

Eine Methode zur Quantifizierung von Niederschlag und Verdunstung im Winter unter Klimawandelbedingungen

Markus Herndl^{1*}, Veronika Slawitsch² und Georg von Unold³

Zusammenfassung

Die Wasserbilanz auf einem Standort im alpinen Bereich, ist je nach Höhenlage mehr oder weniger vom Schneefall und der Verdunstung (Sublimation) im Winter beeinflusst. Die Quantifizierung des Niederschlages in Form von Schnee ist zwar möglich, aber oft nur durch aufwendige Methoden und Korrekturen genau ermittelbar. Auch die Verdunstung im Winter kann oft nur durch Modelle abgeschätzt werden. Für die Darstellung einer korrekten jährlichen Wasserbilanz an alpinen Standorten ist es aber notwendig, diese beiden Parameter möglichst genau zu quantifizieren. Monolithische Lysimeter sind in der Lage Niederschlag und Verdunstung hochpräzise zu ermitteln. In den Wintermonaten kommt es jedoch oft zu einer Verfälschung der Wiegesignale durch die Schneeauflast. Die von der Fa. UMS AG entwickelte mechanische Trennung der Schneeauflast von der umgebenden Schneedecke, kann die Gewichtsmessgenauigkeit eines monolithischen Lysimeters unter einer Schneedecke erhöhen. Um dieses Verfahren testen zu können, wurde im Klimamanipulationsexperiment „Lysi-T-FACE“ an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein im Versuchsjahr 2015 ein Lysimeter mit dem System ausgestattet. Die mechanische Trennung der Schneeauflast konnte im Testzeitraum die auftretenden Gewichtsschwankungen weitgehend reduzieren. Im Versuchsjahr 2016 wurden alle sechs Lysimeter mit dem System ausgestattet, wobei drei einer simulierten Temperaturerhöhung von 3°C und drei der Umgebungstemperatur im Winter ausgesetzt wurden. Erste Ergebnisse von zwei Lysimetern zeigen, dass bei Temperaturerhöhung die Verdunstung im Betrachtungszeitraum erhöht ist. Eine umfassende Bewertung der Effekte und der Tauglichkeit des Schneetrennsystems unter unterschiedlichsten Bedingungen und Schneehöhen kann aber erst bei einer mehrjährigen Betrachtung über alle Lysimeter gemacht werden.

Schlagwörter: Sublimation, Schneefall, Winterniederschlag, Schneewasserspeicher, Klimawandel

Summary

The water balance on a site in the alpine area is, depending on the altitude, more or less influenced by snowfall and by evaporation (sublimation) in winter. The quantification of snowfall is indeed possible, but can often be determined only by elaborate methods and corrections. Also the evaporation in winter can often be estimated only by models. However, to ensure a correct annual water balance in alpine locations, these two parameters must be determined as precisely as possible. Monolithic lysimeters are capable of detecting precipitation and evaporation. In the winter months, however, there is often a falsification of the weighing signals by the snow load. The mechanical separation of the snow load from the surrounding snow cover developed by UMS can increase the weight measurement accuracy of a monolithic lysimeter under a snow cover. In order to be able to test this method, a lysimeter was equipped with the system in the climate simulation experiment „Lysi-T-FACE“ at AREC Raumberg-Gumpenstein in the test year 2015. The mechanical separation of the snow load could largely reduce the occurring weight fluctuations during the test period. In 2016, all six lysimeters were equipped with the system, whereas three of them were subjected to a simulated temperature increase of 3 °C and three to the ambient temperature in winter. First results from two lysimeters show that evaporation during the period of observation is increased as the temperature increases. However, a comprehensive assessment of the effects and the suitability of the snow separation system under different conditions and snow levels can only be made with all lysimeter over a period of several years.

Keywords: sublimation, snowfall, winter precipitation, snow water reservoir, climate change

Einleitung

Die Wasserbilanz auf einem alpinen Standort ist je nach Höhenlage und Exposition in einem hohen Anteil vom Niederschlag in Form von Schnee und der Verdunstung (Sublimation) im Winter beeinflusst. Um eine korrekte und verlässliche jährliche Wasserbilanz auf diesen Standorten

erstellen zu können, müssen diese beiden Parameter im Winter möglichst genau ermittelt werden. Ungenauigkeiten wie etwa Unterschätzung des Winterniederschlages durch Windeinfluss oder Verdunstungsverluste am Niederschlagsmessgerät sind bekannt und nur durch aufwendige Konstruktionen zur Windabschattung vermeidbar (Rasmussen et al. 2001). Abschätzungen der Verdunstung im Winter sind

¹ Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein (HBLFA), Raumberg 38, A-8952 IRDNING-DONNERSBACHTAL

² Oppenberg 220, A-8786 ROTTENMANN

³ METER Group AG, Mettlacher Straße 8, D-81379 MÜNCHEN

* Ansprechpartner: Dr. Markus Herndl, markus.herndl@raumberg-gumpenstein.at



derzeit nur durch Experimente und Modellrechnungen möglich. Wever et al. 2009 zeigten, dass bei mittleren Windgeschwindigkeiten (5 ms^{-1}) und bei mittlerer relativer Feuchte (70%) bis zu 1 cm Schnee pro Tag verdunstet werden kann.

Der Alpenraum hat im letzten Jahrhundert eine überdurchschnittliche Erwärmung erfahren und gilt im Allgemeinen als besonders sensitiv für klimatische Änderungen (Casty et al. 2005). Die vom österreichischen Sachstandsbericht APCC „Klimawandel 2014“ prognostizierten veränderten Klimabedingungen in Form von erhöhten Temperaturen werden sich in den nächsten Jahrzehnten auch auf den Boden- und Pflanzenwasserhaushalt und damit auf die Wasserbilanz an einem Standort auswirken. Im Winter sind davon vor allem Schneedeckendauer, -mächtigkeit und -schmelze betroffen.

Um den Einfluss von Erderwärmung auf Wasserkreisläufe an einem inneralpinen Grünlandstandort quantifizieren zu können, wurde im Jahr 2011 ein Versuchskonzept an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein errichtet (Herndl et al. 2011). In diesem Beitrag soll eine Methode vorgestellt werden, die unter den auf der Anlage simulierten Erderwärmungsszenarien den Niederschlag und die Verdunstung im Winter quantifizieren kann.

Material und Methoden

Versuchskonzept zur Simulation der Erderwärmung im Grünland

Wie in Herndl et al. 2011 beschrieben, werden im Versuchskonzept „Lysi-T-FACE“ drei technische Konzepte

kombiniert um eine umfassende Bewertung des Einflusses der Faktoren der Erderwärmung auf einem inneralpinen Grünlandstandort unter Freilandbedingungen zu bekommen: (i) Infrarot-Heizungssystem zur Simulation von Erwärmung, (ii) miniFACE-System zur Simulation des Anstiegs der CO_2 -Konzentration der Luft und (iii) eine Lysimeter-Systemlösung, um Wasser- und Nährstoffkreisläufe unter den simulierten Bedingungen messtechnisch beschreiben zu können. Im Feldversuch an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wird dabei ein Wirtschaftsgrünlandpflanzenbestand einer Faktorkombination von zwei erhöhten Temperaturstufen und zwei gesteigerten CO_2 -Konzentrationen der Luft ausgesetzt. Im Versuchsfeld werden dabei die Hauptfaktoren in einem 3×3 Faktordesign auf 24 Grünlandparzellen aufgeteilt, wobei eine Faktorkombination auf dem Lysimeterhexagon vertreten ist (Abbildung 1).

Lysimeter-System

Das Lysimeter-System im Versuchskonzept „Lysi-T-FACE“ ergibt ein Lysimeterhexagon, das linear angeordnet ist und aus sechs Bodenmonolithen mit je 1 m^2 Oberfläche und 1,5 m Tiefe besteht. Die Sensorausstattung der wägbaren monolithischen Lysimeter ist auf die Tiefen 10, 30 und 50 cm konzentriert und umfasst TDR-Trime Sonden pico32 (IMKO GmbH) zur Bodenfeuchtebestimmung sowie mit Temperaturerfassung kombinierte Tensiometer T8-30 (UMS GmbH) zur Bestimmung des Matrixpotentials (Abbildung 2).

Für die korrekte Darstellung der Wasserbilanz und der Modellierung des Wasserflusses in den Lysimetern, muss eine genaue Datenkontrolle und Datenanalyse erfolgen. Dafür bieten wägbare monolithische Lysimeter die präzi-

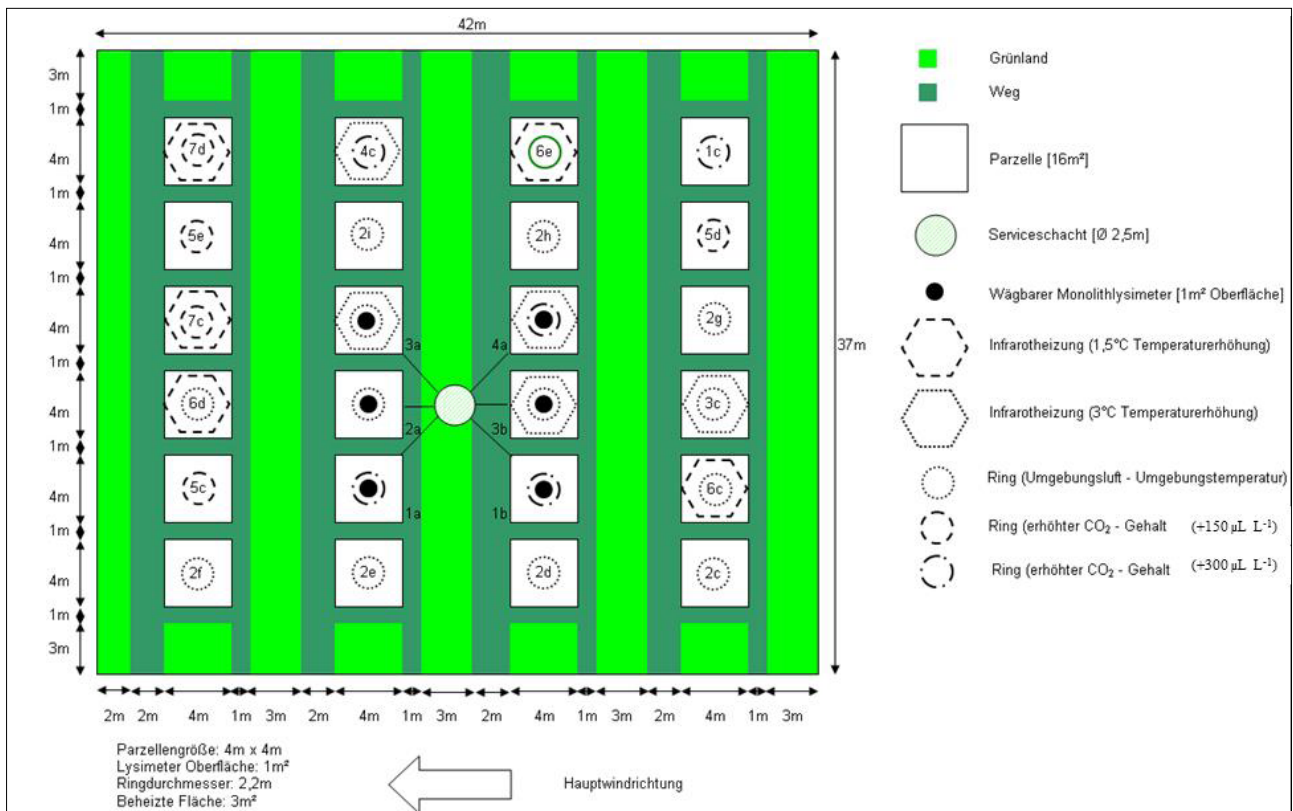


Abbildung 1: Feldversuchsplan mit den unterschiedlichen Varianten im Versuchskonzept „Lysi-T-FACE“ (aus HERNDL et al. 2011).

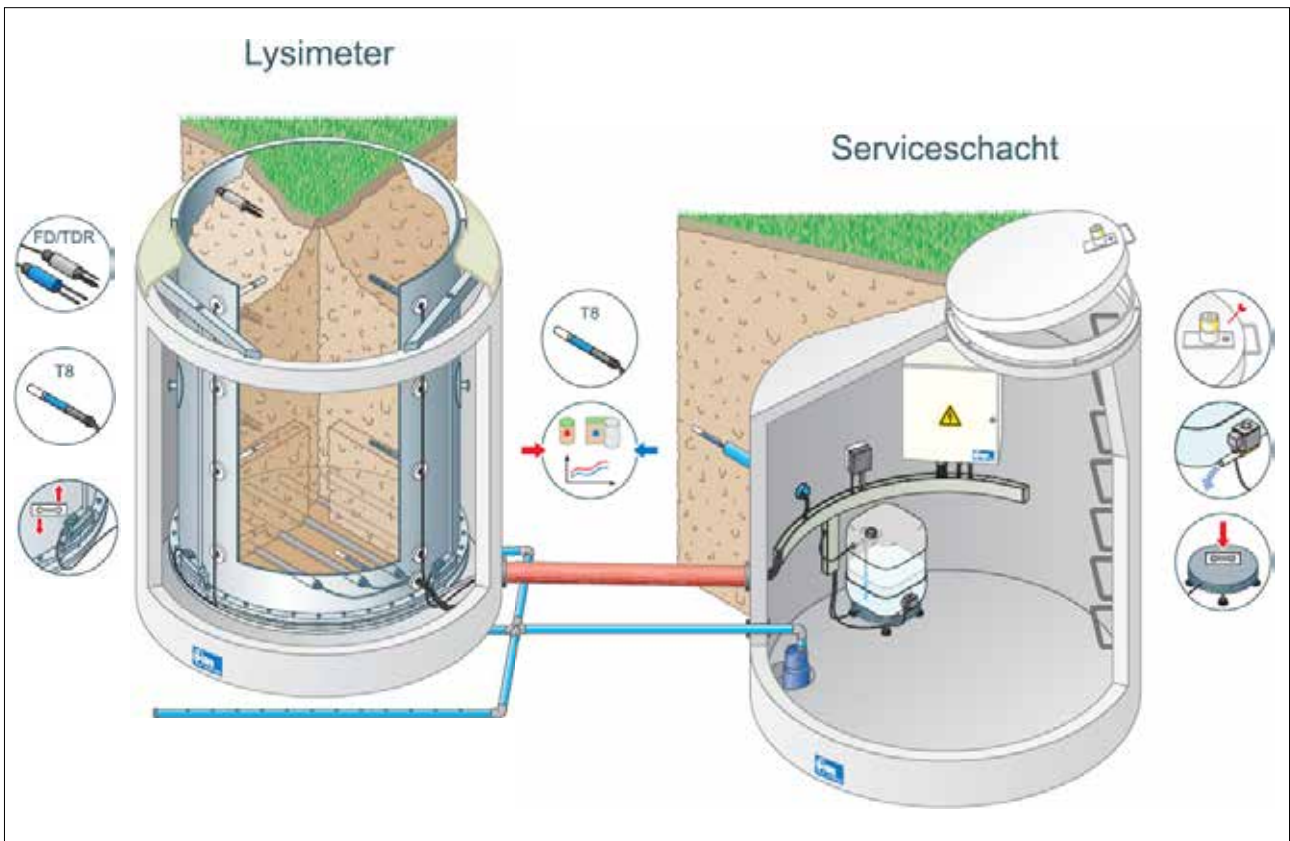


Abbildung 2: Sensorausstattung bzw. Schnitt durch den Lysimeter und den Serviceschacht im technischen Versuchskonzept „Lysi-T-FACE“ (aus HERNDL et al. 2011).

seste Information für Verdunstung und Niederschlag, da systematische Fehler weitgehend ausgeschaltet werden. Die Schwierigkeit bei der Interpretation von Niederschlag und Verdunstung besteht jedoch darin, reale Signale von Messrauschen und externen Einflüssen unterscheiden zu können.

Mechanische Trennung der Schneeauflast

Auf dem inneralpinen Versuchsstandort an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein fällt Niederschlag in einer mehr oder weniger langen Zeitspanne in Form von Schnee an, wobei es in den Wintermonaten oft zu einer Verfälschung der Wiegesignale durch die Schneeauflast kommt. Es entsteht das Problem, dass die Schneedecke Kräfte von der das Lysimeter umgebenden Fläche auf das Lysimeter überträgt.

Die von der Fa. UMS entwickelte mechanische Trennung der Schneeauflast auf dem Lysimeter von der umgebenden Schneedecke, kann die Gewichtsmessgenauigkeit eines Lysimeters unter einer Schneedecke erhöhen. Gemäß Gebrauchsmusterschutz 20 2009 000 642.5 wird ein Schneetrennverfahren eingesetzt, das durch Intervallauslenkung des Lysimetergefäßes die Sinterbrücken der Schneekristalle bricht. Das Verfahren lenkt das Lysimeter in einer Richtung aus, wobei durch die 3-Punkt-Aufhängung eine rotationssymmetrische Auslenkung (vgl. physikalisches Pendel) erzielt wird (Abbildung 3). Im Versuchskonzept Lysi-T-FACE wird diese optimierte Trenneinrichtung, die mittels zweier kardanis aufgehängten Schubstangen im 90° Winkel das Lysimeter erzwungen in X- und Y-Richtung auslenkt, seit 2015 eingesetzt (Abbildung 4). Mit dieser mechanischen Trennung der Schneeauflast soll es möglich sein

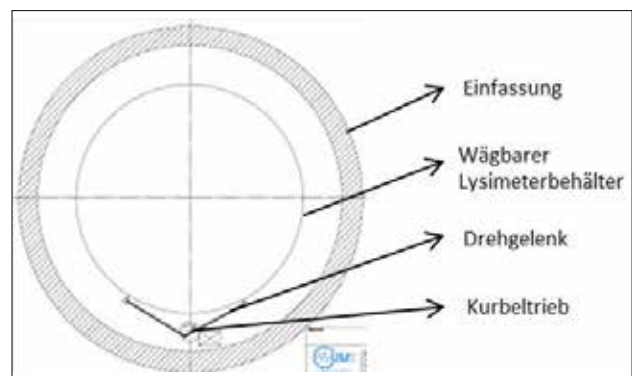


Abbildung 3: Schemadarstellung der mechanischen Trennung der Schneeauflast (UMS GmbH).



Abbildung 4: Lysimeteroberfläche nach erfolgter Trennung der Schneeauflast.

Niederschlag und Verdunstung im Winter unter simulierter Temperaturerhöhung möglichst genau messen zu können.

Ergebnisse und Diskussion

Lysimetergewicht unter Schneeauflast

Im Versuchsjahr 2015 wurde zu Testzwecken ein Lysimeter mit dem System der mechanischen Trennung der Schneeauflast ausgestattet. *Abbildung 5* zeigt die Änderung des Lysimetergewichtes eines Lysimeters mit und eines Lysimeters ohne Trennung der Schneeauflast bei Niederschlagsereignissen in Form von Schnee. In Abhängigkeit von Schneekonsistenz und Schneedeckenmächtigkeit kommt es ab einem gewissen Zeitpunkt zu Brückenbildungen in der Schneedecke welche Kräfte von der Umgebung auf das Lysimeter übertragen. Dabei kommt es zu Gewichtsschwankungen die nicht ursächlich mit Niederschlag oder Verdunstung zu tun haben. Die mechanische Trennung der Schneeauflast konnte in diesem Zeitraum und unter diesen Bedingungen die Schwankungen weitgehend

eliminieren. Aufgrund der vergleichsweise geringen Schneedeckenmächtigkeit im Winter 2015 konnte keine Analyse erfolgen bis zu welcher Schneehöhe das System erfolgreich die Sinterbrücken trennen kann. Weitere Untersuchungen dahingehend sind in den nächsten Jahren geplant.

Wasserspeicheränderung bei Schneeeakkumulation und -verdunstung

Lysimeter sind in der Lage Gewichtsänderungen und damit Wasserspeicheränderungen zu ermitteln. Im Winter sind dies bei gefrorenem Boden oft Änderungen im Wasserspeicher der Schneedecke. Nimmt das Lysimetergewicht zu, erhöht sich der Schneewasserspeicher in Folge von z.B. Schneeniederschlag. Nimmt das Lysimetergewicht ab, verringert sich der durch Verdunstung (Sublimation). Die Schneewasserspeicheränderungen bei Schneeeakkumulation und Schneeverdunstung

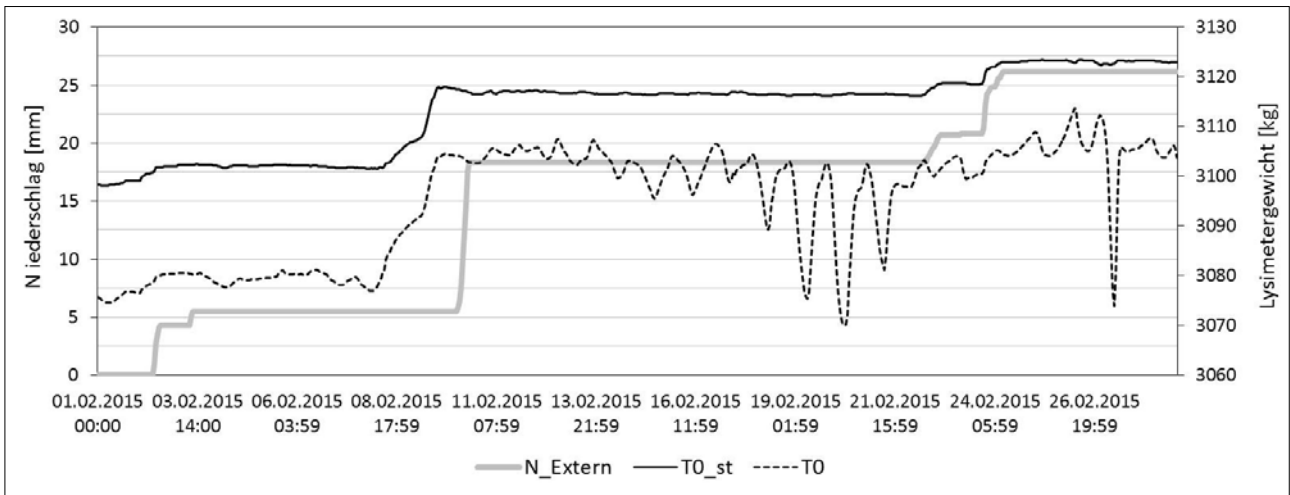


Abbildung 5: Niederschlag in Form von Schnee (externe Wetterstation) und Änderungen des Lysimetergewichtes mit (T0_st) und ohne (T0) Trennung der Schneeauflast.

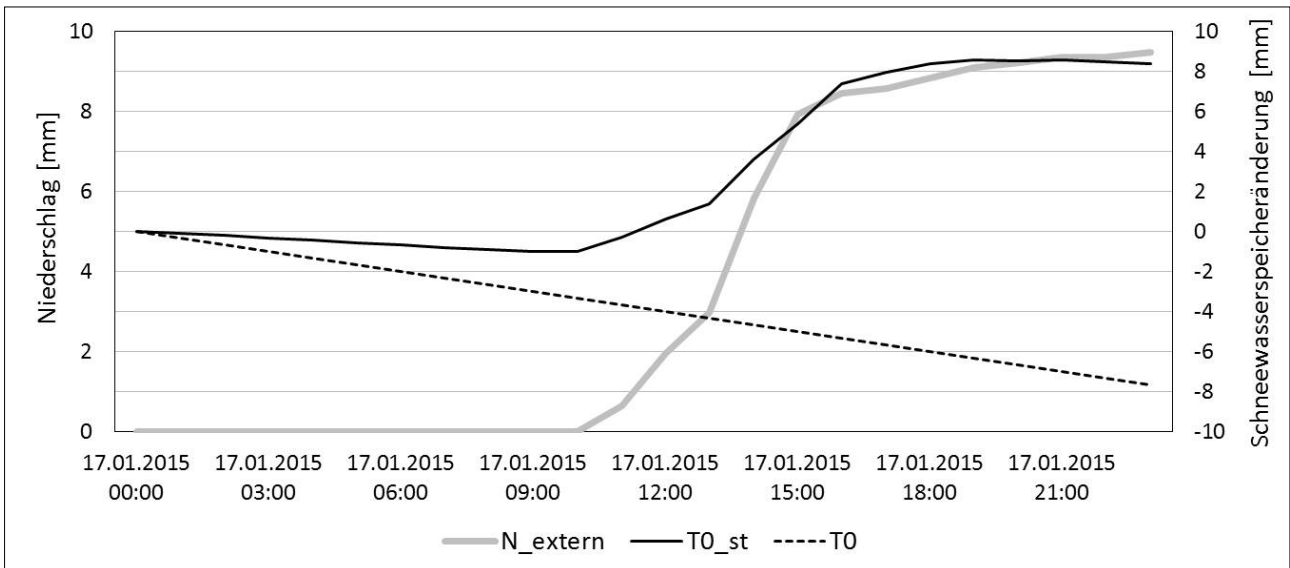


Abbildung 6: Niederschlag in Form von Schnee (externe Wetterstation) und Änderung des Schneewasserspeichers mit (T0_st) und ohne (T0) Trennung der Schneeauflast.

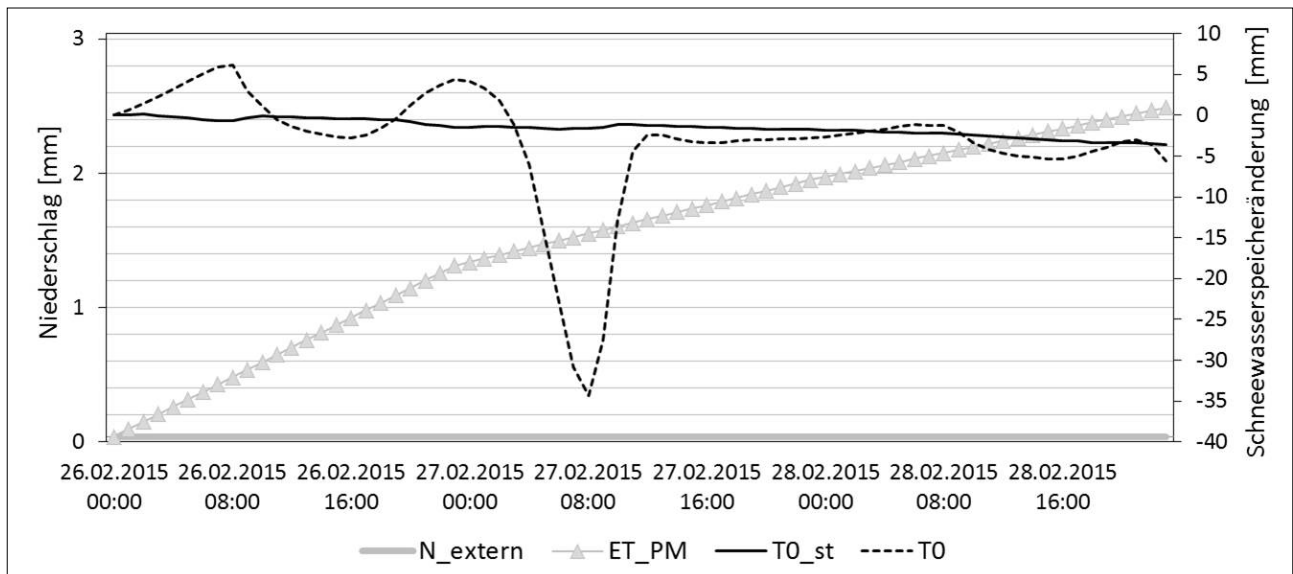


Abbildung 7: Verdunstung (ET_PM nach Penman-Monteith) und Änderung des Schneewasserspeichers mit (T0_st) und ohne (T0) Trennung der Schneeauflast.

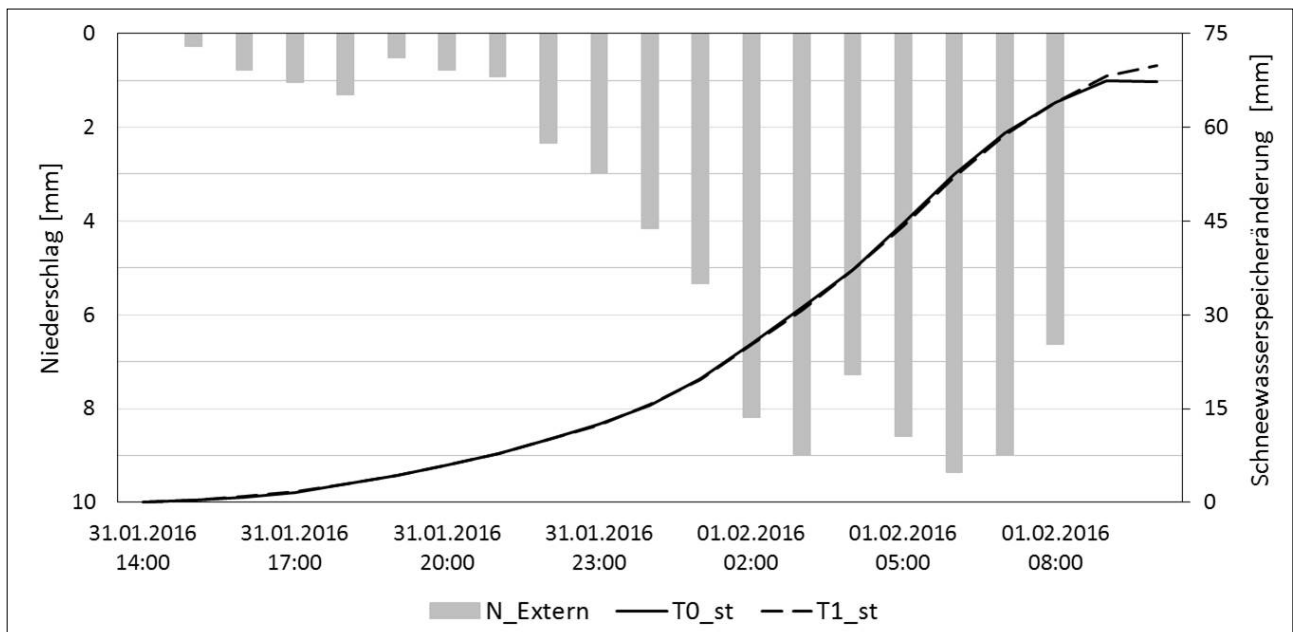


Abbildung 8: Niederschlag in Form von Schnee (externe Wetterstation) und Änderung des Schneewasserspeichers eines beheizten (T1_st) und unbeheizten (T0_st) Lysimeters mit Trennung der Schneeauflast bei Schneeakkumulation.

werden in *Abbildung 6* und *7* anhand eines Lysimeters mit sowie eines Lysimeters ohne Trennung der Schneeauflast gezeigt. Sowohl bei Akkumulations- als auch bei Verdunstungsvorgängen zeigt sich die Trennung der Schneeauflast als wirksam. Verglichen mit extern ermitteltem Niederschlag spiegelt das mit dem Schneetrennsystem ausgestattete Lysimeter sowohl die Dynamik als auch die absolute Höhe des Niederschlages wider. Da bei Schnee die Wasserkapazität unbeschränkt ist, sind die potenzielle und die aktuelle Verdunstung ident. Berechnungen der Referenzverdunstung nach Penman-Monteith (Allen et al. 1998) über den betrachteten Zeitraum zeigen, dass die Verdunstung annähernd gleich hoch ist wie die an den Lysimetern ermittelte (*Abbildung 7*).

Wasserspeicheränderung bei Schneeakkumulation und -verdunstung unter simulierter Temperaturerhöhung

Im Versuchsjahr 2016 wurden alle sechs Lysimeter mit dem System der mechanischen Trennung der Schneeauflast ausgestattet. Wie in *Abbildung 1* ersichtlich, wird dabei auf drei Lysimetern eine Temperaturerhöhung von 3°C simuliert, während auf drei Lysimeter die Umgebungstemperatur belassen wird. *Abbildung 8* zeigt die Schneewasserspeicheränderung bei Schneeakkumulation eines beheizten und unbeheizten Lysimeters. Auf Grund der minutengenauen Erfassung des Lysimetergewichtes zeigt sich in diesem Fall kein Unterschied im betrachteten Zeitraum. Da diese Ergebnisse nur exemplarisch und nur auf einen Lysimeter

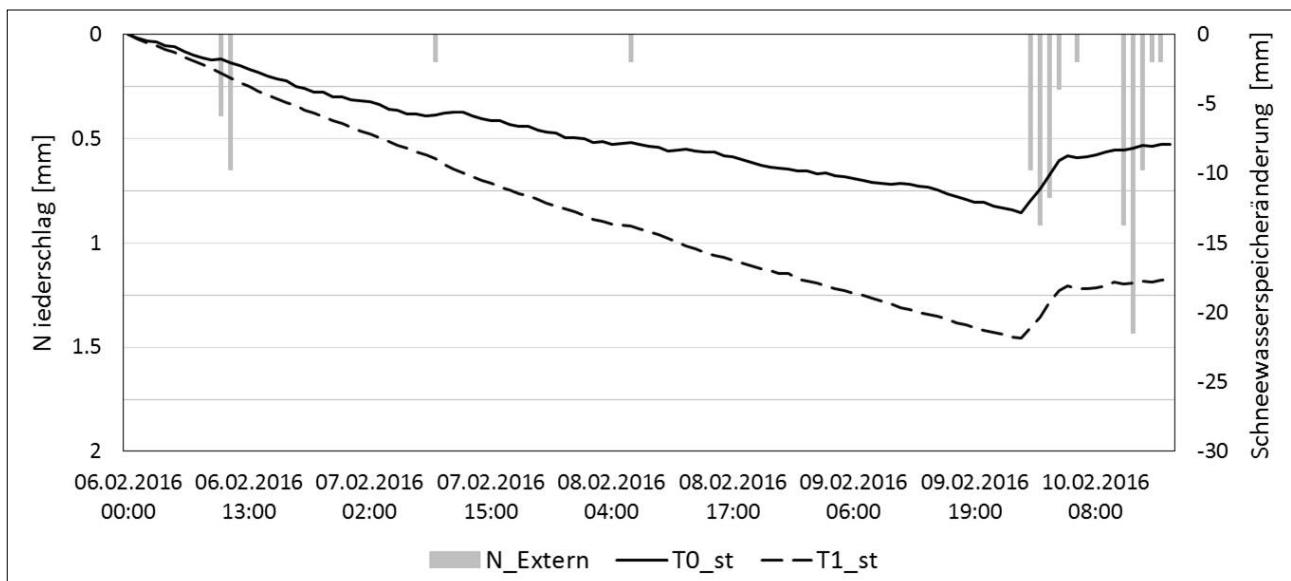


Abbildung 9: Niederschlag in Form von Schnee (externe Wetterstation) und Änderung des Schneewasserspeichers eines beheizten (T1_st) und unbeheizten (T0_st) Lysimeters mit Trennung der Schneeauflast bei Schneeverdunstung.

bezogen sind, kann auch noch keine abschließende Bewertung dahingehend gezogen werden. Gewichtsänderungen bei Verdunstungsphasen lassen an dem beheizten Lysimeter höhere Verdunstungsraten erkennen als an dem Lysimeter unter Freilandbedingungen (siehe *Abbildung 9*). Eine statistisch abgesicherte Bewertung der Effekte kann aber erst bei einer mehrjährigen Betrachtung über alle Lysimeter gemacht werden.

Danksagung

Die technische Anlage wurde mit Mitteln der HBLFA Raumberg-Gumpenstein bzw. des BMLFUW finanziert. Weiters danken wir der Firma UMS AG, München für die Errichtung der Lysimeterstation und der Schneetrenneinrichtung sowie bei der Mithilfe der Einrichtung der Infrarot- und Begasungsanlage.

Literatur

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., SMITH M. (1998) Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements - FAO

Irrigation and drainage paper 56 <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm>.

Casty C., Wanner H., Luterbacher J., Esper J., Böhm R. (2005) Temperature and precipitation variability in the European Alps since 1500. *International Journal of Climatology* 25: 1855-1880.

Herndl M., Pötsch E.M., Bohner A., Kandolf M. (2011) Lysimeter als Bestandteil eines technischen Versuchskonzeptes zur Simulation der Erderwärmung im Grünland. 14. Gumpensteiner Lysimetertagung 2011, LFZ Raumberg-Gumpenstein.

Rasmussen R., Baker B., Kochendorfer J., Myers T., Landolt S., Fischer A., Black J., Theriault J., Kucera P., Gochis D., Smith C., Nitu R., Hall M., Cristanelli S., Gutmann E. (2010) The NOAA/FAA/NCAR Winter Precipitation Test Bed: How well are we measuring snow? *Proceedings of Commission for Instruments and Methods of Observation (CI-MO)-(TECO)*. August 30- September 1, Helsinki, Finland.

Wever N., Lehning M., Clifton A., Ruedi J.-D., Nishimura K., Nemoto M., Yamaguchi S., Sato A. (2009) Verification of moisture budgets during drifting snow conditions in a cold wind tunnel, *Water Resour. Res.*, 45, W07423.