

Wasser- und Nährstoffflüsse in einem Grünlandökosystem am Almstandort Stoderzinken

Markus Herndl^{1*}, Martina Schink¹, Andreas Bohner¹, Antonia Gesslbauer¹ und Matthias Kandolf¹

Zusammenfassung

In Österreich sind rund 13% der Gesamtkatasterfläche Almflächen. Grünlandökosysteme auf Almen spielen daher flächenmäßig eine wichtige Rolle. Neben der landwirtschaftlichen Nutzung sind Almregionen wie z.B. die Nordöstlichen Kalkalpen aber auch sehr wichtig für die Trinkwasserversorgung. Um Wasser- und Stoffbilanzen auf einem repräsentativen Almstandort untersuchen zu können, wurde im Jahr 2005 an der Westseite des Stoderzinkens (1830 m), eine Gebirgslysimeter- und Wetterstation eingerichtet. Hohe jährliche Niederschlagsmengen, die Werte von bis zu 2600 mm erreichen können, eine kurze Vegetationsperiode und beträchtliche Sickerwassermengen, die Maxima von rund 2000 mm pro Monat erreichen können, charakterisieren den Standort über die fünf Versuchsjahre hinweg. Der durchschnittliche jährliche Eintrag über den Niederschlag am Standort Stoderzinken betrug für Stickstoff 10 kg und für Schwefel 5 kg ha⁻¹. Stoffausträge sind auf diesem Standort hauptsächlich über die Sickerwassermenge zur Schneeschmelze getrieben, welche z.B. bei Nitrat Frachten von bis über 5 kg pro ha und Monat erreichen können. Bilanziert man die gesamten jährlichen Stickstoffein- und -austräge in das System, entstehen über alle Jahre hinweg negative Salden. Damit das Grünlandökosystem auf dem Almstandort langfristig stabil bleibt, müssen diese negativen Salden dauerhaft ausgeglichen werden. Diese Funktion kann der Stickstoffpool im Boden übernehmen, der am Standort je nach Jahr 29-44 kg N ha⁻¹ potentiell nachliefern kann. Kurzfristige Störungen wie Trockenheit verbunden mit Frost aber auch die hohe Schneewasserschmelzmenge zeigen jedoch, dass je nach Jahreszeit und -witterung auch eine massive Verschiebung der Bilanzen möglich ist. Dies kann kurzfristig zu hohen Stickstofffrachten (auch organischer Stickstoff) führen, welche möglicherweise auch hinsichtlich Grundwasserschutzes relevant sein können.

Schlagwörter: Alm, Atmosphärische Deposition, Nährstofffracht, Nährstoffaustrag, Sickerwasser

Abstract

In Austria, about 13 % of the total cadastral areas are mountain pastures. Therefore, grassland ecosystems on mountain pastures play an important role in terms of area. Beside agricultural use, alpine regions like the north-eastern Limestone Alps are also very important for the drinking water supply. In order to investigate water and nutrient fluxes on a mountain pasture site, a mountain lysimeter and weather station was installed on the west side of Stoderzinken (1830 m a.s.l.) in 2005. High annual precipitation with values up to 2600 mm, a short growing season and considerable leachate quantities with maxima of around 2000 mm per month, characterize this site during five experimental years. The annual average deposition by precipitation at the site Stoderzinken was 10 kg for nitrogen and 5 kg ha⁻¹ for sulphur, respectively. Nutrient discharges are driven at this site mainly by quantity of seepage water during snow melting and goes up to 5 kg per ha and month for nitrate loads. Balancing the total annual nitrogen input and output in the system, a negative balance arises in all years. To remain a long-term stability of grassland ecosystem at the mountain pasture site, these negative balances must be permanently equilibrated. This function can take over the soil nitrogen pool that can potentially deliver 29-44 kg N ha⁻¹ at the site depending on the year. Short-term disturbances such as drought coupled with frost but also the high amount of snowmelt water, however, show that depending on the season and weather also a massive shift in the balance is possible. This can temporarily lead to high nitrogen loads (including organic nitrogen) which may also be relevant with regard to groundwater protection.

Keywords: mountain pasture, atmospheric deposition, nutrient load, nutrient leaching, seepage water

Einleitung

Österreich ist aufgrund der topographischen Gegebenheiten ein Land, das durch seine Almgebiete geprägt wird. Almfutterflächen, Almwald und unproduktive Almflächen bedecken rund 11 % des Staatsgebietes (9.459 km²) wobei

2012 rund 3.900 km² für die Fütterung nutzbar waren (KIRNER und WENDTNER 2012, BMFLUW 2013). Vor allem in den westlichen Bundesländern mit ihrem hohen Almfutterflächenanteil stellen Almen eine wichtige Futtergrundlage für landwirtschaftliche Betriebe dar. Die Bereitstellung zusätzlicher Futterfläche ist aber nur eine

¹ Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, A-8952 IRDNING

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



der vielfältigen Funktionen, welche Almbewirtschaftung erfüllen kann. Die Funktionen reichen von ökonomischen, ökologischen und soziokulturellen Aspekten bis hin zur Schutzfunktion (WAGNER et al. 2006). Die Herstellung von Milch, Milchprodukten oder Fleisch als wichtigster Teil der ökonomischen Funktion steht dabei sicherlich im Zentrum, aber auch der Erholungswert von Almen und die Erhaltung der Vielfältigkeit von Flora und Fauna stellen für Österreich ein wichtiges gesellschaftliches Gut dar. Bewirtschaftung der Almen und daraus folgernd die Schutzfunktion (Schutz vor Naturgefahren, Ressourcenschutz) werden gerade unter dem Aspekt der fortschreitend extremen Wetterverhältnisse immer wichtiger. Durch standortangepasste Nutzung der Almflächen kann zum Beispiel die Wasserspeicherfähigkeit im Boden verbessert werden, was wiederum bei Starkniederschlägen den Abfluss des Oberflächenwassers reduzieren kann. Eine weitere wichtige Schutzfunktion ist der Wasserschutz. Berggebiete und hier vor allem die Nördlichen und Südlichen Kalkalpen tragen zu rund 50% der österreichischen Trinkwasserversorgung bei (COST 65, 1995). Sowohl die Übernutzung der Almflächen als auch die Nutzungsaufgabe stellen eine Bedrohung für diese Ressource dar. Gerade in den Karstgebieten der Nördlichen Kalkalpen ist eine standortgerechte Nutzung eine Grundvoraussetzung für qualitativ hochwertiges Trinkwasser. Wegen der oft kurzen Verweilzeit des Wassers an der Oberfläche ist die Filter-, Puffer- und Transformationskapazität der Almvegetation und des -bodens so wichtig für die Qualität des Karstquellwassers. Um den Einfluss von Atmosphäre, Boden und Pflanze auf die Quantität und Qualität von Grundwasserneubildung auf einen Almstandort erforschen zu können, bedarf es langfristiger und umfassender Datenreihen zu Niederschlag, Verdunstung, Nährstoffentzug und -auswaschung.

Material und Methoden

Forschungsstation am Stoderzinken

Um den Anforderungen an Erfassung von langfristigen Datenreihen zu Wasser- und Stoffbilanzen auf einem Alm-

standort gerecht zu werden, wurde im Jahr 2005 an der Westseite des Stoderzinkens (1830 m Seehöhe), Obersteiermark, eine Forschungsstation errichtet (BOHNER et al. 2007). Mit Hilfe der Forschungsstation am Stoderzinken wird das primäre Ziel verfolgt, exakte Daten zu Einflussparametern auf den Wasser- und Nährstoffkreislauf in einem repräsentativen Almgebiet in den Nördlichen Kalkalpen zu liefern bzw. darauf aufbauend aktuelle und zukünftige Probleme und Fragestellungen zu Trinkwasserversorgung, Boden- und Grundwasserschutz zu bearbeiten und zu lösen.

Das Ausgangsgestein der Bodenbildung am Forschungsstandort ist Dachsteinkalk, wobei die Bodentypen charakteristisch für die Nördlichen Kalkalpen, ein Komplex aus mittel- bis tiefgründigem, krumenpseudovergleyten Kalkbraunlehm und flachgründiger Kalklehm-Rendzina sind (FLÜGEL und NEUBAUER 1984, BOHNER et al. 2007). Die Vegetation am Almstandort entspricht einer feuchten Ausbildung der Milchkrautweide (*Crepido aureae-Festucetum commutatae*). Die Forschungsstation am Stoderzinken besteht im Wesentlichen aus zwei Einheiten, einer Lysimeter- und einer Wetterstation.

Lysimeterstation

Die Lysimeterstation besteht aus einem wägbaren monolithischen Lysimeter (Oberfläche = 1 m²; Tiefe = 0,9 m), einem monolithischen Bodenwassersammler (Oberfläche = 0,071 m²; Tiefe = 0,6 m) sowie einem Freilandmessprofil (Abbildung 1). Messtechnik und Messmethodik sind in BOHNER et al. (2007) und HERNDL et al. (2009) beschrieben.

Wetterstation

Die Wetterstation besteht aus einer Basis-Wetterstation, wo in 2 m Höhe Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Globalstrahlung, relative Feuchte und Lufttemperatur gemessen werden. Der Niederschlag kann durch ein laseroptisches Distrometer, eine Niederschlagswaage, vier Niederschlagsammler im Sommer und ein Schneekissen mit Schneehöhensensor zusätzlich im Winter ermittelt werden (Abbildung 2).

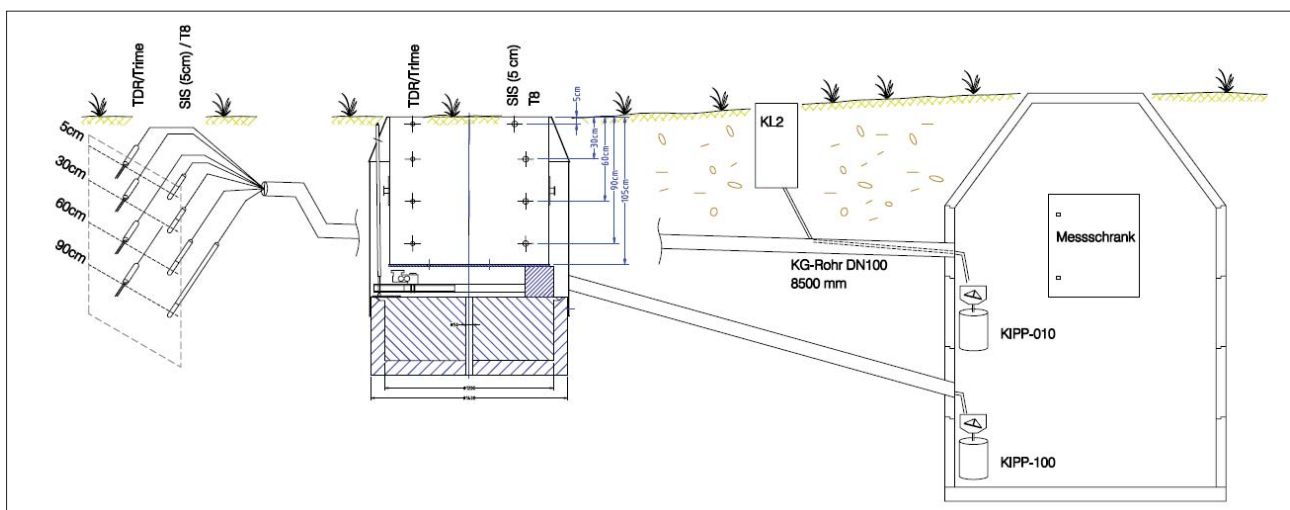


Abbildung 1: Technische Ausstattung der Lysimeterstation am Standort Stoderzinken.



Abbildung 2: Technische Ausstattung der Wetterstation am Standort Stoderzinken.

Laboranalyse und Auswertung

Die Niederschlags- und Sickerwasserproben werden im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein analysiert. Mittels Ionenchromatografie und Photometer werden die Kationen Ca, Mg, K, Na, NH₄ und die Anionen PO₄, SO₄, NO₂, NO₃ und Cl analysiert. Zusätzlich werden der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit ermittelt (ROHRER 2011). Um den potentiell mobilisierbaren Stickstoff im Boden abschätzen zu können, wurde folgende Formel bzw. Annahme herangezogen:

$$N - \text{Vorrat im Boden [kg m}^{-2}] = \frac{\text{Gesamtstickstoff [\%]} * \text{Lagerungsdichte} \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right]}{\text{Horizontmächtigkeit [dm]} * 100}$$

Potentiell mineralisierbarer Stickstoff = N-Vorrat * 0,005¹⁾

¹⁾ empirisch unterstellte Mineralisierungsrate (BOHNER, pers. comm.)

Ergebnisse und Diskussion

Bodenkennwerte und Ertragsniveau

Der Bodentyp des Bodenmonolithen im Lysimeter ist als krumenpseudovergleyter Kalkbraunlehm klassifiziert, wobei der A-Horizont von 0-3 cm, der Übergangshorizont APB von 3-9 cm, der B-Horizont von 9-15 cm und der C-Horizont > 15 cm reicht. Die Bodenart in den obersten 10 cm ist als schluffiger Lehm bzw. im Unterboden als Ton (auf Grus) eingestuft (Tabelle 1). Typisch für Gebirgsböden weisen die Nährstoffgehalte in den obersten 10 cm einen hohen C_{org} und Gesamtstickstoffgehalt auf. Das C:N-Verhältnis von 11:1 ist ein charakteristisches Kennzeichen für wenig produktive Gebirgsböden (Bohner et al. 2010). Hinsichtlich

Tabelle 1: Kennwerte des Bodenmonolithen im Lysimeter.

Horizont	ρ_b g/cm ³	nFK Vol%	Sand %	Schluff %	Ton %	pH-Wert in CaCl ₂	C _{org} %	N _{tot} %	S _{tot} %	P _{CAL} mg kg ⁻¹
ABP [0-10 cm]	0,64	41,8	20	60	20	5,6	6,6	0,6	0,07	11
C [>15 cm]	0,85	46,0	9	33	58	7,4	0,9	0,1	0,03	0

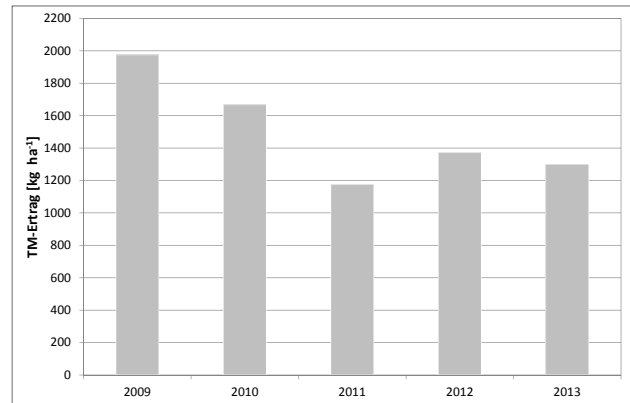


Abbildung 3: Trockenmasseertrag am Lysimeter.

des Ertrages am Standort zeigt sich eine hohe jährliche Variabilität. Der Trockenmasseertrag reichte von knapp unter 12 dt TM ha⁻¹ im Jahr 2011 bis rund 20 dt TM ha⁻¹ im Jahr 2009 (Abbildung 3). Sieht man sich die Ertragsentwicklung über die fünf Jahre an, scheint sich das Ertragsniveau am Standort um rund 13 dt TM ha⁻¹ zu stabilisieren. Dieses Ertragsniveau stimmt gut mit Ergebnissen aus dem steirischen Almprojekt überein, wo für einen vergleichbaren Standort ein durchschnittlicher Bruttoertrag von 11 dt TM ha⁻¹ quantifiziert wurde (PÖTSCH et al. 1998).

Niederschlags- und Sickerwasserkennwerte

In den hydrologischen Jahren 2008/09, 2009/10, 2010/11, 2011/12 und 2012/13 fielen jeweils 1607, 1983, 1989, 2354 und 2636 mm Niederschlag. Die Sickerwassermengen in diesem Zeitraum betragen 2945, 1127, 1142, 3532 und 3837 mm, was für 08/09 183% für 09/10 und 10/11 57% für 11/12 150% und 12/13 146% der Niederschlagsmenge entspricht (Tabelle 2). Die hohen Mengen an Winterniederschlägen in den Jahren 08/09, 11/12 und 12/13, verbunden mit der Lage des Lysimeters und dem Problem von Schneeverfrachtungen wie in SCHINK et al. 2013 beschrieben, führen zu den im Vergleich überproportionalen Sickerwassermengen. Auffallend sind darüber hinaus die extrem hohen Sickerwasserspenden in den Monaten April und Mai, die Austragsmengen von über 2000 mm pro Monat erreichen können (Abbildung 4). Diese Extrema fallen in der Zeit der Schneeschmelze an, wo im Maximum eine Schneedecke von über 2,5 m in diesen 2 Monaten geschmolzen wird (SCHINK et al. 2013). Diese Dynamiken zeigen die große Bedeutung von Schneeakkumulation und Schneeschmelze für die jährliche Grundwasserneubildung auf diesem Standort.

Stoffeinträge über die Atmosphäre sind für Gebirgsökosysteme wichtige und mitunter oft einzige externe Nährstoffquellen. Vor allem Schwefel- und Stickstoffverbindungen, die zum größten Teil über den Niederschlag eingetragen

Tabelle 2: Jährliche Nährstoffein- und -austragsmengen im Lysimeter.

Jahr	Art	Menge mm	N _{anorg} ¹⁾	N _{org}	P	Ca	Mg	S	K	Cl
						kg ha ⁻¹				
2009	Niederschlag	1607	5,4	2,6	0,6	46,7	7,7	3,5	9,0	7,8
	Sickerwasser	2945	8,5	0,5	0,1	943,4	124,0	6,6	3,5	4,6
2010	Niederschlag	1983	3,5	6,0	0,7	138,8	11,0	2,7	12,6	8,2
	Sickerwasser	1127	2,7	1,6	<0,1	546,8	72,7	1,8	2,5	2,4
2011	Niederschlag	1989	6,5	4,5	0,5	32,8	3,4	4,3	5,7	7,5
	Sickerwasser	1142	1,9	1,0	0,1	445,8	46,1	1,6	1,5	3,6
2012	Niederschlag	2354	5,3	5,7	0,4	46,4	18,2	7,4	10,9	8,1
	Sickerwasser	3532	6,8	5,8	0,6	835,4	78,2	11,4	10,5	9,0
2013	Niederschlag	2636	4,6	5,7	0,1	60,9	14,7	3,3	8,5	4,3
	Sickerwasser	3837	6,2	5,5	0,3	1040,1	125,3	5,0	5,0	2,9

¹⁾ N_{anorg} = NH₄-N+NO₂-N+NO₃-N

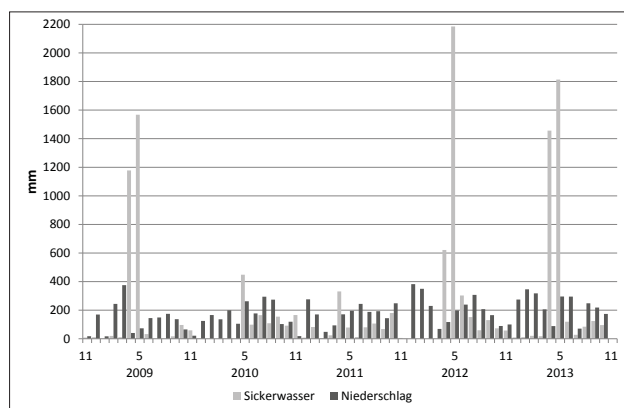


Abbildung 4: Monatliche Niederschlags- und Sickerwassersummen.

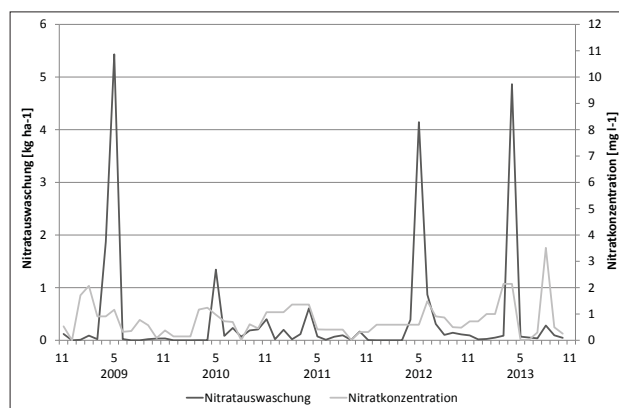


Abbildung 5: Monatliche Nitratauswaschung und durchschnittliche monatliche Nitratkonzentration im Sickerwasser.

Tabelle 3: Mittlere jährliche Nährstoffkonzentration im Niederschlag und Sickerwasser.

Jahr	Art	NO ₃	PO ₄	Ca	Mg mg l ⁻¹	SO ₄	K	Cl
2009	Niederschlag	1,63	0,14	2,72	0,85	0,70	0,79	0,35
	Sickerwasser	0,85	0,01	39,49	8,25	0,78	0,32	0,21
2010	Niederschlag	0,70	0,04	7,26	0,42	0,42	1,16	0,45
	Sickerwasser	0,67	0,00	43,74	7,22	0,85	0,25	0,20
2011	Niederschlag	1,02	0,01	1,60	0,14	0,82	0,28	0,30
	Sickerwasser	0,72	0,00	35,09	4,38	0,45	0,11	0,35
2012	Niederschlag	0,71	0,02	3,21	0,33	1,36	0,63	0,31
	Sickerwasser	0,87	0,00	31,79	4,12	0,65	0,19	0,22
2013	Niederschlag	1,26	0,01	2,15	0,43	0,35	0,38	0,18
	Sickerwasser	0,97	0,00	37,03	6,07	0,45	0,09	0,47
		±1,15	±0,00	±7,36	±3,80	±0,20	±0,04	±1,03

werden, sind (neben der N₂-Fixierung durch Leguminosen) für diese Systeme entscheidend. Der mittlere jährliche Eintrag von Stickstoff und Schwefel über den Niederschlag betrug am Standort Stoderzinken 10 bzw. 4 kg ha⁻¹. Untersuchungen der TU Wien im Auftrag der Steiermärkischen

Landesregierung zeigten im fünfjährigen Durchschnitt für eine vergleichbare Station in der Nähe eine nasse Deposition von Stickstoff von 14 kg ha⁻¹ und für Schwefel von 2 kg ha⁻¹ und Jahr was gut mit den Werten am Stoderzinken übereinstimmt (SCHREINER 2013). Wie bereits in HERNDL

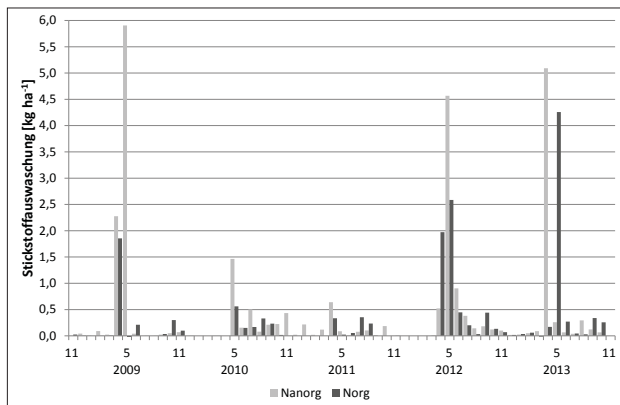


Abbildung 6: Monatliche Stickstoffauswaschung im Sickerwasser (N_{org} = organisch gebundener Stickstoff, N_{anorg} = $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$).

et al. (2009) in ersten Ergebnissen gezeigt, fallen bei den jährlichen Austragsmengen mit dem Sickerwasser die hohen Ca- und Mg-Mengen auf (Tabelle 2). Die durchschnittlichen jährlichen Austragsmengen sind mit 762 und 89 kg ha^{-1} fast 3-mal so hoch wie im Dauergrünland an einem Talstandort (SEEBACHER 2008), wobei die Hauptursachen sicherlich das Ausgangsgestein (Dachsteinkalk) und die vergleichsweise hohen Sickerwassermengen sind. Die Nitratauswaschung verlief in der Vegetationszeit von Juni bis September auf einem gleichmäßigen Niveau von monatlich unter 1 $\text{kg NO}_3 \text{ ha}^{-1}$ (Abbildung 5). Zur Schneeschmelze im April und Mai war ein starker Anstieg zu beobachten (bis 5,4 $\text{kg NO}_3 \text{ ha}^{-1}$), der zum einen auf die hohen Sickerwasserspenden in diesen Monaten zurückzuführen ist und zum anderen auf die Tatsache, dass kein Entzug durch die Vegetation in dieser Periode stattfand. Diese hohen Frachten reichen an Werte für güllegedüngtes Wirtschaftsgrünland heran (HERNDL et al. 2013). Die Nitratkonzentrationen im Sickerwasser erreichten im jährlichen Verlauf ihren höchsten Wert meist vor der Schneeschmelze, was vermutlich auf die Akkumulation über den Winter hin deutet. Die maximale Nitratkonzentration über die Jahre 2009–2013 hinweg war 14,7 mg l^{-1} bei einer mittleren Konzentration von 0,8 mg l^{-1} (Tabelle 3). Sieht man sich die Stickstoffauswaschung im Lysimeter genauer an, fällt auf, dass in bestimmten Jahren und zu gewissen Zeitpunkten im Verhältnis mehr organischer als anorganischer Stickstoff ausgewaschen wird (Tabelle 2; Abbildung 7). Vergleicht man die Zeitpunkte der verstärkten Auswaschung mit Daten aus der Bodentemperatur und -feuchte in 5 cm Tiefe, zeigen die Werte für den November 2011 und 2012 eine relative Trockenheit verbunden mit Frost in 5 cm Bodentiefe. Wie GROGAN et al. (2004) aufzeigt, kann es nach Frost/Tau-Zyklen zu vermehrter Auswaschung von organischem Stickstoff kommen. Sieht man sich die Daten in Abbildung 6 und 7 an, kann man eine Tendenz, ausgelöst von Bodenfrost verbunden mit relativer Herbsttrockenheit dahin gehend vermuten.

Stickstoffbilanzierung

Für die Stickstoffbilanzierung wurde die jährliche N-Zufuhr (Deposition aus dem Niederschlag) mit der N-Abfuhr (er-

Tabelle 4: Gesamtstickstoff (N_{tot}), Stickstoffvorrat (N_{vor}) und potentiell mineralisierbarer Stickstoff (N_{pmin}) im ABP-Horizont [0–10 cm] des Bodens am Standort Stoderzinken.

Jahr	N_{tot} %	N_{vor} kg ha^{-1}	N_{pmin}
2009	0,90	5763,2	28,8
2010	1,03	6601,6	33,0
2011	1,32	8448,0	42,2
2012	0,94	6016,0	30,1
2013	1,38	8832,0	44,2

Tabelle 5: Stickstoffbilanzen am Lysimeter.

Jahr	N-Zufuhr ¹⁾	N-Abfuhr ²⁾	Saldo	N-Fracht ³⁾
			kg ha^{-1}	
2009	8,6	39,4	-30,8	9,0
2010	9,6	22,4	-12,8	4,3
2011	10,0	k.A.	k.A.	2,5
2012	11,3	26,7	-15,4	12,7
2013	9,1	22,1	-13,0	11,8

¹⁾ Stickstoffdeposition aus dem Niederschlag, ²⁾ Stickstofftrockenmasseertrag, ³⁾ Gesamtstickstofffracht im Sickerwasser

rechnet aus der N-Konzentration der Biomasse multipliziert mit dem Jahrestrockenmasseertrag) verrechnet. Da auf dem Lysimeter über alle Versuchsjahre keine Leguminosen antraten, musste die N_2 -Fixierung als weiterer wichtiger Parameter der N-Zufuhr weggelassen werden. Sieht man sich die Bilanzen über alle fünf Jahre an, fallen die Salden in allen Jahren negativ aus (Tabelle 5). Addiert man zu Salden die N-Frachten über das Sickerwasser, die ebenso dem Ökosystem verloren gehen, ergibt sich über die Jahre ein Bereich von -17 bis -40 kg N ha^{-1} . Damit das Grünlandökosystem stabil bleibt, müssen diese negativen Salden langfristig ausgeglichen werden. Diese Funktion kann der Stickstoffpool im Boden übernehmen, der generell in Grünlandböden relativ hoch ist und im Speziellen in Gebirgsböden vor allem im Oberboden akkumuliert ist (BOHNER et al. 2010). Der potentiell mineralisierbare Stickstoff im Boden am Standort Stoderzinken bewegt sich je nach Jahr in einer Spannweite von 29–44 kg N ha^{-1} (Tabelle 4). Diese Tatsache plus die Erkenntnis, dass der Ertrag sich auf ein stabiles Niveau eingependelt hat, zeigt, dass die Stickstoffbilanz im Ökosystem langfristig stabil sein kann, wenn nicht ein Teil der Bilanz ins Ungleichgewicht gebracht wird. Kurzfristige Störungen wie Trockenheit verbunden mit Frost, aber auch die hohe Schneewasserschmelzmenge zeigen jedoch, dass je nach Jahreszeit und -witterung auch eine massive Verschiebung der Bilanzen möglich ist. Dies kann kurzfristig zu hohen Stickstofffrachten führen, welche möglicherweise auch hinsichtlich Grundwasserschutz relevant sein können.

Danksagung

Die Forschungsstation am Stoderzinken wurde mit Mitteln der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19A, und des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft finanziert. Weiters danken wir der Firma

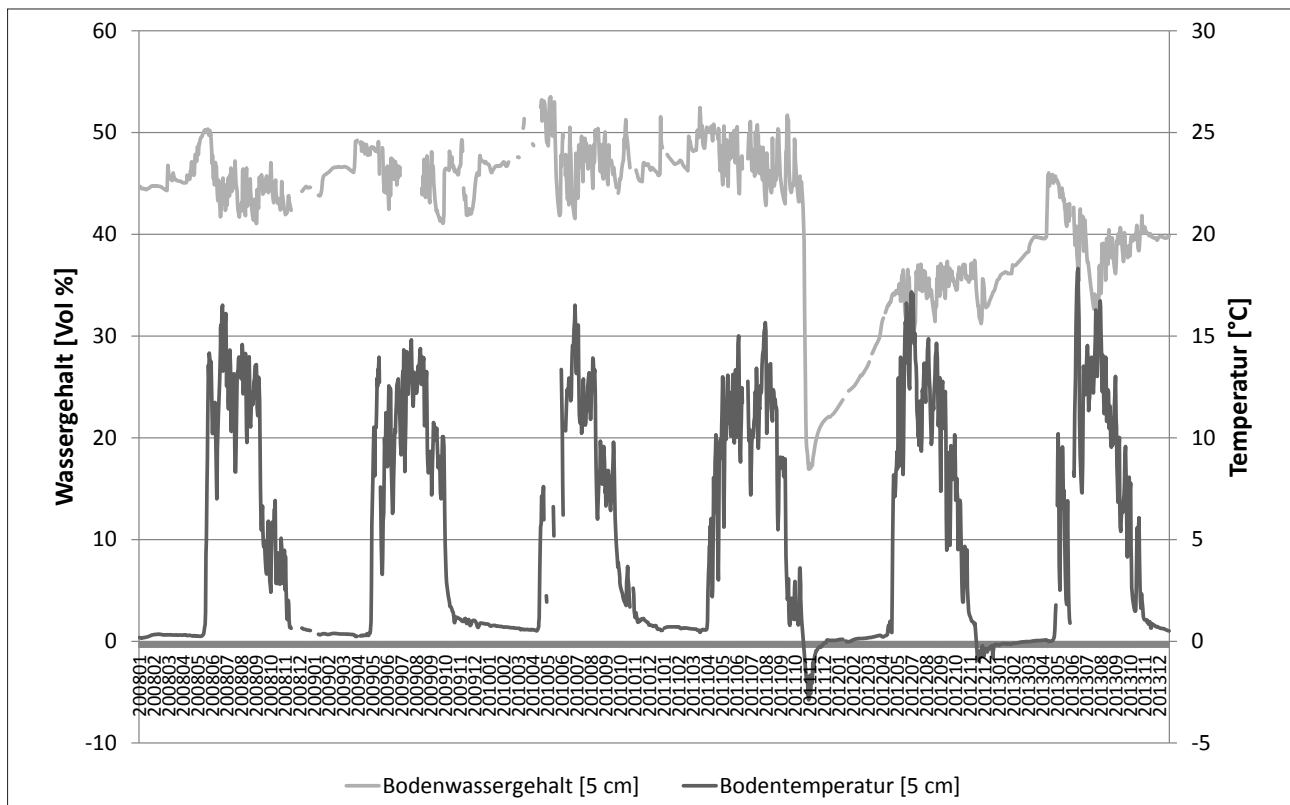


Abbildung 7: Mittlerer täglicher Wassergehalt und Temperatur in 5 cm Bodentiefe im Lysimeter.

UMS GmbH, München für die Planung, Errichtung und Wartung der Forschungsstation.

Literatur

- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2013: Grüner Bericht 2012. Bericht über die Lage der Österreichischen Landwirtschaft 2012. BMLFUW, Wien.
- BOHNER, A., M. SCHINK und G. EDER, 2007: Eine Gebirgs-Lysimeterstation am Stoderzinken (Österreich, Steirisches Ennstal) in 1830 m Seehöhe -Messeinrichtung und Forschungsziele. 12. Gumpensteiner Lysimetertagung, 17.-18. April 2007, Bericht Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, 173-175.
- BOHNER, A., 2010: Eigenschaften und Merkmale von Almböden. Mitt. der Österr. Bodenkundl. Ges., Heft 77, 65-76.
- COST 65, 1995: Hydrogeological aspects of Groundwater Protection in Karstic Areas. Final Report (COST Action 65). European Commission Directorate-General XII Science, Research and Development, Report EUR 16547 EN, Brussels.
- DIEPOLDER, M. und S. RASCHBACHER, 2011: Erträge, Futterqualität und Nährstoffgehalte des Sickerwassers bei unterschiedlicher Grünlanddüngung. Schule und Beratung, Heft 3-4/11, III-18-23. Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- FLÜGEL, H.W. und F. NEUBAUER, 1984: Steiermark. Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen. Geologische Bundesanstalt Wien, 127 S.
- GROGAN, P., A. MICHELSEN, P. AMBUS und S. JONASSON, 2004: Freeze-thaw regime effects on carbon and nitrogen dynamics in sub-arctic heath tundra mesocosms. *Soil Biology & Biochemistry*, 36, 641-654.
- HERNDL, M., A. BOHNER und M. KANDOLF, 2009: Gebirgs-Lysimeterstation am Stoderzinken - Erste Ergebnisse. 13. Gumpensteiner Lysimetertagung, 21.-22. April 2009, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein, 111-116.
- KIRNER, L. und S. WENDTNER, 2012: Ökonomische Perspektiven für die Almwirtschaft in Österreich im Rahmen der GAB bis 2020 und nach Auslauf der EU-Milchquote, Forschungsbericht der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft, Arbeitsbehelf 41.
- PÖTSCH, E.M., F. BERGLER und K. BUCHGRABER, 1998: Ertrag und Futterqualität von Alm- und Waldweiden als Grundlage für die Durchführung von Wald-Weide-Trennverfahren-Bewertungsmodellen. 4. Alpenländisches Expertenforum. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft, Gumpenstein: 95-109.
- ROHRER, V., 2011: Das Wasserlabor- Informationsbroschüre, LFZ Raumberg-Gumpenstein.
- SCHREINER, E. und A. KASPER-GIEBL, 2013: Nasse Deposition im Land Steiermark, Oktober 11 – September 12. Bericht -Nr. LU-09-2013.
- SCHINK, M., M. HERNDL, M. KANDOLF und A. BOHNER, 2013: Bedeutung von Winterniederschlag, Schneespeicherung und -schmelze auf die Grundwasserneubildung am Almstandort Stoderzinken. 15. Gumpensteiner Lysimetertagung, 15.-16. April 2013, Bericht LFZ Raumberg-Gumpenstein, 207-212.
- SEEBACHER, M., 2008: Vergleich der Wasser- und Stoffflüsse eines Gebirgs- und eines Talstandortes anhand von Lysimeterversuchsergebnissen im Grünland. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, 99 S.
- WAGNER, K., T. PARIZEK, W. RESSI, D. BOGNER und M. FUCHS, 2006: Almregionen Österreichs und deren Analyse. Teilbericht ALP-Austria. In: Forschungsbericht des Lebensministeriums, Abteilung Forschung und Entwicklung.