

Gebirgs-Lysimeterstation am Stoderzinken - Erste Ergebnisse

Markus Herndl^{1*}, Andreas Bohner¹ und Matthias Kandolf¹

Zusammenfassung

Die Nördlichen Kalkalpen mit ihren meist karbonathaltigen und verkarstungsfähigen Gesteinen, sind durch die hohen jährlichen Niederschlags- und Schneemengen wesentlich an der Grundwasserneubildung und damit an der Trinkwasserversorgung in Österreich beteiligt. Klimaparameter wie Niederschlagsmenge und -verteilung, sowie Schneemenge, Wind und Lufttemperatur sind die wichtigsten Einflussfaktoren um Sickerwassermengen und jahreszeitliche Verteilung an Gebirgsstandorten abschätzen zu können. Um die Auswirkungen von Klima und Klimaveränderung auf Grundwasserneubildung und den Nährstoffaustrag in das Sickerwasser für einen Gebirgsstandort in den Nördlichen Kalkalpen quantifizieren zu können, wurde im Jahr 2005 an der Westseite des Stoderzinkens (1830 m Seehöhe) eine Lysimeterstation errichtet. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Schneemenge und der Verlauf der Schneeschmelze die maßgeblichsten Faktoren für die Grundwasserneubildung sind. Erhebungen hinsichtlich Nährstoffeintrag (nasse Deposition) und -austrag (Sickerwasser) zeigen trotz ungedüngtem Boden für einige Inhaltsstoffe vergleichsweise hohe Ein- und Austragsmengen. Die kurze Untersuchungszeit von 2 Jahren erlaubt nur die Darstellung erster Trends. Die Resultate weisen aber auf ein Zusammenspiel von Faktoren wie kurzer Vegetationsdauer, ertragsarmer Vegetation sowie der hohen Niederschlags- und Sickerwassermengen hin. Die Neuinstallation von zusätzlichen Messeinrichtungen und die Erweiterung der Datenbasis werden dahingehend in den nächsten Jahren konkretere Einschätzungen erlauben.

Schlagwörter: Lysimeter, Grundwasserneubildung, Sickerwasser, Hintergrundlast

Summary

The Northern Limestone Alps, mainly containing carbonate and karst capable parent rocks, contribute by their high annual precipitation and amount of snow considerably to groundwater recharge and thus to drinking water supply of Austria. Climate parameters such as amount and distribution of precipitation as well as amount of snow, wind and air temperature are the most important influencing factors to evaluate quantity and seasonal distribution of seepage water in a montane site. To quantify the impacts of climate, climate change and nutrient contamination to seepage water at a montane site in the Northern Limestone Alps, a lysimeter station was built at the west side of Stoderzinken (1830 m above sea level) in 2005. First results showed that the amount of snow and the course of snow melting are the most important factors for the groundwater recharge rate. Observations regarding nutrient contamination (wet deposition) and leaching (seepage water) showed a comparatively high amount of input and output for some substances in spite of the lacking fertilization. The short observation period of 2 years allows only an evaluation of first trends. However, the results indicate an interaction of factors such as short vegetation period, poor yield of vegetation as well as high amount of precipitation and seepage water. The new installation of additionally measuring devices and the enhancement of the data collection during the next years will permit more precise conclusions regarding these effects.

Keywords: lysimeter, groundwater recharge, seepage water, background load

Einleitung

Nach einer Studie von ARNELL (2000) leben im Jahre 2080 rund 60% der Weltbevölkerung in Gebieten wo die Wasserversorgung gefährdet und beinahe 50% in Gebieten in denen sie stark gefährdet sein wird. In Europa werden vor allem der mediterrane Raum sowie der mittlere Osten betroffen sein. Den Karstaquiferen, die weit verbreitet und ergiebig sind, wird für die Trinkwasserversorgung dabei in Zukunft eine immer größere Bedeutung zu kommen. Etwa ein Viertel der Menschheit bezieht derzeit ihr Trinkwasser aus Karstgrundwasserleitern während in Europa das Trinkwasser zu 35% aus Karstwasser stammt.

Die geologische Übersichtskarte Österreichs weist rund 22% des Bundesgebietes als Karbonatgestein aus, wobei ungefähr

2/3 davon als verkarstungsfähiges Gestein eingestuft wird (EBNER et al. 1997). Vorwiegend in den Nördlichen und Südlichen Kalkalpen gelegen, tragen die Karbonat(karst)-gebiete aufgrund der oft hohen jährlichen Niederschlagsmengen erheblich zur regionalen aber auch überregionalen Trinkwasserversorgung bei. In Österreich wird der Trinkwasserbedarf zu rund 50% durch Grundwasser abgedeckt, wobei beträchtliche 49% aus Karstgrundwasser stammen (COST 65, 1995).

Das Klima einer Region, im wesentlichen Niederschlagsmenge und -verteilung aber auch Schneemenge, Wind und Lufttemperatur, sind maßgeblich an der Grundwasserneubildung beteiligt. Klimawandel der sich gerade im inneralpinen Raum besonderes stark ausprägt, wird sich auch auf

¹ Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (LFZ), Raumberg 38, A-8952 IRDNING

* Ansprechpartner: markus.herndl@raumberg-gumpenstein.at

die Grundwasserversorgung auswirken. Die ansteigenden Jahresdurchschnittstemperaturen, welche in tieferen Lagen die Schneemengen reduzieren sowie Starkregenereignisse können sowohl den mengenmäßigen als auch den zeitlichen Verlauf des Wassereintrages in den Karstwasseraquifer und daher die Versorgung mit Karstgrundwasser beeinflussen.

Eine weitere Gefährdung der Grundwasserversorgung kann die Grundwasserverschmutzung sein. Durch die geringe Filterwirkung von Karstgestein kann Karstwasser durch verschiedene Kontaminationsquellen (Atmosphäre, Abwässer aus der Landwirtschaft etc.) sowohl beim Eintritt als auch beim Austritt geschädigt werden. Die Kulturart Dauergrünland ist im Allgemeinen grundwasserschonend, wobei die zumeist extensive Bewirtschaftung auf Gebirgsstandorten meist kein besonderes Gefahrenpotential aufweist. Nichts desto trotz können vor allem Schwefel- und Stickstoffverbindungen, die über die nasse Deposition in das Ökosystem gelangen, zu Nährstoffungleichgewichten führen, die wiederum zu Veränderungen der Artenzusammensetzung der Grünlandvegetation und in weiterer Folge zu ökonomischen Schäden führen können. Durch die hohen Niederschlagsmengen und die dadurch verursachten hohen Schadstoff-Eintragsmengen können vor allem Gebirgsstandorte mit ihren empfindlichen Pflanzengesellschaften betroffen sein.

Nach einer umfassenden Literaturrecherche kann festgehalten werden, dass sowohl die Auswirkung von Klima auf Bewirtschaftung, Schneeschmelze und Grundwasserneubildung als auch der Nährstoffeintrag in das Grundwasser für einen Gebirgsstandort im Karstgebiet weitgehend unerforscht sind.

Material und Methoden

Lysimeterstandort Stoderzinken

Im Jahr 2005 wurde in einem repräsentativen Almgebiet in den Nördlichen Kalkalpen an der Westseite des Stoderzinkens (1830 m Seehöhe), Obersteiermark eine Gebirgslysimeterstation errichtet um aktuelle und zukünftige Probleme der Trinkwasserversorgung, des Boden- und Grundwasserschutzes bearbeiten zu können (BOHNER et al. 2007). Das Ziel der Station ist, mit Hilfe eines wägbaren monolithischen Lysimeters, sowie eines Bodenwassersammler und einer Wetterstation einen Einblick in Wasser- und Stoffbilanzen im System Atmosphäre-Boden-Sickerwasser zu bekommen. Der Standort der Lysimeterstation weist typisch für die Nördlichen Kalkalpen hohe Niederschlagsmengen und eher kühle Temperaturen auf (*Abbildung 1*). Die Vegetation im Bereich der Lysimeterstation besteht auf Grund

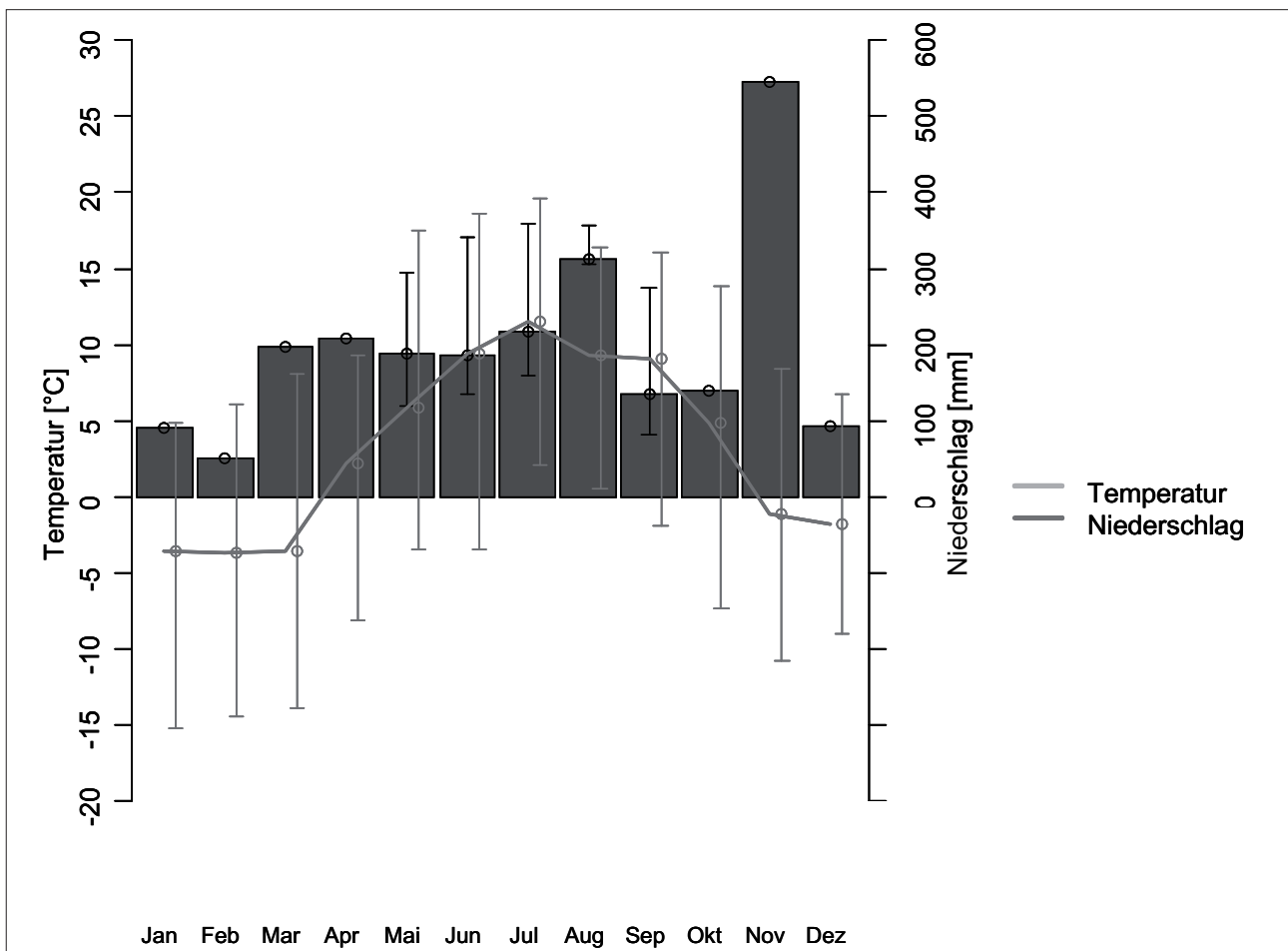


Abbildung 1: Mittlere, maximale und minimale monatliche Tagestemperatur und Niederschlagssumme am Standort Stoderzinken für die Jahre 2006 und 2007.

Tabelle 1: Jährliche Sickerwasser- und Austragsmengen der Inhaltsstoffe $N_{\text{anorg}} = (\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N})$ Ca, Mg, S, K, P, Cl, eines ungedüngten Bodens am Standort Stoderzinken.

Jahr	Sickerwasser	N_{anorg}	Ca	Mg	Inhaltsstoff			
	mm				S kg ha ⁻¹	K	P	Cl
2006	2903,9	7,7	1188,0	158,0	43,0	3,7	0,03	3,3
2007	2588,6	6,1	875,0	113,0	11,9	2,7	0,02	3,1

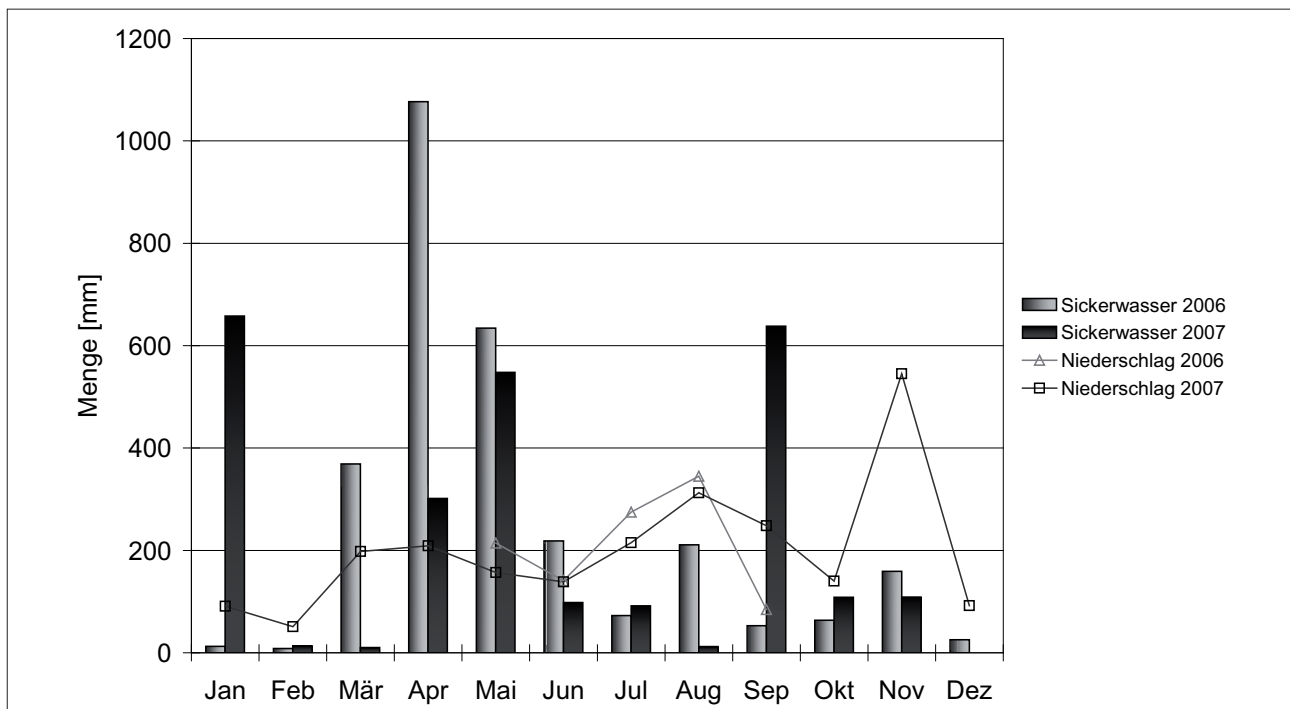


Abbildung 2: Monatliche Sickerwassermengen und Niederschlagssummen am Standort Stoderzinken für die Jahre 2006 und 2007.

der leichten Muldenlage und der nassen Bedingungen aus einer feuchten Ausprägung der Milchkrautweide (*Crepido aureae-Festucetum commutatae*). Das Umland ist eine Almfläche und wird normalerweise beweidet, der Bereich des Lysimeters ist umzäunt um Beeinträchtigungen durch Tiere zu vermeiden und wird daher ersatzweise einmal pro Jahr gemäht. Der Bodentyp im Lysimeter ist ein krumenpseudovergleyter Kalkbraunlehm. Die Böden im Umland sind ein Komplex aus flachgründigen Kalklehm-Rendzinen aus Dachsteinkalk (FLÜGEL und NEUBAUER 1984) und tiefgründigen Kalkbraunlehmen.

Messtechnik Lysimeterstation

Die Lysimeterstation besteht aus einem wägbaren monolithischen Lysimeter (Oberfläche = 1 m²; Tiefe = 1 m), einem monolithischen Bodenwassersammler (Oberfläche = 0,071 m²; Tiefe = 0,6 m) sowie einem Freilandmessprofil und einer Wetterstation (BOHNER et al. 2007). Das Lysimeter steht auf einem Wägesystem, mit einer Genauigkeit von 10 g das heißt, es kann Niederschlag bzw. Verdunstung mit einer Abweichung von ca. 0,01 mm ermittelt werden. Die Sickerwassermenge wird mittels eines Kippzählers in 1 m Bodentiefe kontinuierlich erfasst. Bei jeder Kippung wird eine Wasserprobe von 2,5 % für die chemischen Analysen

gesammelt. Zusätzlich sind im Lysimeter Bodentemperaturfühler, Tensiometer und FD-Sonden in vier Tiefenstufen (5 cm, 30 cm, 60 cm und 90 cm) installiert.

Im monolithischen Bodenwassersammler wird die Sickerwassermenge mit einem Kippzähler in 5 ml Auflösung erfasst und für die chemischen Analysen gesammelt.

Im Freilandmessprofil werden Bodentemperatur, Bodenwasserspannung und volumetrischer Bodenwassergehalt in vier Tiefenstufen (5 cm, 30 cm, 60 cm und 90 cm) gemessen.

Die Wetterstation beinhaltet 4 Niederschlagssammler mit einem Durchmesser von 20 cm und einer Auffangoberfläche von 314 cm². In einer Höhe von 2 m werden Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Globalstrahlung, relative Feuchte und Lufttemperatur gemessen. Die Lufttemperatur wird zusätzlich in 5 cm und 20 cm Höhe über der Bodenoberfläche registriert. Die Niederschlagsmengenmessung erfolgt mit dem System „Parsivel“ in einer Höhe von 3 m.

Die gewonnenen Niederschlags- und Sickerwasserproben werden im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein analysiert. Mittels Ionenchromatografie und Photometer werden die Inhaltsstoffe NO₂, NO₃, NH₄, P, K, Ca, Mg, Na, Cl und SO₄ ermittelt.

Ergebnisse und Diskussion

In einem humiden Klima wie es in den Nördlichen Kalkalpen vorherrscht, kommt der Niederschlagsmenge und -verteilung die wichtigste Rolle bei der Grundwasserneubildung zu. Die Schneeakkumulation im Winter und die Schneeschmelze im Frühling sind die bedeutendsten Zeitpunkte für die Grundwassererneuerung. Im Sommer aber auch im Herbst tragen vor allem Starkniederschläge zur Erneuerung bei (SELIGER 2002). Im Untersuchungsjahr 2006 wurde am Standort Stoderzinken eine Jahressickerwassermenge im Lysimeter von $2904 \text{ Liter m}^{-1}$ festgestellt, im Jahr 2007 betrug die Gesamtsickerwassermenge $2589 \text{ Liter m}^{-1}$ (Tabelle 1). Die große Bedeutung der Schneeakkumulation und der Schneeschmelze für die jährliche Grundwasserneubildung in Gebirgsökosystemen sieht man dadurch, dass zur Zeit der Schneeschmelze (März bis Mai) in beiden Jahren über 50% der Jahresgrundwasserneubildung erfolgt (Abbildung 2). Eine Besonderheit konnte im Januar 2007 festgestellt werden, wo die Sickerwassermenge für diesen Monat mit 657 Liter m^{-1} unüblich hoch war. Diese Tatsache kann mit einem überdurchschnittlichen Wärmeeinbruch über 2 Wochen hinweg und der damit eingeleiteten Schneeschmelze erklärt werden. Ein kurzzeitiger Kälteeinbruch im September 2007 und eine damit verbundene Schneeakkumulation kann die im Vergleich zu den Niederschlägen hohe Sickerwassermenge in diesem Monat erklären. Die bis jetzt vorliegenden Ergebnisse, welche große Schwankungen im zeitlichen Verlauf und in der anfallenden Sickerwassermenge zeigen, lassen den Schluss zu, dass keine gesicherten Prognosen über den zeitlichen Anfall und die Menge an Grundwasserneubildung gemacht werden können. Warme Winter, sowie

trockenere und schneearme Jahre könnten zu einer deutlichen Reduktion des verfügbaren Grundwassers führen, da für die Grundwasserneubildung auf diesem Standort vor allem die Schneemenge entscheidend ist.

Die Sensibilität des betrachteten Ökosystems bzw. die Menge des Stoffeintrages über die Atmosphäre sind die zwei wichtigsten Faktoren um die Höhe der durch den Eintrag von Stoffen verursachten Einwirkung auf die Umwelt quantifizieren zu können. Für Schwefel- und Stickstoffverbindungen ist der Eintrag über die nasse Deposition, welche durch die Messung der Stoffkonzentrationen im Regenwasser ermittelt und als Produkt der Ionenkonzentration im Niederschlagswasser und der Regenmenge berechnet wird, entscheidend. Untersuchungen des Umweltbundesamtes im Jahr 1994 zeigten für das Gebiet in dem sich der Lysimeterstandort befindet, eine nasse Deposition von Nitrat-N von $4\text{-}6 \text{ kg ha}^{-1}$ und für Schwefel $8\text{-}12 \text{ kg ha}^{-1}$ und Jahr (SCHNEIDER 1998). Die eigenen Untersuchungen des Niederschlagswassers in den 4 Niederschlagsfassern am Standort Stoderzinken ergaben im Jahr 2006 eine kumulative Nitratstickstoffmenge über die Vegetationszeit (Mai-Oktober) von 3 kg ha^{-1} und eine Schwefelmenge von rund 4 kg ha^{-1} (Abbildung 3, 4). Wenn man berücksichtigt, dass auf diesem Gebirgsstandort die Hauptmenge an Niederschlägen während der Herbst- und Wintermonate erfolgt, scheinen die Werte im Vergleich ziemlich hoch. Da in den Wintermonaten die Niederschlagsenerhebung nur mittels Parsivel erfolgt (d.h. keine Niederschlagsproben gezogen werden können), kann für diesen Zeitraum nur spekuliert werden. Ab dem Winter 2008 bzw. 2009 werden ein Schneekissen und eine Niederschlagswaage zusätzlich installiert, um diese Parameter genauer erheben zu können.

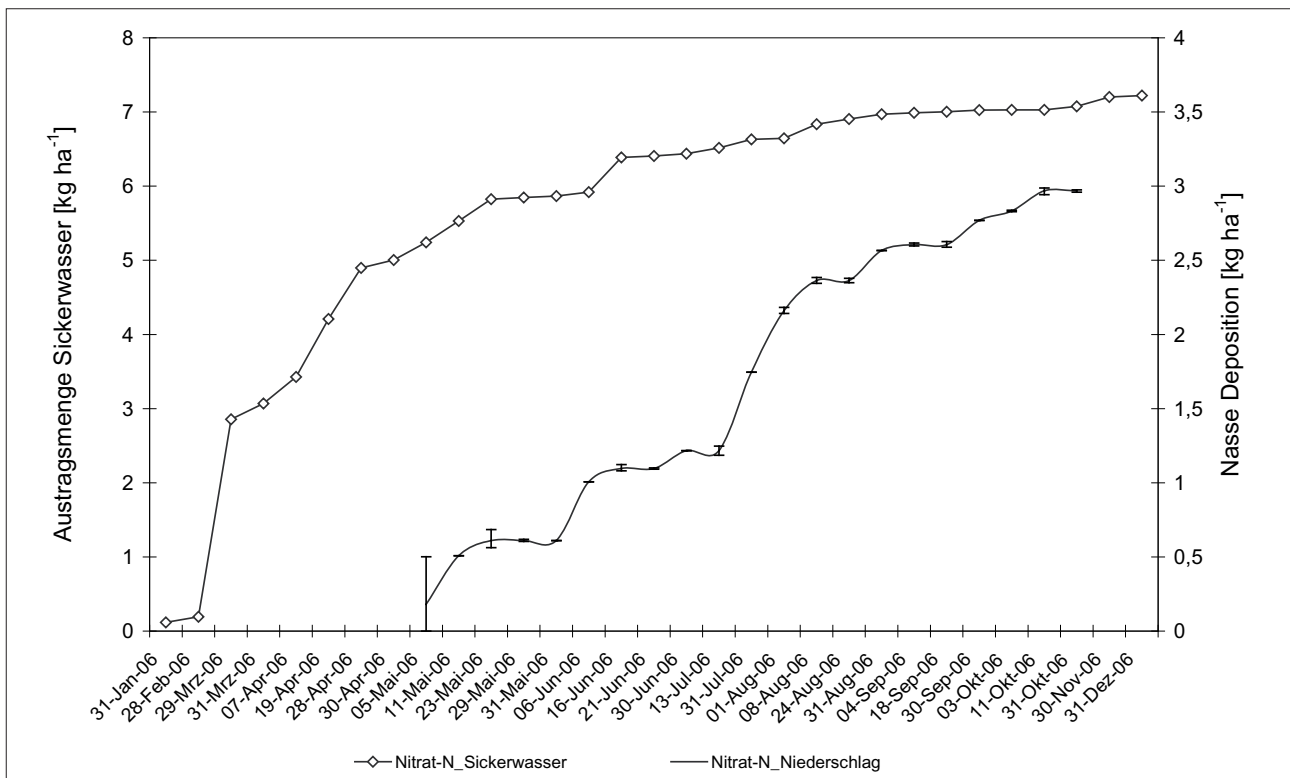


Abbildung 3: Kumulative Austragsmenge und nasse Deposition von Nitrat-N für das Jahr 2006.

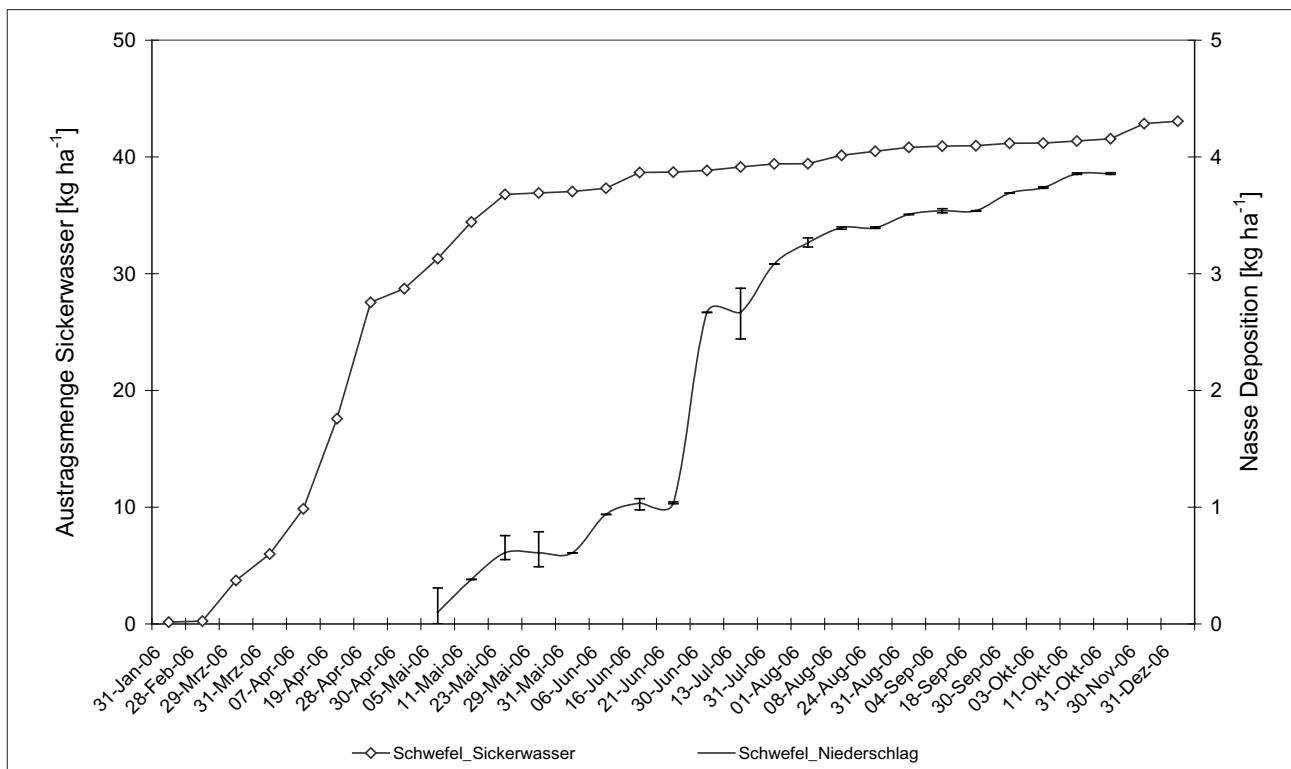


Abbildung 4: Kumulative Austragsmenge und nasse Deposition von Schwefel für das Jahr 2006.

Tabelle 2: Durchschnittsstoffkonzentrationen der Inhaltsstoffe NH_4 , NO_3 , NO_2 , Ca, Mg, SO_4 , K, PO_4 , Cl im Sickerwasser eines ungedüngten Bodens am Standort Stoderzinken.

Jahr	Inhaltsstoff								
	NH_4	NO_3	NO_2	Ca	Mg mg l ⁻¹	SO_4	K	PO_4	Cl
2006	0,01 (± 0,02)	1,12 (± 1,09)	0,06 (± 0,11)	43,54 (± 10,33)	7,13 (± 2,86)	3,30 (± 1,80)	0,14 (± 0,21)	0,01 (± 0,03)	0,13 (± 0,08)
2007	0,03 (± 0,03)	3,43 (± 6,28)	0,01 (± 0,01)	46,52 (± 24,94)	7,39 (± 4,42)	2,29 (± 1,22)	0,18 (± 0,18)	0,00 (± 0,00)	0,18 (± 0,12)

Bei den jährlichen Austragsmengen mit dem Sickerwasser fallen vor allem die absolut hohen Ca- und Mg-Mengen auf (Tabelle 1). Die durchschnittlichen jährlichen Austragsmengen sind mit 1031 und 136 kg ha⁻¹ fast 5-mal so hoch wie das in vergleichbaren Studien in Lysimetern in Gumpenstein der Fall ist (SEEBACHER 2008). Hauptursache dafür ist sicherlich das Ausgangsgestein (Dachsteinkalk). Die Austragsmengen der für die Grundwasserbelastung wichtigen Inhaltsstoffe Nitrat-N und Phosphor sind am ungedüngten Standort Stoderzinken durchschnittlich 6,5 kg und 0,03 kg ha⁻¹ und Jahr (Tabelle 1). Die durchschnittliche Stoffkonzentration im Sickerwasser liegt bei 2,3 mg für Nitrat und bei 2,8 mg l⁻¹ für Sulfat (Tabelle 2). Da die Höhe der Eintragsmengen an diesem Standort ein Zusammenspiel mehrerer Faktoren ist wie z.B. der kurzen Vegetationsdauer, der ertragsarmen oberirdischen Biomasse und der damit verbundenen geringeren Nährstoffspeicherung in der Biomasse, der hohen Niederschlagsmengen und den damit erzielten hohen Nährstoffeintrag über die Atmosphäre, bedarf es weiterer Untersuchungsperioden um eine gesicherte Aussage diesbezüglich treffen zu können.

Zusammenfassend über 2 Untersuchungsjahre kann gesagt werden, dass es zu sehr hohen Schwankungen sowohl im zeitlichen als auch im mengenmäßigen Anfall von Sickerwasser und daher auch der Grundwasserneubildung kam. Auf Basis der Ergebnisse der extremen Winter 2006 und 2007 mit stark schwankenden Schneemengen und Temperaturverläufen, kann den Prognosen der Klimaforscher, die in den nächsten Jahren schneearme und warme Winter voraussagen, mit einer deutlichen Reduktion der Sickerwassermengen nur beigeppflichtet werden. Das gilt vor allem hinsichtlich zeitlicher Begrenzung der verfügbaren Grundwassermenge sowohl für die Vegetation als auch für den Menschen.

Die Nährstoffkonzentrationen im Niederschlag und im Sickerwasser übersteigen zwar nicht die Grenzwerte der Grundwasserschwellenwertverordnung, hinsichtlich Hintergrundlast d.h. welche Nährstoffmengen werden ohne Beeinflussung durch den Menschen ein und ausgewaschen, sind die Ergebnisse jedoch sehr interessant. Es zeigt sich im Vergleich mit Untersuchungen des Umweltbundesamtes (SCHNEIDER 1998) und einer Studie in Gumpenstein

(SEEBACHER 2008), dass einige Inhaltsstoffe in beträchtlichen Mengen ein aber auch ausgewaschen werden. Wie sich das auf die Zusammensetzung bzw. den Ertrag des Pflanzenbestandes auswirkt wird sich über die nächsten Jahre hinweg zeigen. Durch die Neuinstallation von Niederschlagswaage und Schneekissen sowie durch eine längerfristige Beobachtung von Nährstoffdynamik im Niederschlag und Sickerwasser werden Daten produziert, die hinsichtlich unterschiedlichster Fragestellungen weiterhin bearbeitet werden können.

Danksagung

Die Forschungsstation am Stoderzinken wurde mit Mitteln der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, der Steiermärkischen Landesregierung, Fachabteilung 19A Wasserwirtschaftliche Planung und Siedlungswasserwirtschaft und des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft finanziert. Weiters danken wir der Firma UMS GmbH, München für die Planung, Errichtung und Wartung der Forschungsstation.

Literatur

ARNELL, N.W., 2000: Climate change and global water resources. *Global Environmental Change* 9: 31-49.

- 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, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt Raumberg-Gumpenstein, 173-175.
- 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.
- EBNER, F., W. FRANK, G. MANDL, G. PASCHER, G. PESTAL und W. SCHNABEL, 1997: Geologische Basiskarte von Österreich 1:500000. Geol. Bundesanst., Wien.
- FLÜGEL, H.W. und F. NEUBAUER, 1984: Steiermark. Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefassten Einzeldarstellungen. Geologische Bundesanstalt Wien, 127 S.
- SCHNEIDER, J., 1998: Kartierung der nassen Deposition in Österreich, Wien, BE-104 Berichte, Band 104, 24 S.
- SEEBACHER, M., 2008: Vergleich der Wasser- und Stoffflüsse eines Gebirgs- und eines Talstandortes anhand von Lysimeterversuchsergebnissen im Grünland. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, 99 S.
- SELIGER, A., 2002: Methoden zur Erfassung des regionalen Wasserhaushaltes im Niedersächsischen Küstengebiet am Beispiel der Insel Langeoog. Diplomarbeit Technische Universität Braunschweig, 106 S.