

# Einfluss des Klimawandels auf die Bodenwasserbilanz im inneralpinen Grünland

Veronika Slawitsch<sup>1\*</sup>, Steffen Birk<sup>1</sup>, Markus Herndl<sup>2</sup> und Erich M. Pötsch<sup>3</sup>

## Einleitung

Die weltweite Änderung des Klimasystems findet bereits statt. Österreich gehört dabei zu den Regionen, in denen die Temperaturzunahme stärker als im weltweiten Mittel ausfällt – und zwar etwa doppelt so stark. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts ist in Österreich die Lufttemperatur um 2 °C gestiegen (ZAMG, 2018; *Abbildung 1*). Die Jahresniederschlagssumme hat im österreichischen Mittel um 11 % zugenommen. Die Änderung der letzten 50 Jahre ist auf der Alpennordseite mit Zunahmen im Winter und Frühling am stärksten, die Alpensüdseite erfuhr ab 1980 eine starke Abnahme um 10 – 30 % (APCC, 2014).

Voraussetzung für eine erfolgreiche und produktive Grünlandwirtschaft ist die Verfügbarkeit von Wasser im Boden (Bodenwasserhaushalt). Aufgrund der erhöhten Lufttemperaturen, erhöhten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und unterschiedlichen Niederschlagsverteilung ist jedoch mit Veränderungen der Bodenwasserflüsse zu rechnen. Somit wird sich das Pflanzen- und Wurzelwachstum verändern und damit auch die Wasseraufnahme und Transpiration der Pflanzen.

Tendenziell führen die erhöhten Luft- und Bodentemperaturen zu einer längeren Vegetationsperiode in inneralpinen Lagen und daher zu einem verstärkten Pflanzenzuwachs im Grünland, oft jedoch auch zu einem erhöhten Verbrauch des

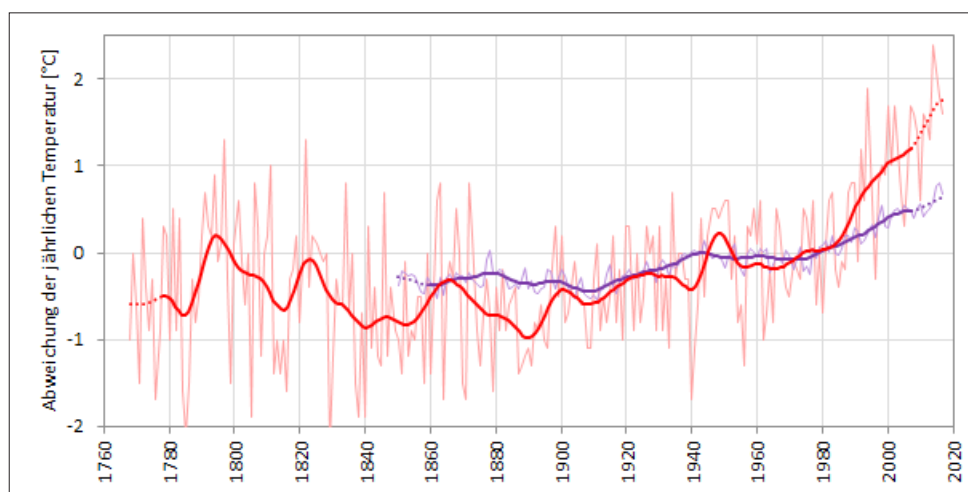
im Boden vorhandenen Wassers. Dies wiederum vermindert die Sickerwassermengen, die das Grundwasser Neubilden können.

Ziel dieser Arbeit ist es, mögliche Auswirkungen von erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und Temperaturen auf den Bodenwasserhaushalt, insbesondere die für die Grundwasserneubildung wichtige Sickerwassermenge, in alpinen Gebieten unter Dauergrünland besser zu verstehen.

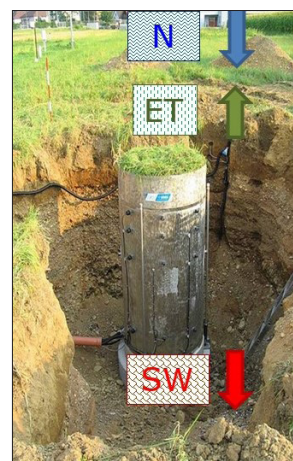
## Lysimeterexperiment

Der Einfluss von erhöhten Temperaturen und erhöhten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf die Bodenwasserbilanz wird anhand von sechs hochpräzisen Grünlandlysimetern (Technisches Messgerät zur Bestimmung von Bodenwasserflüssen in der Landwirtschaft; *Abbildung 2*) bestimmt. Dabei werden die Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag N, Evapotranspiration ET, Sickerwasser SW sowie die abgesetzten Niederschläge in Form von Tau und Reif (Groh und Slawitsch *et al.*, 2018) anhand der Massezunahme sowie der Massenabnahme der Lysimetergewichte mit höchster Auflösung nach genauen Datenkorrekturen berechnet (Slawitsch *et al.*, 2016).

Die Lysimeter sind in dem an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Steiermark, Österreich) entwickelten und dort bestehenden Freilandexperiment zur Klimafolgenforschung (ClimGrass) integriert (Pötsch *et al.*, 2019).



*Abbildung 1:* Entwicklung der mittleren Jahrestemperatur weltweit 1850 – 2016 (violett) und in Österreich 1767 – 2016 (rot) (ZAMG, 2018).



*Abbildung 2:* Darstellung eines Lysimeters mit berechneten Wasserbilanzparametern.

<sup>1</sup> Institut für Erdwissenschaften, Karl-Franzens Universität Graz, Heinrichstraße 26, A-8010 Graz

<sup>2</sup> Abteilung für Umweltökologie, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

<sup>3</sup> Abteilung für Grünlandmanagement, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

\* Ansprechpartner: Veronika SLAWITSCH, MSc, veronika.slawitsch@uni-graz.at



Dabei wird die Luft über zwei der sechs Lysimeter mit  $\text{CO}_2$  angereichert (+300 ppm; C2T0), an zwei weiteren werden die Flächen zur Untersuchung von Effekten erhöhter Temperaturen (C0T2) mit Infrarotstrahler beheizt. Für die Untersuchung des Klimawandeleffekts erfährt ein Lysimeter die Kombination aus  $\text{CO}_2$ -Anreicherung sowie Temperaturerhöhung (C2T2). Als Referenz dient eine unbehandelte Parzelle, die weder begast noch beheizt wird (C0T0).

Die Frage, ob und wie sich die Bodenwasserbilanzparameter an einem alpinen Grünlandstandort bei erhöhten Temperaturen als auch erhöhten  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen verändern werden, wird anhand der letzten 4 Vegetationsperioden (2015–2018) an der kombinierten Lysimeterparzelle (C2T2) verglichen mit der Referenzparzelle (C0T0) ermittelt.

## Ergebnisse

Die berechneten **Niederschlagsmengen** der Vegetationsperioden 2015 und 2016 weisen auf der Referenzparzelle (C0T0) für eine alpine Region nördlich des Alpenhauptkammes durchschnittliche Werte von 721 mm sowie 821 mm auf; das den Klimawandel simulierende Lysimeter (C2T2) zeigt hingegen geringere Niederschläge von 702 mm bzw. 792 mm. Der Grund dafür liegt in der geringeren nächtlichen Taubildung der beheizten und  $\text{CO}_2$ -angereicherten Parzelle. Das Jahr 2017 war ein überdurchschnittlich feuchtes Jahr, die Berechnungen zeigen allein von April bis Oktober einen Gesamtniederschlag an der C0T0-Variante von 900 mm. Die C2T2-Variante liegt wieder aufgrund der geringeren Taubildung bei 882 mm, jedoch aufgrund des niederschlagsreichen Sommers ca. 100 mm höher als in den Vorjahren. Das Jahr 2018 zählt zu einem der hydrologisch extremsten Jahre in der 251-jährigen Messgeschichte der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik. Die Niederschläge fielen speziell an der Alpennordseite äußerst gering aus, zudem wurde eine um  $1,8\text{ °C}$  gegenüber dem Mittel von 1981–2010 höhere Jahresmitteltemperatur ermittelt (ZAMG, 2018). Der Niederschlag am Referenzlysimeter C0T0 ergibt in der Vegetationsperiode eine nur äußerst geringe Menge von 629 mm, wovon allein 85 mm am 24.10.2018 verzeichnet wurden. Bis Ende September liegt der Niederschlag bei nur 520 mm und demnach um über 200 mm niedriger als in den Vorjahren. Das C2T2-Lysimeter verzeichnet auch in dieser Vegetationsperiode verglichen mit dem Referenzlysimeter geringere Niederschlagsmengen von 605 mm aufgrund der geringeren nächtlichen Taubildung (Abbildung 3).

Die Ergebnisse der Evapotranspirations- sowie Sickerwassermengen in den Vegetationsperioden 2015–2018 zeigen ebenfalls einen unterschiedlichen Verlauf der Klimawandelvariante verglichen mit den aktuellen Klimabedingungen. Dabei unterscheidet sich jedoch die Evapotranspiration aufgrund des starken  $\text{CO}_2$ -Effektes nicht so drastisch wie die

berechneten Sickerwassermengen an den unterschiedlich behandelten Lysimetern.

Die Jahre 2015 sowie 2018 mit  $+1,4\text{ °C}$  bzw.  $+1,8\text{ °C}$  über dem langjährigen Temperaturmittel (1981–2010) zählen zu den Top 5 der wärmsten Jahre in der 251-jährigen Messgeschichte der ZAMG (ZAMG, 2018).

Die **Evapotranspirationsmengen** weisen in diesen beiden Vegetationsperioden (2015 und 2018) an der Referenzparzelle 657 mm sowie 620 mm auf, das den Klimawandel simulierende Lysimeter zeigt im warmen, jedoch durchschnittlich feuchten Jahr 2015 etwas höhere Werte von 697 mm. Im Gegensatz dazu ändert sich die Evapotranspirationsmenge im warmen und in den zusätzlich äußerst trockenen Sommermonaten 2018, hier fällt die Evaporation sogar um knapp 30 mm ab. Das klimatisch durchschnittliche Jahr 2016 sowie das etwas feuchtere Jahr 2017 erreichen an der Referenzparzelle Evapotranspirationsmengen von April bis Oktober von 598 mm sowie 661 mm, das kombinierte C2T2-Lysimeter erreicht aufgrund des ausreichend hohen Niederschlags etwas höhere Werte von 687 mm sowie 673 mm (Abbildung 3).

Die Ergebnisse hinsichtlich des **Sickerwassers** unterscheiden sich von allen untersuchten Wasserbilanzgrößen an den beiden unterschiedlich behandelten Lysimetern am stärksten. Die Sickerwassermenge von April bis Oktober liegt in den beiden durchschnittlichen Niederschlagsjahren 2015 und 2016 an der C0T0-Parzelle bei 152 mm bzw. 209 mm; das den Klimawandel repräsentierende C2T2-Lysimeter errechnet hingegen deutlich geringere Sickerwassermengen von 43 mm bzw. 93 mm.

Das überdurchschnittlich feuchte Jahr 2017 weist in den Sommermonaten an beiden Versuchsvarianten sehr hohe Sickerwassermengen auf, die C0T0-Parzelle 236 mm, die kombinierte C2T2-Parzelle hingegen 172 mm und damit eine knapp 130 mm höhere Menge als in der beobachteten Vegetationsperiode 2015.

Das außerordentlich trockene Jahr 2018 spiegelt sich stark in den berechneten Sickerwassermengen wider. Das Referenzlysimeter weist ein Sickerwassermenge von April bis Oktober von nur 9 mm auf, das den Klimawandel simulierende Lysimeter hingegen von nur 1 mm auf. Aufgrund der erhöhten Temperatur und der zudem verstärkten Evapo-

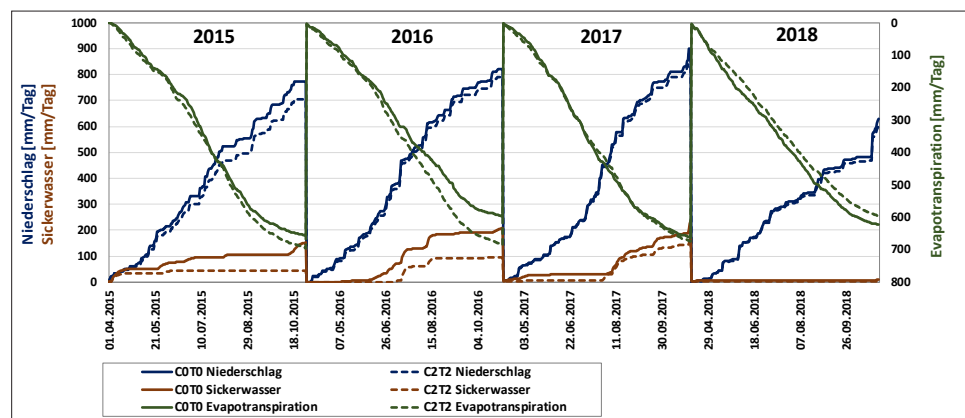


Abbildung 3: Kumulative Wasserbilanzparameter (Niederschlag / Evapotranspiration / Sickerwasser) in den Vegetationsperioden 2015–2018.

transpiration sowie zusätzlich sehr geringen Niederschlagsmengen ist in dieser Zeit nahezu keine Sickerwasserbildung möglich (Abbildung 3). Die zusätzliche Temperaturerhöhung durch Beheizung erhöht das Wasserdefizit derart, dass der Wasserbedarf der Pflanzen aus dem im Vorjahr gebildeten Bodenwasserspeicher gedeckt werden muss, was sich in ungewöhnlich niedrigen Matrixpotentialen und Bodenwassergehalten widerspiegelt.

Die **Differenz des Niederschlags gegenüber der Evapotranspiration** (Abbildung 4) fällt in den Vegetationsperioden 2015/2016 sowie 2017 an der C0T0-Parzelle überwiegend positiv aus, es steht in dieser Zeit mehr Niederschlag zur Verfügung als Wasser verdunstet. Gegensätzlich dazu zeigt das C2T2-Lysimeter im warmen, jedoch ausreichend feuchten, Jahr 2015 im Frühling sowie im Herbst eine negative Bilanz, die Verdunstung ist demnach größer als der Niederschlag. In den Sommermonaten 2016 überwiegen in Summe die positiven Flüsse des C2T2-Lysimeters, ebenso wie im Herbst des sehr feuchten Jahres 2017. Im Frühsommer 2017 sind jedoch stark negative Flüsse berechnet worden, in Summe zeigt sich in den genannten drei Jahren im Frühjahr eine ausgeprägte negative Bilanz. Der an der Alpennordseite niederschlagsarme sowie warme Sommer 2018 zeigt an der Referenzparzelle eine ab dem Frühjahr bis zum Ende der Vegetationsperiode stark negative Bilanz, zudem sind etwas größere negative Flüsse als an der Klimawandel simulierenden Parzelle C2T2 beobachtet worden. Unter den extremen Bedingungen des Jahres 2018 scheint also der Effekt der erhöhten  $\text{CO}_2$ -Konzentration jenen der Temperaturerhöhung etwa zu kompensieren (Abbildung 4). Aufgrund der Ergebnisse lässt sich ableiten, dass der verdunstungsmindernde Effekt erhöhter  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen unter ungewöhnlich trockenen und warmen Witterungsbedingungen an Bedeutung gewinnt.

## Schlussfolgerung

Die derzeitigen Klimaszenarien zeigen, dass ein weiterer Temperaturanstieg in Österreich zu erwarten ist. In der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts beträgt dieser etwa  $1,4^\circ\text{C}$  (gegenüber dem derzeitigen Niveau; APCC, 2014).

Auch zeichnet sich mit zunehmender Höhenlage eine stärkere Erwärmung ab. Niederschläge sind ein für die Landwirtschaft wesentlicher Produktionsfaktor, der bereits jetzt in manchen Gebieten wachstumslimitierend in Erscheinung tritt. Tendenziell werden Niederschläge nördlich des Alpenhauptkammes im Winter eher zunehmen, jedoch während der Vegetationsperiode abnehmen, wodurch auch im nördlichen Alpenraum mit zunehmend trockeneren Verhältnissen zu rechnen sein wird, auch wenn die Modelle noch mit einer hohen Unsicherheit verbunden sind (IPCC, 2018).

Die stärkere Temperaturzunahme sowie tendenziell geringere Niederschlagsraten wirken sich auf die Bodenwasserflüsse, insbesondere auf die für das Pflanzenwachstum notwendige Sickerwassermenge massiv aus, wovon vor allem landwirtschaftliche Gebiete nördlich des Alpenhauptkammes betroffen sein werden.

Im warmen und in den Sommermonaten trockenen Jahr 2018 wurden dazu bis zum Ende der Vegetationsperiode Lysimeterdaten des ClimGrass-Experimentes ausgewertet. Dabei wurden beim Referenzlysimeter von April bis Oktober 2018 unter ambienten, aktuellen Klimabedingungen äußerst geringe Sickerwassermengen von 9 mm, beim beheizten und  $\text{CO}_2$  begasten Lysimeter (zukünftiges Klima) Sickerwassermengen von sogar nur 1 mm ermittelt.

Die Lysimeterauswertungen zeigen sowohl durch den Vergleich des Jahres 2018 mit den etwa typischen Witterungsbedingungen repräsentierenden Jahren 2015/2016 und 2017 als auch durch den Vergleich der unterschiedlich behandelten Lysimeter, dass erhöhte Temperaturen die Evapotranspiration auf alpinem Dauergrünland verstärken und damit zu einer Abnahme der Differenz zwischen Niederschlag und Evapotranspiration führen. Die Auswertung der Wasserbilanzen des Lysimeters, welches mit  $\text{CO}_2$  und Temperatur behandelt wird, zeigt, dass die negativen Effekte von Erwärmung und Trockenheit auf die Wasserverfügbarkeit durch die verdunstungsmindernde Wirkung erhöhter  $\text{CO}_2$ -Konzentrationen zumindest teilweise kompensiert werden kann. Die Kombination von hohen Temperaturen und ausbleibenden Niederschlägen kann offenbar auch an grundsätzlich wasserreichen, alpinen Standorten zumindest

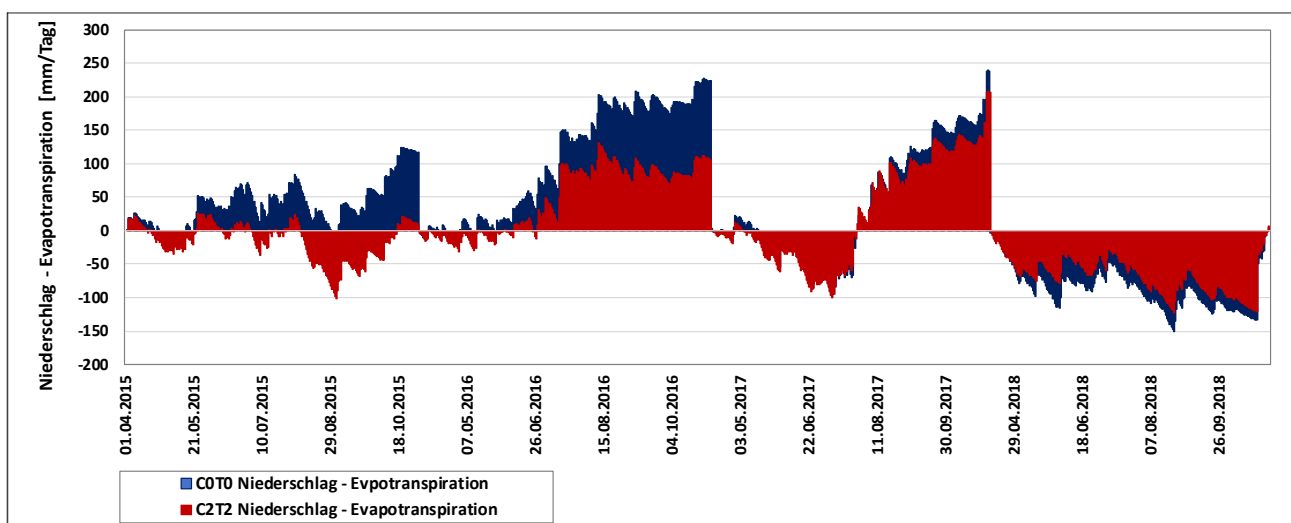


Abbildung 4: Tagesflüsse der Differenz Niederschlag – Evapotranspiration in den Vegetationsperioden 2015 – 2018.

temporär zu Defiziten in der Wasserbilanz führen, deren Folgen für alpine Ökosysteme und die Landwirtschaft weiterer Untersuchungen bedürfen.

## Literatur

- APCC (2014): Österreichischer Sachstandsbericht Klimawandel 2014 (AAR14). Austrian Panel on Climate Change (APCC), Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich, 1096 pp.
- Groh, J.; V. Slawitsch, M. Herndl, A. Graf, H. Vereecken and T. Pütz (2018): Determining dew and hoar frost formation for a low mountain range and alpine grassland site by weighable lysimeter. *Journal of Hydrology*, 372-381.
- IPCC (2018): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger: In: 1,5 °C globale Erwärmung. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, ProClim, Österreichisches Umweltbundesamt, Bonn/Bern/Wien, November 2018.
- Pötsch, E.M.; M. Herndl und A. Schaumberger (2019): Produktivität von Grünland unter zukünftigen Klimabedingungen. 25. Österreichische Wintertagung, 23-25.
- Slawitsch, V.; S. Birk and M. Herndl (2016): A lysimeter-based approach to quantify the impact of climate change on soil hydrological processes. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 18, EGU2016-15838.
- ZAMG (2018): <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimavergangenheit/neoklima/lufttemperatur> (Stand: 05.03.2018).