargestellten Wasserbilanzgleichung in der Form  $P - ET - SW \pm \Delta S = 0$  (vgl. Kap. Einleitung und Problemstellung) für Lysimeter. Dabei ist die korrigierte kumulierte Sickerwassergewichtsganglinie eines frei gewählten Auswertezwischenraumes aufgrund der hochgenauen Messung im geschützten Serviceschacht und dem geringen Gewicht von  $< 50$  kg praktisch fehlerfrei und dadurch sehr genau bestimmbar. Die Änderung des gespeicherten Bodenwasservorrates für den Auswertezwischenraum kann mit sehr hoher Genauigkeit aus der Gewichtsänderung des Lysimeters berechnet werden. Um den Einfluss des „Rauschens“ der Gewichtsganglinie auf diesen Wert zu minimieren, werden für die Differenzenbildung jeweils 5 Werte am Ende und 5 Werte zu Beginn des Auswertezwischenraumes gemittelt. Die Niederschlagssumme im Auswertezwischenraum wurde aus den positiven Änderungen der Lysimetergewichtsganglinie als Summe von kurzfristigen Auswertezwischenritten berechnet: dazu wurden zum Einen die positiven Gewichtsänderungen von 10-Minuten-Mittelwerten addiert, zum Anderen wurden Perioden gesucht, in denen die Gewichtsänderung über mehrere Messzeiträume anhaltend positiv war. Im zweiten Fall wurde die Unterscheidung eines Gewichtsanstieges vom Hintergrundrauschen durch die Festlegung eines Schwellenwertes für den jeweiligen Auswertezwischenraum getroffen. Die Auswertung der aktuellen Verdunstung erfolgt durch die Bilanzierung mittels der Wasserbilanzgleichung.

## Ergebnisse

In *Tabelle 1* sind die Ergebnisse der Berechnung der Verdunstung des Hydro-Lysimeters in Wagna nach der Wasserbilanzgleichung auf Basis unterschiedlicher Niederschlagsdaten für die Periode Juni 2011 bis August 2012 als Monatssummenwerte dargestellt. Dabei wurden

als Messdaten einerseits externe Niederschlagsmessungen ( $P_{\text{Pluvio}}$ ,  $P_{\text{Wippe}}$ ) und die Messungen der Sickerwassermenge ( $SW$ ) sowie die Auswertung der Änderung des Bodenwasservorrates ( $\Delta S$ ) verwendet. Die Auswertung der Niederschläge aus den positiven Änderungen der 10-Minuten-Mittelwerte des Lysimetergewichtes ( $P_{10\text{MW}}$ ) zeigt bereits deutlich höhere Niederschlagsdaten als die externen Messungen an. Die höchsten Niederschläge resultieren aus der Auswertung der steigenden Teile der Lysimetergewichtsganglinie ( $P_{\text{LG}}$ ). Die Niederschlagssummen der gesamten Auswerteperiode liegen zwischen 1013.6 mm und 1142.8 mm. Da bei der Berechnung der Verdunstung über die Wasserbilanzgleichung die Unterschiede in den Niederschlägen vollständig auf die Verdunstung übertragen werden, resultiert aus den unterschiedlichen Eingangsgrößen für die gesamte Auswerteperiode eine berechnete aktuelle Evapotranspiration zwischen 806.6 mm und 935.8 mm.

Die Auswertung der Niederschläge aus ansteigenden Teilen der gemessenen Lysimetergewichtsganglinie basiert auf der Festlegung einer Filterschranke, ab der eine positive Gewichtsänderung als Niederschlagsereignis und nicht als Hintergrundrauschen interpretiert wird. Die Festlegung dieser Filterschranke erfolgte als Wert, der für den Auswertezwischenraum von 1 Monat gesetzt und anhand der Tagessummen der Niederschläge der externen Niederschlagsmessstationen kalibriert wurde (es wurde darauf geachtet, dass der berechnete Niederschlag im Bereich der extern gemessenen Monatssummen des Niederschlags verblieb).

In *Tabelle 2* sind die Ergebnisse der Berechnung der Verdunstung des Hydro-Lysimeters in Wagna nach der Wasserbilanzgleichung für unterschiedliche Auswertezwischenritte in der Periode Juni 2011 bis August 2012 als Monatssummenwerte zusammengefasst. In den Ergebnissen sind zwei Auffälligkeiten zu erkennen:

**Tabelle 1: Ergebnisse der Berechnung der Verdunstung des Hydro-Lysimeters in Wagna nach der Wasserbilanzgleichung auf Basis unterschiedlicher Niederschlagsdaten für die Periode Juni 2011 bis August 2012 als Monatssummenwerte (P = Niederschlag, SW = Sickerwasser, ΔS = Änderung des gespeicherten Bodenwassers, ET = Verdunstung, Pluvio = Ott Niederschlagswaage, Wippe = ZAMG – Niederschlagsmessung, 10'MW = 10-Minutenmittelwerte des Lysimetergewichtes, LG = Lysimetergewichtsganglinie)**

Monat.Jahr	Messdaten				Lysimetergewicht		Wasserbilanzberechnung			
	P_Pluvio	P_Wippe	SW	ΔS	P_10'MW	P_LG	ET_Pluvio	ET_Wippe	ET_10'MW	ET_LG
Jun.2011	116.4	130.7	0.0	11.5	123.8	122.9	104.9	119.2	112.4	111.5
Jul.2011	94.2	108.8	0.0	24.7	103.4	105.8	69.5	84.1	78.7	81.0
Aug.2011	77.1	88.9	20.7	-37.5	84.4	85.7	93.9	105.7	101.2	102.5
Sep.2011	78.4	83.9	4.9	25.8	86.8	84.8	47.8	53.3	56.2	54.2
Okt.2011	90.1	95.7	39.4	25.5	94.1	95.3	25.2	30.8	29.2	30.4
Nov.2011	0.4	0.3	6.3	-15.2	4.9	3.8	9.4	9.3	13.9	12.8
Dez.2011	21.7	20.4	1.6	18.2	29.3	24.6	2.0	0.7	9.5	4.9
Jän.2012	10.9	11.0	5.6	-0.8	14.7	12.5	6.1	6.2	10.0	7.7
Feb.2012	19.5	17.4	19.5	7.0	35.8	38.9	-7.0	-9.1	9.3	12.4
Mär.2012	6.8	7.2	9.8	-35.8	8.9	9.5	32.8	33.2	34.9	35.5
Apr.2012	51.1	55.9	0.7	-6.4	59.1	62.9	56.8	61.6	64.9	68.7
Mai.2012	120.0	128.9	8.4	29.3	131.4	132.9	82.3	91.2	93.7	95.2
Jun.2012	68.3	76.0	9.2	-41.6	74.4	74.5	100.8	108.5	106.9	106.9
Jul.2012	190.9	206.6	48.8	29.4	207.6	210.7	112.7	128.4	129.3	132.4
Aug.2012	67.8	78.4	0.5	-2.3	74.9	77.9	69.6	80.2	76.7	79.7
<b>Periode</b>	<b>1013.6</b>	<b>1110.1</b>	<b>175.2</b>	<b>31.8</b>	<b>1133.8</b>	<b>1142.8</b>	<b>806.6</b>	<b>903.1</b>	<b>926.8</b>	<b>935.8</b>

**Tabelle 2: Ergebnisse der Berechnung der Verdunstung des Hydro-Lysimeters in Wagna nach der Wasserbilanzgleichung für unterschiedliche Auswertezeitschritte in der Periode Juni 2011 bis August 2012 als Monatssummenwerte (P\_LG = Niederschlagsauswertung aus der Lysimetergewichtsganglinie, SW = Sickerwasser, ΔS = Änderung des gespeicherten Bodenwassers, ET\_WB = Verdunstung berechnet aus der Wasserbilanz)**

Monat.Jahr	Filter-schranke	Tageswerte				Stundenwerte				30 Minutenwerte				10 Minutenwerte			
		P_LG	SW	ΔS	ET_WB	P_LG	SW	ΔS	ET_WB	P_LG	SW	ΔS	ET_WB	P_LG	SW	ΔS	ET_WB
Jun.2011	0.007	122.9	0.0	11.2	111.7	123.0	0.0	11.4	111.6	121.5	0.0	11.2	110.3	114.9	0.0	10.6	104.2
Jul.2011	0.006	105.8	0.0	24.7	81.0	105.6	0.0	24.2	81.4	104.2	0.0	23.9	80.3	99.0	0.0	22.5	76.5
Aug.2011	0.010	85.7	20.7	-37.7	102.8	86.8	20.9	-36.9	102.7	86.3	21.3	-36.3	101.3	85.4	22.7	-32.8	95.5
Sep.2011	0.010	84.8	4.9	25.8	54.1	86.5	5.0	25.6	55.9	86.0	5.1	25.7	55.2	81.4	5.3	23.3	52.7
Okt.2011	0.010	95.3	38.1	27.7	29.5	97.1	39.6	25.1	32.4	97.7	41.7	24.7	31.3	99.8	46.5	23.0	30.3
Nov.2011	0.015	3.8	6.3	-15.3	12.8	7.4	6.5	-15.0	16.0	8.5	6.3	-14.7	16.8	11.1	6.6	-13.9	18.5
Dez.2011	0.015	24.6	1.6	18.1	5.0	27.8	1.6	17.8	8.3	28.3	1.6	17.5	9.2	29.3	1.6	16.2	11.5
Jän.2012	0.015	12.5	5.6	-0.8	7.7	14.8	5.6	-0.8	10.0	15.4	5.6	-0.6	10.4	17.6	5.6	-0.6	12.6
Feb.2012	0.012	38.9	19.5	7.0	12.4	40.4	20.1	6.8	13.4	40.6	20.4	6.7	13.4	42.8	22.3	6.2	14.3
Mär.2012	0.012	9.5	9.8	-35.8	35.5	11.7	10.3	-35.2	36.6	11.6	9.9	-34.6	36.3	13.0	9.9	-32.1	35.3
Apr.2012	0.007	62.9	0.7	-6.4	68.7	63.9	0.7	-6.3	69.6	63.4	0.6	-6.2	69.0	60.5	0.6	-5.7	65.6
Mai.2012	0.007	132.9	8.5	29.3	95.1	132.7	8.5	28.2	96.1	131.1	8.8	27.7	94.6	125.0	9.6	26.0	89.3
Jun.2012	0.007	74.5	9.2	-41.7	107.0	75.4	9.5	-40.9	106.8	74.8	9.7	-40.2	105.3	72.8	10.8	-36.6	98.6
Jul.2012	0.007	210.7	48.9	29.3	132.6	208.2	49.2	28.0	131.1	208.5	51.1	30.0	127.5	198.6	55.7	25.7	117.2
Aug.2012	0.006	77.9	0.5	-2.3	79.6	77.3	0.5	-2.4	79.1	76.1	0.5	-2.6	78.3	73.9	0.5	-1.4	74.8
<b>Periode</b>		<b>1142.8</b>	<b>174.2</b>	<b>33.0</b>	<b>935.5</b>	<b>1158.5</b>	<b>177.9</b>	<b>29.6</b>	<b>951.0</b>	<b>1153.8</b>	<b>182.6</b>	<b>32.0</b>	<b>939.2</b>	<b>1125.2</b>	<b>197.8</b>	<b>30.6</b>	<b>896.9</b>

- Die Filterschranke weist auf Monatsbasis eine zeitliche Variabilität zwischen 0.006 und 0.015 auf, wobei die Werte in den Wintermonaten signifikant höher und in den Sommermonaten am niedrigsten sind.
- Die Ergebnisse der Auswertung von Niederschlag und Verdunstung sind bei gleicher Filterschranke nicht unabhängig vom gewählten Auswertintervall. Werden für die Datenbasis der Auswertung nicht Tageswerte sondern Werte eines kürzeren Zeitintervalls herangezogen (Stundenwerte, Halbstundenwerte, 10-Minutenwerte) und die Ergebnisse auf Monatswerte aufsummiert, so ergeben sich unterschiedliche Niederschlagssummen und unterschiedliche Summenwerte der Gesamtverdunstung. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Filterschranke nicht unabhängig vom gewählten Auswertezschritt ist.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Eine detaillierte Berechnung der Glieder der Wasserbilanz für unterschiedliche Skalen gewinnt im Umfeld der Diskussion der Auswirkung des Klimawandels und im Bereich des landwirtschaftlichen Wasserressourcenmanagements immer stärker zunehmende Bedeutung. Moderne Präzisionslysimeter bieten eine geeignete Basis zur Messung dieser Wasserbilanzgrößen, wobei die Grundlage der Auswertung die Wasserbilanzgleichung darstellt. Nachdem die Größen Sickerwassermenge und Bodenwasservorratsänderung für unterschiedliche Auswerteziträume sehr genau aus den Messdaten des Lysimetergewichtes abgeleitet werden können und die aktuelle Verdunstung das Berechnungsergebnis darstellt, kommt der Ermittlung der Eingangsgröße Niederschlag eine besondere Bedeutung zu. Aufgrund der grundsätzlichen Messfehler der punktuellen Niederschlags-

messung sind herkömmliche Messdaten des Niederschlags für eine exakte Ermittlung der Wasserbilanzglieder nur bedingt geeignet. Eine andere Möglichkeit stellt die Auswertung der Niederschlagssummen aus den ansteigenden Ganglinienteilen des Lysimetergewichtes dar. Aufgrund des jedenfalls vorliegenden „Rauschens“ der Gewichtsganglinie sind dabei aber Glättungsverfahren erforderlich, die eine eindeutige Abtrennung von tatsächlichen Gewichtsänderungen vom Hintergrundrauschen ermöglichen.

Zu diesem Zweck wurde in der gegenständlichen Arbeit die Verwendung von 10-Minuten-Mittelwerten als Glättungsverfahren im Vergleich zur Anwendung einer Filterschranke (mit monatlicher Gültigkeit) auf die Minutenmesswerte des Lysimetergewichtes gegenübergestellt. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen und werten:

- Die Ergebnisse zeigen, dass beide Verfahren – wie zu erwarten – höhere Niederschlagssummen ergeben als die punktuell gemessenen Niederschläge mit zwei verschiedenen Niederschlagsmesssystemen.
- Die Auswertergebnisse der Niederschläge aus der 10-Minuten-Mittelwertbildung vernachlässigen naturgemäß Niederschlagsereignisse von kurzer Dauer. Zudem wird bei diesem Auswertverfahren davon ausgegangen, dass in einem Zeitraum von 10 Minuten entweder nur Niederschlag, nur Verdunstung oder keines von Beiden vorliegt.
- Die Filterschranke, die als Abgrenzungskriterium im zweiten Auswertverfahren vorzugeben ist, ist zeitlich variabel, wobei im gegenständlichen Fall ein konstanter Wert für 1 Monat angesetzt wurde. Dieser Schrankenwert ist in den bisherigen Auswertungen nicht physikalisch bedingt formulierbar, sondern wurde aus einer Kalibration der Ergebnisse an vorhandenen externen Niederschlagsmessungen gewonnen.
- Die Filterschranke ist vom gewählten Auswertzeitschritt abhängig. Werden unterschiedliche Zeitschrittlängen für die Auswertung gewählt, erfordert die Erwartung gleicher Ergebnisse der Niederschlagssumme für einen Untersuchungszeitraum unterschiedliche Filterschranken.

Als zusammenfassendes Ergebnis der bisher durchgeführten Auswertungen erscheint das Potential von Präzisionslysimetern als Instrumente zur genauen Erfassung von punktuellen

Niederschlägen als sehr hoch. Allerdings werfen die bisher eingesetzten Glättungsverfahren noch sehr starke Defizite auf, sodass weiterführende intensive interdisziplinäre Forschungsarbeit erforderlich sein wird, um Glättungsverfahren zu entwickeln, die das Potential der Präzisionslysimeter zur Auswertung von Wasserbilanzgrößen in ihrem gesamten Umfeld abdecken können.

## 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 No. 56, 300 S.
- FANK, J., 2011: Lysimeters: a tool for measurements of soil fluxes. In: J. Glinski, J. Horabik & J. Lipiec [Editors]: Encyclopedia of Agrophysics. Encyclopedia of Earth Sciences Series. (Springer) 428-431.
- 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.
- GOSS, M.J. and W. EHLERS, 2009: The role of lysimeters in the development of our understanding of soil water and nutrient dynamics in ecosystems. Soil Use and Management, 25, 213-223. DOI: 10.1111/j.1475-2743.2009.00230.x
- 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.
- THALER, M., 2004: Fehler bei der Messung und Kalibrierung von Niederschlagswippen. Unveröff. Dipl. Arb. Inst. f. Siedlungswasserwirtschaft, TU-Graz, 105 S.
- Von UNOLD, G. and J. FANK, 2008: Modular Design of Field Lysimeters for Specific Application Needs. Water Air Soil Pollut: Focus 8:233-242. DOI 10.1007/s11267-007-9172-4.
- VAUGHAN, P.J., T.J. TROUT and J.E. AYARS, 2007: A processing method for weighing lysimeter data and comparison to micrometeorological  $ET_0$  predictions. Agricultural water management 88, 141-146.
- 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.
- YOUNG, M.H., P.J. WIERENGA and C.F. MANCINO, 1996: Large weighing lysimeters for water use and deep percolation studies. Soil Sci. 161, 491-501.